Print ISSN 1991-6639
Online ISSN 2949-1940

Том 28 № 5 2026

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

DOI: 10.35330/1991-6639

12+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (КБНЦ РАН)

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Том 28 № 5 2026

Сквозной номер выпуска – 133

Журнал основан в 1998 г. Выходит 6 раз в год

ISSN 1991-6639 (печатная версия), ISSN 2949-1940 (электронная версия)

Регистрационный номер СМИ Эл № ФС 77-90616 от 29.12.2025 выдан Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

360010, Российская Федерация, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
E-mail: ired07@mail.ru

© КБНЦ РАН, 2026

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budgetary Scientific Establishment “Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences” (KBSC RAS)

Science journal

NEWS
OF THE KABARDINO-BALKARIAN SCIENTIFIC CENTER OF RAS

Vol. 28 No. 5 2026

Continuous issue number – 133

The journal was founded in 1998, 6 issues per year

ISSN 1991-6639 (print), ISSN 2949-1940 (online)

Media Registration No. FS 77-90616, dated December 29, 2025, issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE:

360010, Russian Federation, Kabardino-Balkarian, Nalchik, 2 Balkarov street
E-mail: ired07@mail.ru

© KBSC RAS, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН Том 28 № 5 2026

Редакционная коллегия……..……..7

Компьютерные науки и информатика

Искусственный интеллект и машинное обучение

Алгоритмы согласованного коллективного поведения гетерогенных интеллектуальных агентов в процессе коллаборативного взаимодействия при совместном проектировании и конструировании изделий, устройств и систем робототехники
К. Ч. БЖИХАТЛОВ, С. А. КАНКУЛОВ, А. А. УНАГАСОВ, В. З. ГЕРГОВ……...13

Имитационная модель обучения мультиагентных нейрокогнитивных систем управления для обеспечения взаимодействия с различными манипуляторами
К. Ч. БЖИХАТЛОВ, И. А. МАМБЕТОВ, М. А. АБАЗОКОВ, А. З. ТЕМРОКОВ…….……..25

Мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст» на основе обучения нейрокогнитивных архитектур
И. А. ПШЕНОКОВА, К. Ч. БЖИХАТЛОВ, И. А. МАМБЕТОВ……...37

Информационные технологии и телекоммуникации

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Исследование технических и теоретических аспектов внедрения синтетической биологии в системы биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов
Р. Н. АБУТАЛИПОВ, А. У. ЗАММОЕВ…….49

Концепция биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов в контексте постнеклассической рациональности в современной науке
Р. Н. АБУТАЛИПОВ, А. У. ЗАММОЕВ…….67

Автоматизированная система управления дроссельной заслонкой для локальной вытяжной системы
Н. В. АГАФОНОВ, Л. Э. ШВАРЦБУРГ…….90

Информатика и информационные процессы

Информационно-аналитическая система прогнозирования промышленных показателей России: интеграция адаптивного гибридного ансамбля и новостной аналитики
В. Р. ИКСАНОВ……...103

Применение мультимодального алгоритма классификации для архивации и каталогизации
С. А. ПАЛИБЗА, Д. В. ГАДАСИН, Л. А. ТРЕМАСОВА, Д. В. ИГНАТОВ……115

Формализация механизмов самоорганизации семантических связей в СУБД на основе модели Physarum polycephalum
Д. А. РЫБАКОВ……137

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Прогнозирование выручки малого пищевого предприятия на основе методов машинного обучения
В. В. ДЬЯЧКОВА, М. П. КИРИЧЕНКО……..154

Гибридная модель синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия
В. В. ДЬЯЧКОВА, Е. С. КОВАЛЕНКО……...166

Оценка устойчивости детекторов плодов YOLOv8n и YOLOv8s к искажениям тепличной съемки
М. Ю. КАРЕЛИНА, А. А. АКУЛОВ, Ф. В. СМИРНОВ, Д. С. ТАЛДЫКИН…….178

Автоматизированная система предварительной верификации видеоконтента на основе эвристического анализа визуальных признаков
А. З. КУМЫКОВ, И. А. ПШЕНОКОВА……...200

Применение метода сингулярного разложения для сегментации клиентов на основе транзакционных данных на примере рынка Индии
В. В. НАБАТЧИКОВ…….214

Нейропсихологическая модель переключения внимания интеллектуального мобильного робота в процессе онтологизации афферентных зрительных образов
З. В. НАГОЕВ, И. А. МАМБЕТОВ, О. В. НАГОЕВА, И. А. ПШЕНОКОВА, М. И. АНЧЁКОВ …….230

Основные принципы автономного построения номинативно-локативных онтологий рабочей среды производственного участка универсальным мобильным коботом под управлением нейропсихологической архитектуры
З. В. НАГОЕВ, И. А. МАМБЕТОВ, О. В. НАГОЕВА, А. А. УНАГАСОВ, В. М. ШУГАНОВ……...244

Основные принципы нейрокогнитивного представления и визуализации феногенетических данных
З. В. НАГОЕВ, И. А. ПШЕНОКОВА, М. И. АНЧЁКОВ, А. А. ХАМОВ……...260

Моделирование, оптимизация и управление в распределительных энергетических системах
А. П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, Я. Е. ЛЬВОВИЧ, Т. В. АВЕТИСЯН, Ю. А. КЛИМЕНКО……271

Агрономия, лесное и водное хозяйство

Общее земледелие и растениеводство

Адаптивный потенциал и продуктивность раннеспелых гибридов кукурузы при летних сроках посева в условиях предгорной зоны Ставропольского края
А. Г. ГОРБАЧЕВА, А. А. ТАТАРКАНОВ, Р. С. КОВАЛЕВ……286

Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Влияние обработки электрическим полем на ростовые процессы, урожайность и элементы структуры урожая семян гибрида кукурузы Карат СВ
С. П. АППАЕВ, Н. Н. ДОГУЗОВА, Б. В. ГАГИЕВ, М. М. АТАБИЕВ, Ш. А. АТАБИЕВ……...297

Экономика

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Об одном подходе к классификации локальных рынков
А. О. ГУРТУЕВ, Г. В. ЧЕРНЫШЕВ……307

Оценка цифровой трансформации регионов РФ методом анализа больших неструктурированных данных
А. А. МАКСИМОВ……322

Проектирование автоматизированной системы анализа больших массивов текстовых данных для мониторинга достижения корпоративных целей
Ю. А. РАКОВСКАЯ, А. В. САХАРОВ, А. Д. САХНО, М. Б. ЛАСКИН…….333

Региональная и отраслевая экономика

Снижение бедности без пространственной конвергенции: межрегиональные различия в качестве жизни населения России
С. В. ДОХОЛЯН……...347

Модели управления институциональными изменениями в целях опережающего развития высокотехнологичных отраслей региона
О. З. ЗАГАЗЕЖЕВА, К. Ф. КРАЙ……363

Рынок искусственного интеллекта и интеллектуальной робототехники: тенденции, прогнозы и региональная практика (на примере Северо-Кавказского федерального округа)
О. З. ЗАГАЗЕЖЕВА, К. Ф. КРАЙ, С. Х. ШАЛОВА……379

Даунсайзинг: необходимость и особенности прикладного анализа
М. В. КАРМАНОВ, И. А. КИСЕЛЕВА, В. И. КУЗНЕЦОВ, А. М. ТРАМОВА……...397

Искусственный интеллект и робототехника как факторы изменения качества жизни населения
К. Ф. КРАЙ, С. Х. ШАЛОВА……406

Цифровая трансформация как ключевой фактор, стимулирующий открытые инновации на предприятиях
ЮЙЦЯО ПАНЬ……422

Концептуальное описание методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала цифровой образовательной среды
Т. Е. САРАТОВА……...433

Менеджмент

Многоуровневая модель факторов стимулирования менеджеров в системе управления организационной культурой организаций социальной сферы
А. С. ЩЕКИН, А. А. УРАСОВА……...443

Исторические науки

Иммерсивные практики в публичных пространствах древних и средневековых обществ
И. Х. ГУКЕМУХ……458

Основные проблемы социально-политической ситуации на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг.
А. В. КУШХАБИЕВ……..484

Филология

Хамзат Зейтунович Батырбеков: забытые и малоизвестные писатели как феномен балкарской культуры
Р. А. КЕРИМОВА……502

Концепт ахча «деньги» в современном карачаево-балкарском языке
М. З. УЛАКОВ, Л. Х. МАХИЕВА, Б. А. МУСУКОВ……...511

Юбиляры

Кошкинбаю Назировичу Анахаеву – 70 лет……...520

Виталию Зелимхановичу Мазлоеву – 80 лет……..522

Анатолию Ивановичу Супрунову – 75 лет……..524

Правила для авторов журнала……526

CONTENTS

News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS Vol. 28 No. 5 2026

Editorial Board……7

Computer Science and Information Technology

Artificial intelligence and machine learning

Algorithms for coordinated behavior of heterogeneous intelligent agents in collaborative design of robotic products and systems
K.Ch. BZHIKHATLOV, S.A. KANKULOV, A.A. UNAGASOV, V.Z. GERGOV……...13

Simulation model for multi-agent neurocognitive control systems training to enable interaction with diverse manipulators
K.Ch. BZHIKHATLOV, I.A. MAMBETOV, M.A. ABAZOKOV, A.Z. TEMROKOV……25

Multi-agent image-text pair interpretation algorithm based on neurocognitive architecture learning
I.A. PSHENOKOVA, K.Ch. BZHIKHATLOV, I. A. MAMBETOV……...37

Information Technologies and Telecommunications

Automation and control of technological processes and productions

Integrating synthetic biology into bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs): technical and theoretical perspectives
R.N. ABUTALIPOV, A.U. ZAMMOEV……49

Concept of bioengineered neurocomputer interfaces within paradigm of post-non-classical rationality
R.N. ABUTALIPOV, A.U. ZAMMOEV……67

Automated throttle damper control system for local exhaust system
N.V. AGAFONOV, L.E. SHVARTSBURG……90

Informatics and information processes

Information-analytical system for forecasting Russian industrial indicators: integration of adaptive hybrid ensemble and news analytics
V.R. IKSANOV……...103

Applying a multimodal classification algorithm to archiving and cataloging
S.A. PALIBZA, D.V. GADASIN, L.A. TREMASOVA, D.V. IGNATOV……...115

Formalizing semantic relationship self-organization inside DBMS using a Physarum polycephalum model
D.A. RYBAKOV……..137

System analysis, management and information processing, statistics

Forecasting small food enterprise revenue based on machine learning methods
V.V. DYACHKOVA, M.P. KIRICHENKO……154

Hybrid model for synchronizing raw material supply scheduling with metallurgical plant blast furnace rhythms
V.V. DYACHKOVA, E.S. KOVALENKO……166

Robustness assessment of YOLOv8n and YOLOv8s fruit detectors to greenhouse imaging distortions
M.Yu. KARELINA, A.A. AKULOV, F.V. SMIRNOV, D.S. TALDYKIN……178

Heuristic visual feature analysis-based automated video content pre-verification system
A.Z. KUMYKOV, I.A. PSHENOKOVA……200

Applying singular value decomposition to customer segmentation using transactional data in the Indian market
V.V. NABATCHIKOV……214

Neuropsychological model of attention switching in intelligent mobile robot during ontologization of afferent visual images
Z.V. NAGOEV, I.A. MAMBETOV, O.V. NAGOEVA, I.A. PSHENOKOVA, M.I. ANCHEKOV ……..230

Fundamental principles for autonomously constructing nominative-locative ontologies of production area's working environment by universal mobile cobot under control of neuropsychological architecture
Z.V. NAGOEV, I.A. MAMBETOV, O.V. NAGOEVA, A.A. UNAGASOV, V.M. SHUGANOV……....244

Basic principles for neurocognitive representation and visualization of phenogenetic data
Z.V. NAGOEV, I.A. PSHENOKOVA, M.I. ANCHEKOV, A.A. KHAMOV……260

Modeling, optimization, and control in distributed energy systems
A.P. PREOBRAZHENSKIY, Ya.E. LVOVICH, T.V. AVETISYAN, Yu.A. KLIMENKO……..271

Agronomy, Forestry and Water Management

General farming and crop production

Adaptive potential and productivity of early-maturing maize hybrids under summer sowing conditions in foothill zone of Stavropol Krai
A.G. GORBACHEVA, A.A. TATARKANOV, R.S. KOVALEV……286

Breeding, seed production and plant biotechnology

Influence of electric field processing on growth, yield, and yield components of Karat SV hybrid corn seeds
S.P. APPAEV, N.N. DOGUZOVA, B.V. GAGIEV, M.M. ATABIEV, Sh.A. ATABIEV……...297

Economy

Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

On approach to classification of local markets
A.O. GURTUEV, G.V. CHERNYSHEV……..307

Assessing digital transformation across Russian regions via unstructured big data analysis
A.A. MAXIMOV……322

Designing automated system for large-scale text data analysis to monitor corporate goal attainment
Yu.A. RAKOVSKAYA, A.V. SAKHAROV, A.D. SAKHNO, M.B. LASKIN……..333

Regional and sectoral economics

Poverty reduction without spatial convergence: interregional differences in quality of life of Russian population
S.V. DOKHOLYAN……347

Institutional change management models to foster advanced development of regional high-tech industries
O.Z. ZAGAZEZHEVA, K.F. KRAI……..363

Artificial intelligence and intelligent robotics market: trends, forecasts, and regional practice (evidence from the North Caucasus Federal District)
O.Z. ZAGAZEZHEVA, K.F. KRAI, S.Kh. SHALOVA ……379

Downsizing: necessity and features of applied analysis
M.V. KARMANOV, I.A. KISELEVA, V.I. KUZNETSOV, A.M. TRAMOVA……...397

Artificial intelligence and robotics as drivers of change in the population's quality of life
K.F. KRAI, S.Kh. SHALOVA……..406

Digital transformation as a key factor driving open innovation in enterprises
YUQIAO PAN…….422

Conceptual overview of methodology for leveraging the resource potential of digital learning environment
T.E. SARATOVA…….433

Management

Multi-level model of managerial motivation factors within the organizational culture management system of social sector organizations
A.S. SHCHEKIN, A.A. URASOVA……..443

Historical Sciences

Immersive practices in public spaces of ancient and Medieval societies
I.Kh. GUKEMUKH……...458

The main problems of the sociopolitical situation in the Northwest Caucasus on the eve of and during the Crimean war of 1853–1856
A.V. KUSHKHABIEV…….484

Philology

Khamzat Zeytunovich Batyrbekov: forgotten and little-known writers as a phenomenon of Balkar culture
R.A. KERIMOVA……...502

Concept of “akhcha” (money) in modern Karachay-Balkar language
M.Z. ULAKOV, L.Kh. MAKHIEVA, B.A. MUSUKOV……...511

Anniversaries

Koshkinbay Nazirovich Anakhaev is 70 years old……...520

Vitaly Zelimkhanovich Mazloev is 80 years old……..522

Anatoly Ivanovich Suprunov is 75 years old……524

Publishing regulations for the authors …….....526

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Иванов Петр Мацович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Заместитель главного редактора:

Улаков Махти Зейтунович, доктор филологических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Ответственный секретарь:

Энеева Лиана Магометовна, кандидат физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Члены редакционной коллегии:

Абазов Алексей Хасанович, доктор исторических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Адуков Рухман Хасаинович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Алтухов Анатолий Иванович, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Амирханов Хизри Амирханович, академик РАН, доктор исторических наук, профессор, Институт археологии РАН, Москва, Россия

Бабенко Людмила Клементьевна, доктор технических наук, профессор, Таганрогский технологический институт ЮФУ, Таганрог, Россия

Барыкин Сергей Евгеньевич, доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа сервиса и торговли, Санкт-Петербург, Россия

Бижоев Борис Чамалович, доктор филологических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Гукежев Владимир Мицахович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзамихов Касболат Фицевич, доктор исторических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзюба Владимир Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, неаффилированный ученый, Краснодар, Россия

Дохолян Сергей Владимирович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научно-исследовательский социологический центр РАН, Москва, Россия

Завалин Алексей Анатольевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия

Закшевский Василий Георгиевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района РФ, Воронеж, Россия

Иванов Анатолий Беталович, доктор биологических наук, профессор, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кибиров Алихан Яковлевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Комков Николай Иванович, доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Санкт-Петербург, Россия

Котляков Владимир Михайлович, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Институт географии РАН, Москва, Россия

Кузьминов Валерий Васильевич, доктор физико-математических наук, Баксанская нейтринная обсерватория – центр коллективного пользования Института ядерных исследований РАН, Нейтрино, Приэльбрусье, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кусраев Анатолий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Владикавказский научный центр РАН, Владикавказ, РСО–Алания, Россия

Мазлоев Виталий Зелимханович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Малкандуев Хамид Алиевич, доктор сельскохозяйственных наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Мамбетова Фатимат Абдуллаховна, доктор экономических наук, доцент, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Маслиенко Любовь Васильевна, доктор биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, Краснодар, Россия

Матишов Геннадий Григорьевич, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Махошева Салима Александровна, доктор экономических наук, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нагоев Залимхан Вячеславович, кандидат технических наук, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нечаев Василий Иванович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Попков Юрий Соломонович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление», Москва, Россия

Псху Арсен Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Пшихопов Вячеслав Хасанович, доктор технических наук, профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Рехвиашвили Серго Шотович, доктор физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Ронжин Андрей Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор РАН, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

Савин Игорь Юрьевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский университет дружбы народов, департамент рационального природопользования Института экологии, Москва, Россия

Семин Александр Николаевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Уральский государственный университет, Институт мировой экономики, Екатеринбург, Россия

Симаков Евгений Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха, Москва, Россия

Скляров Игорь Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Склярова Юлия Михайловна, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Стемпковский Александр Леонидович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва, Россия

Супрунов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко, Краснодар, Россия

Темботова Фатимат Асланбиевна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Трамова Азиза Мухамадияевна, доктор экономических наук, доцент, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Филюшин Михаил Александрович, кандидат биологических наук, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

Чочаев Алим Хусеевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Агронаучсервис», Москва, Россия

Шевхужев Анатолий Фоадович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Шогенов Юрий Хасанович, академик РАН, доктор технических наук, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия

Янбых Рената Геннадьевна, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, доцент, профессор РАН, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief:

Petr M. Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Deputy Editor in Chief:

Makhti Z. Ulakov, Doctor of Philology, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Responsible Secretary:

Liana M. Eneeva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Members of the Editorial Board:

Aleksey Kh. Abazov, Doctor of Historical Sciences, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Rukhman Kh. Adukov, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Anatoly I. Altukhov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Khizri A. Amirkhanov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute of Archeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Lyudmila K. Babenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, Taganrog, Russia

Sergey E. Barykin, Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Service and Trade, St. Petersburg, Russia

Boris Ch. Bizhoev, Doctor of Philology, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vladimir M. Gukezhev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Kasbolat F. Dzamikhov, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vladimir A. Dzyuba, Doctor of Biological Sciences, Professor, nonaffiliated scientist, Krasnodar, Russia

Sergey V. Dokholyan, Doctor of Economics, Professor, Federal Center of Theoretical and Applied Sociology of RAS, Moscow, Russia

Aleksey A. Zavalin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

Vasily G. Zakshevsky, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Research Institute for Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation, Voronezh, Russia

Anatoly B. Ivanov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Alikhan Ya. Kibirov, Doctor of Economics, Professor, Federal Scientific Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Nikolai I. Komkov, Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Economic Forecasting of RAS, St. Petersburg, Russia

Vladimir M. Kotlyakov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Valery V. Kuzminov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Baksan Neutrino Observatory – center of collective use of Institute for Nuclear Research, Neutrino, Elbrus region, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Anatoly G. Kusraev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, North Ossetia – Alania, Russia

Vitaly Z. Mazloev, Doctor of Economics, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Khamid A. Malkanduev, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Fatimat A. Mambetova, Doctor of Economics, Associate Professor, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Lyubov V. Maslienko, Doctor of Biological Sciences, All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit, Krasnodar, Russia

Gennady G. Matishov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geography, Professor, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Salima A. Makhosheva, Doctor of Economics, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vasily I. Nechaev, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Center Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Yuri S. Popkov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Merited Scientist of the Russian Federation, Federal Research Center “Informatics and Control”, Moscow, Russia

Arsen V. Pskhu, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Vyacheslav Kh. Pshikhopov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Sergo Sh. Rekhviashvili, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – Branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Andrey L. Ronzhin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Igor Yu. Savin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Peoples Friendship University of Russia, Department of Environmental Management of the Institute of Ecology, Moscow, Russia

Alexander N. Semin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Ural State University, Institute of World Economy, Department of Strategic and Production Management, Ekaterinburg, Russia

Evgeny A. Simakov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Potato Economy named after A.G. Lorkh, Moscow, Russia

Igor Yu. Sklyarov, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Yulia M. Sklyarova, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Alexander L. Stempkovsky, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute for Design Problems in Microelectronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Anatoly I. Suprunov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National Grain Center named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar, Russia

Fatimat A. Tembotova, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Ecology of Mountain Territories named after A.K. Tembotov of RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Aziza M. Tramova, Doctor of Economics, Associate Professor, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russia

Mikhail A. Filyushin, Candidate of Biological Sciences, Federal Research Center "Fundamental Foundations of Biotechnology" of RAS, Moscow, Russia

Alim Kh. Chochaev, Doctor of Economics, Professor, Federal State Unitary Enterprise "Agronauchservis", Moscow, Russia

Anatoly F. Shevkhuzhev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

Yuri Kh. Shogenov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Renata G. Yanbykh, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor, HSE University, Moscow, Russia

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

УДК 004.89 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-13-24
CJXNRN

Алгоритмы согласованного коллективного поведения гетерогенных интеллектуальных агентов в процессе коллаборативного взаимодействия при совместном проектировании и конструировании изделий, устройств и систем робототехники

К. Ч. Бжихатлов✉, С. А. Канкулов, А. А. Унагасов, В. З. Гергов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Появление интеллектуальных систем принятия решений для автономных программных или роботизированных агентов, способных работать в рамках гетерогенного человеко-машинного коллектива, обусловливает актуальность создания алгоритма согласованного поведения участников подобного коллектива при выполнении сложных задач, к которым можно отнести проектирование и прототипирование изделий и устройств робототехники.

Цель исследования – разработка алгоритмов обеспечения согласованного поведения гетерогенных агентов в человеко-машинном коллективе при совместном проектировании и конструировании устройств робототехники, учитывающих разнородность целей участников, различия в их знаниях и компетенциях и обеспечивающих эффективное взаимодействие через естественно-языковой интерфейс и визуальное представление объекта проектирования.

Методы исследования. В качестве основного метода исследования применяется имитационное моделирование мультиагентных архитектур.

Результаты. Основным результатом исследования является алгоритм обеспечения согласованного поведения в человеко-машинном коллективе при выполнении задачи проектирования робототехнических устройств, который учитывает разнородность целей участников, различия в знаниях и компетенциях и обеспечивает эффективность обмена информацией за счет использования естественно-языкового интерфейса и трехмерной визуализации для специалистов-людей. Научная новизна исследования заключается в предложенном алгоритме обеспечения согласованного поведения в рамках человеко-машинного коллектива за счет использования интуитивно-понятных интерфейсов взаимодействия с экспертами-людьми и создания мультиагентной нейрокогнитивной модели знаний и целей всех участников коллектива.

Заключение. Дальнейшие исследования предполагают экспериментальную проверку разработанных алгоритмов на реальных задачах проектирования изделий и устройств автономной робототехники и повышение эффективности механизмов адаптации и самообучения участников коллектива в процессе совместной работы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентные системы, нейрокогнитивные архитектуры, проектирование, робототехника

Поступила 10.07.2026, одобрена после рецензирования 21.08.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Бжихатлов К. Ч., Канкулов С. А., Унагасов А. А., Гергов В. З. Алгоритмы согласованного коллективного поведения гетерогенных интеллектуальных агентов в процессе коллаборативного взаимодействия при совместном проектировании и конструировании изделий, устройств и систем робототехники // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 13–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-13-24

© Бжихатлов К. Ч., Канкулов С. А., Унагасов А. А., Гергов В. З., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T42 Original article

Algorithms for coordinated behavior of heterogeneous intelligent agents in collaborative design of robotic products and systems

K.Ch. Bzhikhatlov✉, S.A. Kankulov, A.A. Unagasov, V.Z. Gergov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The emergence of intelligent decision-making systems for autonomous software or robotic agents capable of operating within heterogeneous human-machine teams highlights the relevance of developing algorithms for coordinated member behavior during complex tasks, such as the design and prototyping of robotic products and devices.

Aim. This study aims to design coordination algorithms for heterogeneous agents within human-machine teams collaborating on robotic device engineering. The proposed approach accounts for conflicting participant goals and disparate knowledge bases, enabling seamless interaction via natural language interfaces and visual asset presentation.

Research methods. The primary research methodology relies on the simulation modeling of multi-agent architectures.

Results. The main result of this research is a coordination algorithm for human-machine teams in robotic device design; this algorithm accommodates variations in participants' goals, knowledge, and expertise, ensuring efficient data exchange through a natural language interface and 3D visualization for human users. The scientific novelty consists in a new human-machine coordination algorithm that utilizes intuitive expert interfaces and a multi-agent neurocognitive model of the participants' knowledge and goals.

Conclusion. Future lines of research involve experimentally testing the proposed algorithms on actual autonomous robotics design use cases, alongside improving the adaptation and self-learning mechanisms to boost team collaboration efficiency.

Keywords: artificial intelligence, multi-agent systems, neurocognitive architectures, design, robotics

Submitted 10.07.2026, approved after reviewing 21.08.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A., Unagasov A.A., Gergov V.Z. Algorithms for coordinated behavior of heterogeneous intelligent agents in collaborative design of robotic products and systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 13–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-13-24

Введение

Проектирование и прототипирование в области робототехники на данном этапе характеризуются ростом сложности разрабатываемых изделий и устройств, высокими требованиями к скорости разработки и подготовки конструкторской документации и высокой степенью конкуренции. В подобных условиях традиционные подходы, основанные исключительно на человеческом труде, сталкиваются с ограничениями, связанными с когнитивной нагрузкой, ограниченностью знаний отдельных специалистов и сложностью координации действий в рамках большого коллектива [1]. В свою очередь, в парадигме Industry 5.0 [2, 3] предполагается обеспечение совместной работы интеллектуальных систем и специалистов в рамках общего человеко-машинного коллектива,

© Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A., Unagasov A.A., Gergov V.Z., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

причем с переходом от модели «искусственный интеллект (ИИ) как инструмент» к модели «ИИ как полноценный участник коллектива разработчиков» [4], что приводит к изменению требований к координации, распределению ролей и обеспечению согласованного поведения участников коллектива. Особую актуальность данная проблема приобретает при разработке изделий и устройств для автономных мобильных роботов в условиях высоких требований к скорости разработки проектной документации, сложности разработки наукоемкой продукции, большого спектра требований по обеспечению эффективности, надежности и безопасности разрабатываемых изделий и необходимости привлечения специалистов из различных областей (механика, электроника, программное обеспечение).

Искусственный интеллект широко используется в инженерном проектировании, причем авторы систематических обзоров [1, 5, 6] отмечают заметный рост исследований в этой области за последние 15 лет, особенно в областях генеративного дизайна, интеллектуального моделирования свойств разрабатываемых объектов и поддержки принятия решений с помощью экспертных систем на основе больших языковых моделей. Стоит отметить, что применение машинного обучения, генетических алгоритмов и нечеткой логики заметно ускорило процессы инженерного проектирования (от генерации идей и концепций до моделирования и оптимизации результата), но ограничено отсутствием моделей объяснимого искусственного интеллекта [7]. В работе [8] рассматриваются результаты применения ИИ в задачах прогнозирования свойств и проектирования новых материалов с заданными свойствами без необходимости проведения большого объема натурных испытаний, что заметно сокращает время первого этапа разработки. Причем модели ИИ могут использоваться как альтернатива классическим численным методам в задачах имитационного моделирования физических процессов [9] или как экспертные системы при управлении жизненным циклом разработанного изделия [10].

Целью исследования является разработка алгоритмов обеспечения согласованного коллективного поведения гетерогенных агентов в человеко-машинном коллективе при совместном проектировании и конструировании изделий, устройств и систем робототехники, учитывающих разнородность целей участников, различия в их знаниях и компетенциях и обеспечивающих эффективное взаимодействие через естественно-языковой интерфейс и визуальное представление объекта проектирования.

Научная новизна исследования заключается в предложенном алгоритме обеспечения согласованного поведения в рамках человеко-машинного коллектива за счет использования интуитивно-понятных интерфейсов взаимодействия со специалистами-людьми и создания мультиагентной нейрокогнитивной модели знаний и целей всех участников коллектива. В качестве основного метода исследования применяется имитационное моделирование мультиагентных архитектур.

Организация коллаборативного взаимодействия гетерогенного человеко-машинного коллектива

В данной работе человеко-машинный коллектив рассматривается как группа, состоящая из гетерогенных интеллектуальных программных (или робототехнических) агентов и людей, требующая сотрудничества и координации для успешного выполнения задачи. Авторы [11] уточняют, что в подобном коллективе люди и интеллектуальные агенты

оперативно взаимодействуют друг с другом в ответ на информационные потоки, адаптируются к динамическим задачам и достигают общих целей. Существует ряд подходов к организации работы в подобных коллективах в рамках выполнения задач по проектированию и прототипированию. Авторами [12] предложена концепция систем поддержки принятия решений на основе человеко-машинного коллектива и выявлен ряд проблем подобных коллективов, в частности: обеспечение взаимопонимания между гетерогенными участниками коллектива, согласование различающихся позиций участников, обеспечение доверия между участниками, обеспечение эффективности планирования совместных действий и соблюдение баланса между планированием и самоорганизацией. В работе [13] предлагается программное решение для интеллектуальной совместной разработки на основе генерации проектных решений и оптимизации с использованием многоагентного обучения с подкреплением. Авторы предлагают механизм коррекции отклонений ИИ и доизучения больших языковых моделей на основе обратной связи от экспертов-людей. В работе [4] предложена формализация задачи распределения гетерогенных агентов по задачам на основе «многозадачной аддитивно разделимой игры», в рамках которой реализован итеративный алгоритм наилучшего ответа, позволяющий агентам переходить в другие группы для улучшения индивидуальных выигрышей. Подход учитывает как соответствие навыков агента требованиям задачи, так и совместимость между агентами.

При разработке системы обеспечения коллаборативного взаимодействия в рамках гетерогенного человеко-машинного коллектива предполагается необходимость обеспечения распределения задач между агентами с учетом их компетенций, знаний и загруженности, обратной связи и взаимного обучения для повышения эффективности участников коллектива, а также следует предусмотреть механизм разрешения несогласованности решений с учетом требований к обоснованию решений (в том числе и ИИ-агентами). При этом не менее важной частью разработки алгоритма согласования поведения в человеко-машинном коллективе является повышение эффективности взаимодействия между гетерогенными агентами за счет использования естественных для человека интерфейсов. Кроме того, использование комплексного подхода к реализации системы принятия решений интеллектуальных агентов и организации управления коллективом в целом позволит упростить дальнейшую разработку и масштабирование подобных систем управления. В данной работе в качестве основы для системы рассматривается возможность использования интеллектуальных систем управления на основе имитационного моделирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура – это формализм искусственного интеллекта, который предполагает реализацию системы управления за счет моделирования поведения нейронов головного мозга в виде мультиагентной системы, но в отличие от классических искусственных нейронных сетей модель нейрона представляет собой проактивный актор с собственной целевой функцией, собственной базой знаний, возможностью обмениваться информацией и заключать контракты с другими нейронами [14]. Для моделирования систем принятия решений на основе описанного формализма используется разработанное в КБНЦ РАН программное обеспечение [15].

Предлагаемая архитектура системы организации коллаборативного взаимодействия гетерогенного человеко-машинного коллектива показана на рис. 1.

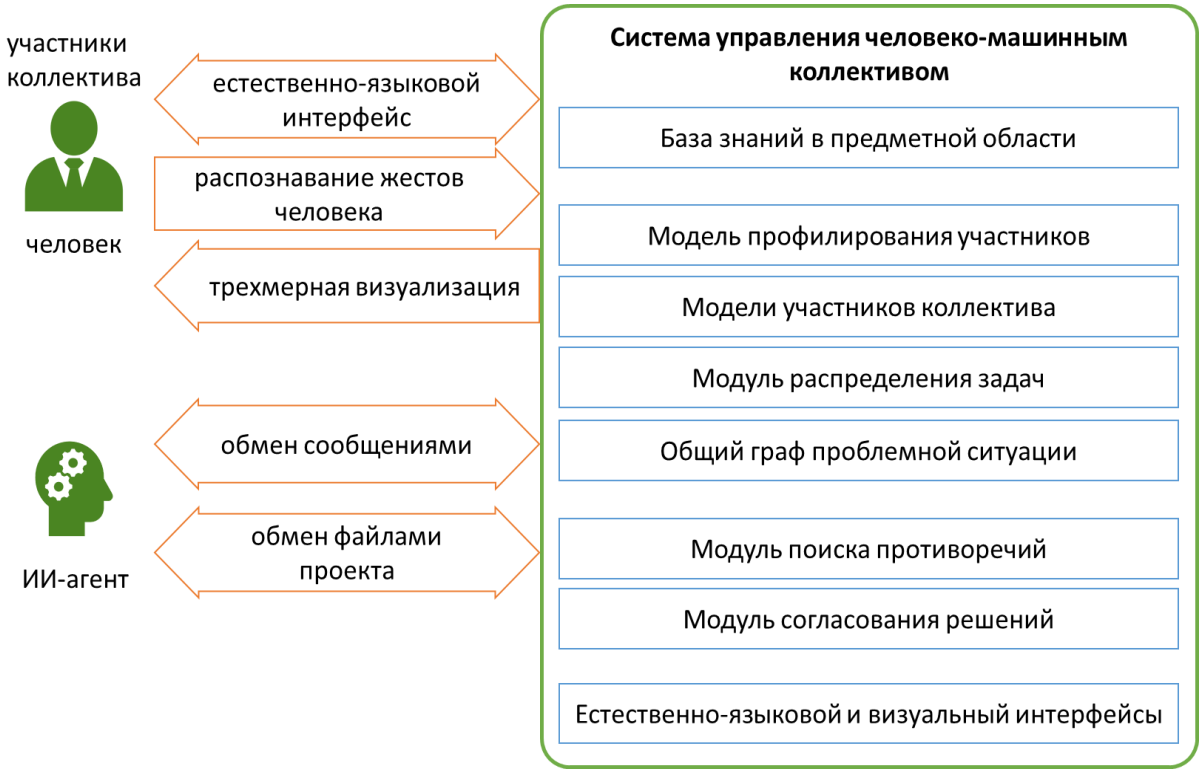


***Рис. 1**. Архитектура системы организации коллаборативного взаимодействия гетерогенного человеко-машинного коллектива*

***Fig. 1**. System architecture for organizing collaborative interaction within a heterogeneous human-machine team*

Систему управления коллективом можно разделить на набор узлов, включающих подсистему хранения информации о предметной области и конкретной проблеме, набор модулей, позволяющих построить модель поведения отдельных участников коллектива (модуль профилирования, модель участника и модуль распределения задач с учетом создаваемых в коллективе коалиций) и построить общий граф проблемной ситуации [16], описывающий пути разрешения проблемы с учетом целей и действий каждого агента по отдельности. Подобный граф строится от узла, описывающего текущее состояние системы «поставленная задача – коллектив – внешняя среда», через дуги, формируемые планируемыми действиями участников коллектива и реакцией среды (например, изменения параметров моделируемого узла или сроков его доведения до производства), к узлу, соответствующему требуемому состоянию (спроектированный узел изготовлен и соответствует требованиям), за счет сбора информации о состоянии мира и намерениях от всех участников коллектива. Пример участка такого графа показан на рис. 2.

При этом стоит задача мониторинга процесса работы коллектива с целью своевременного выявления противоречий (в целях, предложенных решениях или знаниях участников) и генерации согласованного решения с учетом необходимости дополнительного обмена знаниями для обеспечения изменений в графах проблемной ситуации задействованных участников коллектива. Сам обмен данными осуществляется между ИИ-агентами (в виде файлов и сообщений) и между агентами и людьми путем естественно-языкового интерфейса, распознавания жестов пользователя и визуализации процессов проектирования и прототипирования.

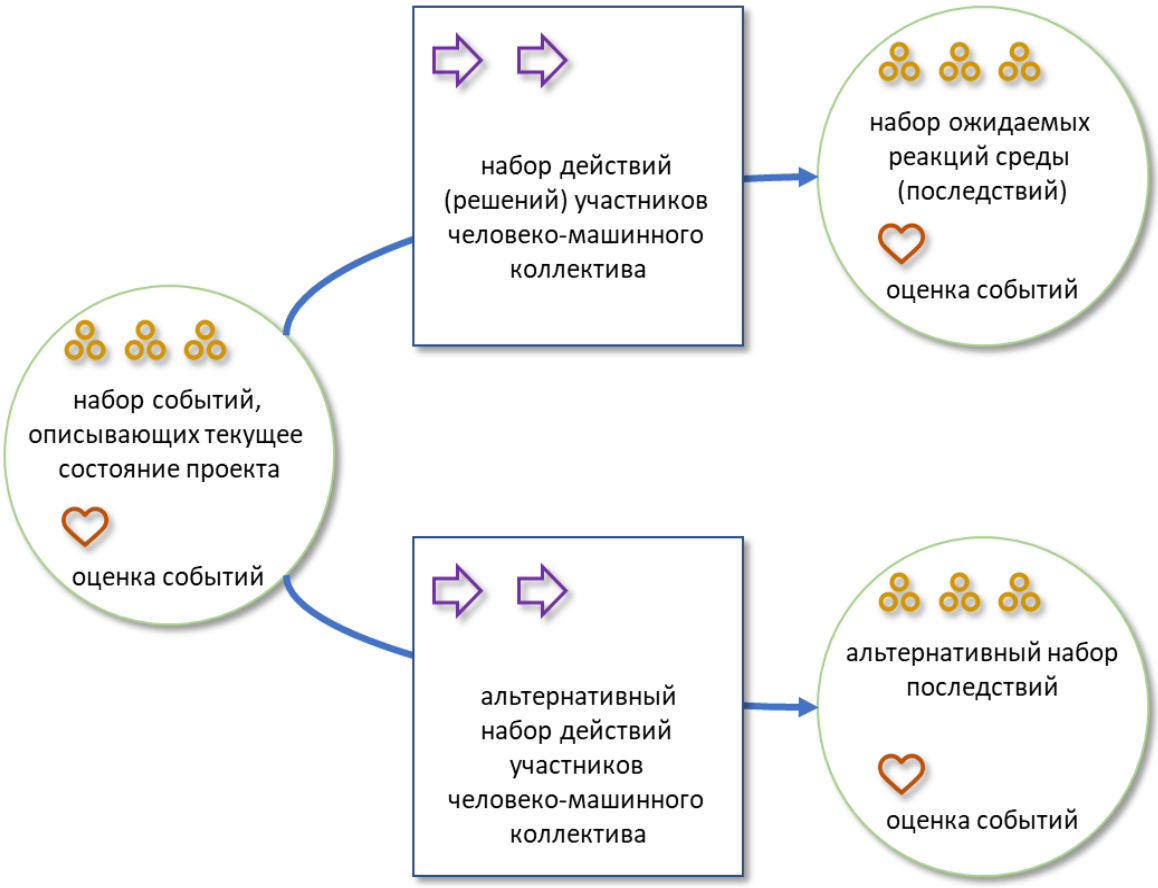


***Рис. 2**. Схема участка графа проблемной ситуации*

***Fig. 2**. Diagram of a problem situation graph section*

Алгоритм обеспечения согласованности при работе человеко-машинного коллектива

Алгоритм обеспечения согласованного поведения (рис. 3) включает в себя этап инициализации, куда входит загрузка технического задания на проектирование или прототипирование робототехнического устройства, и формирование базы знаний по предметной области и заданию. В рамках формирования базы знаний строится онтология предметной области с учетом знаний ИИ-агентов, анализа технического задания и общения с экспертами-людьми. Затем происходит инициализация моделей (профиля компетенций и знаний) для каждого участника коллектива, включая и людей. Затем в цикле происходит выполнение задания. На каждом этапе происходит декомпозиция технического задания и распределение задач с учетом навыков исполнителей и их группировки по коалициям. После идет этап генерации решений для текущих задач (например, выбор материалов или подготовка принципиальной схемы проектируемого узла), на котором проводится согласованная корректировка решений, в том числе за счет естественно-языкового и графического интерфейса между ИИ и людьми.

Наличие ряда решений позволяет запустить проверку на противоречия между ними. Причинами противоречий могут быть неоптимальные решения, рассогласование целей или отсутствие знаний вне своих компетенций у различных участников коллектива. Все эти проблемы можно свести к отсутствию необходимой полноты знаний у каждого участника коллектива, поэтому наиболее эффективным методом согласования поведения является

синхронизация целей и расширение базы знаний участников (за счет обмена мнениями). С учетом изменений в базах знаний каждый агент может построить новый граф проблемной ситуации и в результате предложить новое решение, которое может быть признано консенсусом. Подобное решение уже учитывается в общем графе проблемной ситуации. После этапа согласования при наличии незавершенных задач повторяется цикл работы, если же задачи выполнены, текущая работа человеко-машинного коллектива может считаться успешно завершенной. Для обеспечения согласованного поведения в алгоритме используются мультиагентная модель, включающая в себя не только описание предметной области, но и модели целей и знаний участников коллектива, а также общий граф проблемной ситуации, созданный на основе данных всех участников коллектива. Процесс согласования основан на совмещении целевых функций и расширении базы знаний участников коллектива за счет обучения посредством обмена сообщениями и поиска информации во внешних источниках.

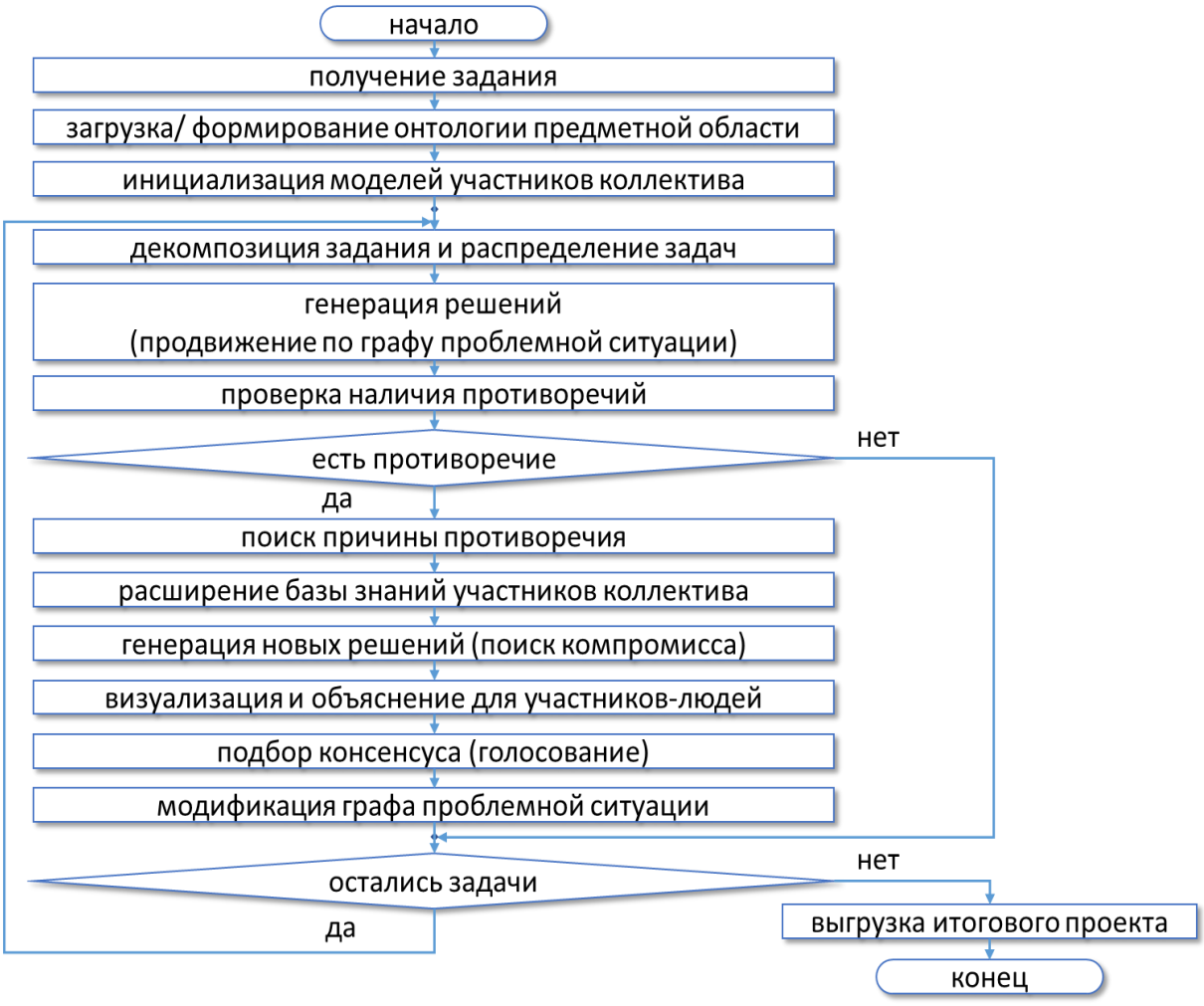


***Рис. 3**. Алгоритм обеспечения согласованности при работе человеко-машинного коллектива*

***Fig. 3**. Coordination algorithm for human-machine teamwork*

Рассмотрим подробнее проблемную ситуацию на примере проектирования манипулятора автономного робота для сбора урожая. Человеко-машинный коллектив представляет собой множество участников $A = H \cup M$, где $H = \{h_p\}$ – специалисты-люди, а $M = \{m_q\}$ –

ИИ-агенты. Мультиагентная модель для управления коллективом включает в себя модель мира, описываемую как $\Omega = (E, R)$, где $E = \{e^{i}_{j}\}$ – множество сущностей (i – индекс типа агента, j – индекс агента определенного типа) и $R = \{r^{i1, j1}{}_{i2, j2}\}$ – множество взаимосвязей между ними. В Ω в том числе хранятся модели участников коллектива, которые можно представить как вектор компетенций $K_a = \{(c_p, \omega_{a, p})\}$, целевая функция G_a a-го участника (например, «увеличение мощности», «увеличение скорости» или «сокращение срока проектировки») и модель мира (проблемной области) отдельного участника Ω_a. Здесь c_p – компетенция в определенной предметной области (например, «сопромат», «электроприводы» или «программирование микроконтроллеров»), а $\omega_{a, p}$ – степень владения p-го участника a-й компетенцией, оцениваемая участниками коллектива самостоятельно в пределах (0, 1). В рамках работы возможно противоречие, при котором один агент предлагает прочный материал, что ведет к увеличению мощности и приводит к снижению скорости работы на выбранном классе приводов. Это противоречие стало следствием рассогласованности целей агентов, отвечающих за конструкцию и приводы, и недостатка знаний (например, агент-конструктор не знал о текущих ограничениях привода, а агент-мехатронщик не имеет информации о новых приводах, которые могут обеспечить необходимый функционал). После расширения баз знаний агентов (за счет обмена мнениями между ними и получения дополнительной информации из внешнего мира), которое записывается в виде

$$\Omega_a (\tau) = \Omega_a (\tau - 1) + \Delta\Omega_a,$$

и согласования целей («сделать прочную конструкцию с учетом ограничений привода» и «подобрать привод с запасом мощности для обеспечения работоспособности конструкции») в виде

$$G_a (\tau) = G_a (\tau - 1) + \Delta G_a,$$

агенты могут начать генерировать новые решения и обмениваться ими для поиска наиболее компромиссного (максимально соответствующего всем целевым функциям):

$$\sum_{a=1}^{p+q}(G_a) \rightarrow max).$$

Мультиагентная архитектура для обеспечения коллаборативного взаимодействия в рамках человеко-машинного коллектива

Описанный алгоритм предполагается реализовать в виде мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры [14, 15]. В этом случае знания в предметной области и сгенерированные решения представлены в виде мультиагентных фактов, представляющих собой набор агентов-нейронов, связанных контрактами. Нейроны сгруппированы по типам (например, нейроны-объекты, действия, события, свойства, эмоции и т.д.) и формируют динамические связи путем обмена сообщениями. Например, наличие двух решений ИИ-агентов представляется в виде двух событий: «конструктор предложил схват изготовить из стали» и «мехатронщик предложил схват приводить электромотором», связанных с соответствующими агентами объектами и действиями (рис. 4).

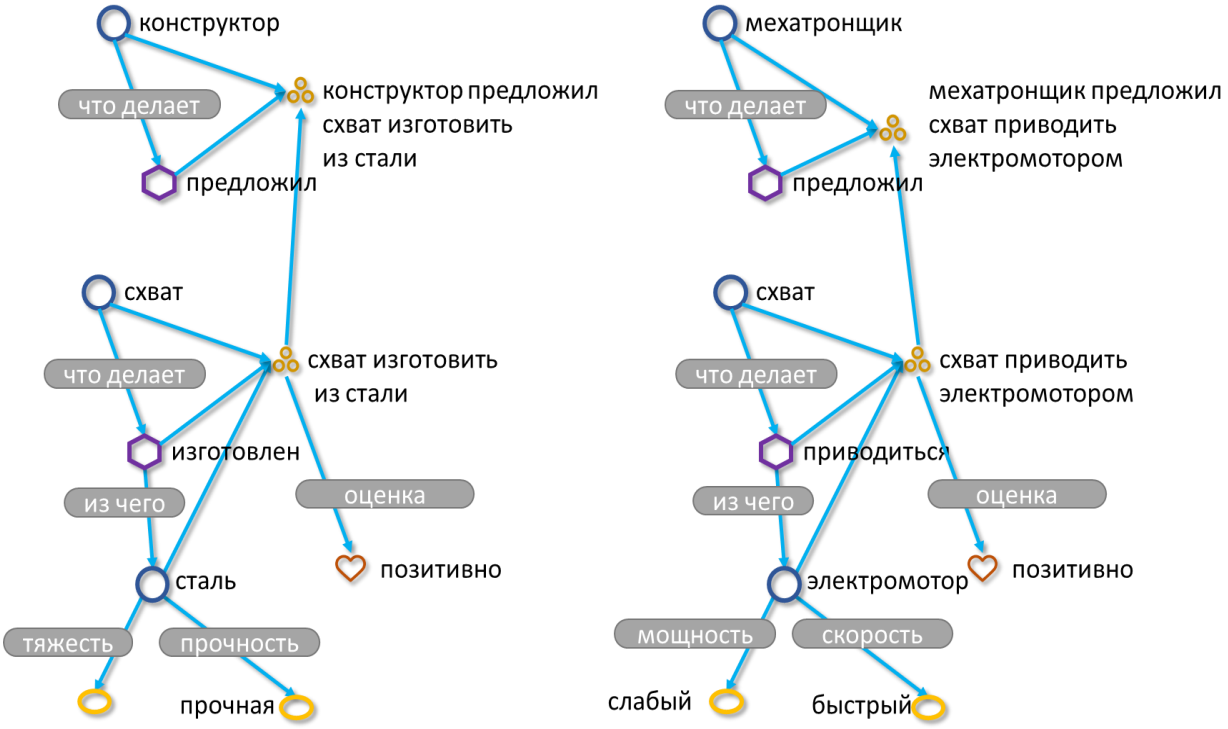


***Рис. 4**. Мультиагентные факты, описывающие два предложения ИИ-агентов*

***Fig. 4**. Multi-agent facts representing two statements by AI agents*

Оба события изначально имеют положительную эмоциональную оценку, но поскольку мультиагентные модели агентов включают в себя знания о предметной области, эти два события на этапе проверки противоречий должны инициировать создание причинно-следственных связей типа *«конструктор предложил схват изготовить из стали»* → *«использование стали утяжеляет конструкцию»* → *«электропривод не способен приводить тяжелую конструкцию»* & *«мехатронщик предложил схват приводить электромотором»* → *«привод не справится с перемещением предложенной конструкции»*, что в свою очередь имеет негативную оценку. Эта оценка и является триггером наличия противоречия, после чего соответствующим агентам ставится задача разрешения противоречия за счет обмена данными, поиска информации из внешних источников (в том числе и за счет общения с экспертами) и генерации новых решений.

Заключение

В работе представлен алгоритм обеспечения согласованного поведения в гетерогенном человеко-машинном коллективе. Предложенный подход учитывает разнородность целей участников, различия в их знаниях и компетенциях, а также обеспечивает эффективность обмена информацией за счет использования естественно-языкового интерфейса и трехмерной визуализации для специалистов-людей. В таком режиме с помощью естественно-языкового и графического интерфейсов организуется взаимодействие профильных специалистов-разработчиков и интеллектуальных программных агентов, поддерживаемых системой автоматизированного проектирования. Такое взаимодействие направлено на выполнение совместной изобретательской деятельности, конструирование, прототипирование и подбор последовательностей технологических

операций. Дальнейшие исследования предполагают экспериментальную проверку разработанных алгоритмов на реальных задачах проектирования изделий и устройств автономной робототехники и повышение эффективности механизмов адаптации и самообучения участников коллектива в процессе совместной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Nurudeen A.H., Sada A.Y. A Bibliometric analysis of the applications of artificial intelligence techniques to engineering design. *F1000Research*. 2026. Vol. 15. P. 619. DOI: 10.12688/f1000research.179509.1

2. Emiliani F., Bajrami A., Costa D.M. et al. Design and prototyping of a collaborative station for machine parts assembly. *Machines*. 2024. 8: 572. DOI: 10.3390/machines12080572

3. Leng J., Zhu X., Huang Z. et al. Unlocking the power of industrial artificial intelligence towards Industry 5.0: Insights, pathways, and challenges. *Journal of Manufacturing Systems*. 2024. Vol. 73. Pp. 349–363. DOI: 10.1016/j.jmsy.2024.02.010

4. Zuo T.-Y., Li P., Di K. et al. Self-organized team formation via multi-task hedonic games for capability-heterogeneous human–machine agents. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2026. Vol. 23. Pp. 8722–8735. DOI: 10.1109/TASE.2026.3687096

5. Pan Y., Zhang L. Integrating BIM and ai for smart construction management: current status and future directions. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022. DOI: 10.1007/s11831-022-09830-8

6. Opoku M., Nimbe P., Weyori B.A., Nyarko Boateng O. Applications of artificial intelligence in engineering and manufacturing: a systematic review. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2021. Vol. 33. No. 6. Pp. 1581–1601. DOI: 10.1007/s10845-021-01771-6

7. Yüksel N., Börklü H.R., Sezer H.K., Canyurt O.E. Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 118. p. 105697. DOI: 10.1016/j.engappai.2022.105697

8. Guo K., Yang Z., Yu C.H., Buehler M. Artificial intelligence and machine learning in design of mechanical materials. *Materials Horizons*. 2021. Vol. 8. No. 4. Pp. 1153–1172. DOI: 10.1039/d0mh01451f

9. Azizzadenesheli K., Kovachki N., Li Z. et al. Neural operators for accelerating scientific simulations and design. *Nature Reviews Physics*. 2024. Vol. 6. No. 5. Pp. 320–328. DOI: 10.1038/s42254-024-00712-5

10. Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. Artificial intelligence in product lifecycle management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. Vol. 114. No. 3-4. Pp. 771–796. DOI: 10.1007/s00170-021-06882-1

11. Demir M., McNeese N., Gorman J.C. et al. Exploration of teammate trust and interaction dynamics in human-autonomy teaming. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2021. Vol. 51. No. 6. Pp. 696–705. DOI: 10.1109/thms.2021.3115058

12. *Смирнов А. В., Пономарев А. В., Шилов Н. Г. и др.* Концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений: подход и архитектура платформы // Информатика и автоматизация. 2024. Т. 23. № 4. С. 1139–1172. DOI: 10.15622/ia.23.4.8

Smirnov A.V., Ponomarev A.V., Shilov N.G. et al. A Conception of collaborative decision support systems: approach and platform architecture. *Informatics and Automation*. 2024. Vol. 23. No. 4. Pp. 1139–1172. DOI: 10.15622/ia.23.4.8. (In Russian)

13. Li Y., Wang Z., Lian X. et al. CPDTeam: A KG-RAG-CoT dual-driven and deep reinforcement learning-augmented multi-agent framework for intelligent collaborative product development. *Journal of Manufacturing Systems*. 2026. Vol. 86. Pp. 492–515. DOI: 10.1016/j.jmsy.2026.03.017

14. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

15. Nagoev Z., Bzhikhatlov K., Pshenokova I., Unagasov A. Algorithms and software for simulation of intelligent systems of autonomous robots based on multi-agent neurocognitive architectures. In: Ronzhin A., Savage J., Meshcheryakov R. (eds). *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2024. Lecture Notes in Computer Science*. 2024. Vol. 14898. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-71360-6_29

16. *Бжихатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Нагоева О. В.* Кооперативное взаимодействие участников гетерогенного коллектива автономных агентов с использованием нейрокогнитивных моделей согласованного поведения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 132–141. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-132-141

Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. Cooperative interaction of participants in a heterogeneous team of autonomous agents using neurocognitive models of coordinated behavior. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 132–141. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-132-141. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Института информатики и проблем регионального управления – филиала КБНЦ РАН, тема «Разработка теоретических основ, методов и алгоритмов коллаборативного интеллектуального проектирования и прототипирования мехатронных изделий и устройств» (№ 125032004243-4).

Funding. The article was prepared within the framework state assignment Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the KBNC RAS of research “Development of theoretical foundations, methods, and algorithms for collaborative intelligent design and prototyping of mechatronic products and devices” (project No. 125032004243-4).

Информация об авторах

Бжихатлов Кантемир Чамалович, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-код: 9551-5494

Канкулов Султан Ахмедович, науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

skankulov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2996-7376, SPIN-код: 4342-5381

Унагасов Алим Ахмедханович, мл. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

alim.unagasov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3828-7468, SPIN-код: 7768-5490

Гергов Валерий Заурович, аспирант Научно образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
ronstoun@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3378-7662

Information about the authors

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-code: 9551-5494
Sultan A. Kankulov, Researcher, Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
skankulov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2996-7376, SPIN-code: 4342-5381
Alim A. Unagasov, Junior Researcher, Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
alim.unagasov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3828-7468, SPIN-code: 7768-5490
Valeriy Z. Gergov, Postgraduate Student, Research and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
ronstoun@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3378-7662

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

УДК 004.89 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-25-36
CONEHA

Имитационная модель обучения мультиагентных нейрокогнитивных систем управления для обеспечения взаимодействия с различными манипуляторами

К. Ч. Бжихатлов✉, И. А. Мамбетов, М. А. Абазоков, А. З. Темроков

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Современные роботы находят применение в широком спектре задач, что приводит к повышению требований к возможностям системы управления манипуляторами. При этом существующие подходы к обучению роботов манипуляционным навыкам сталкиваются с рядом ограничений в условиях необходимости быстрого обучения навыкам манипуляции объектами в сложной и динамической среде. Таким образом, актуальной становится задача разработки алгоритма, позволяющего интеллектуальной системе самостоятельно обучиться навыкам работы с новым для нее манипулятором.

Цель исследования – разработка архитектуры и алгоритмов обучения мультиагентной нейрокогнитивной системы управления автономными роботами, обеспечивающей эффективное взаимодействие с манипуляторами различных типов за счет федеративного обучения распределенной сети интеллектуальных агентов, построенных на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Методы исследования. Основным методом исследования является имитационное моделирование мультиагентных нейрокогнитивных систем.

Результаты. Основнымм результатами являются архитектура и алгоритм работы мультиагентной нейрокогнитивной системы обучения автономных роботов взаимодействию с различными манипуляторами. Обучение строится на естественно-языковом обмене знаниями между интеллектуальными агентами и людьми в результате которого создается мультиагентная база знаний о поведении и методах управления манипулятором и методах имитационного моделирования в виртуальной среде.

Заключение. Предложенный подход предполагает создание мультиагентной базы знаний о поведении и методах управления манипулятором за счет обмена знаниями между интеллектуальными агентами и людьми, имитационного моделирования в виртуальной среде и использования универсального описания для конструкции робота.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентные системы, нейрокогнитивные архитектуры, манипулятор, федеративное обучение, робототехника

Поступила 10.07.2026, одобрена после рецензирования 21.08.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Бжихатлов К. Ч., Мамбетов И. А., Абазоков М. А., Темроков А. З. Имитационная модель обучения мультиагентных нейрокогнитивных систем управления для обеспечения взаимодействия с различными манипуляторами // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 25–36. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-25-36

© Бжихатлов К. Ч., Мамбетов И. А., Абазоков М. А., Темроков А. З., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T42 Original article

Simulation model for multi-agent neurocognitive control systems training to enable interaction with diverse manipulators

K.Ch. Bzhikhatlov✉, I.A. Mambetov, M.A. Abazokov, A.Z. Temrokov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. Modern robots find applications in a broad spectrum of tasks, driving stricter requirements for the capabilities of manipulator control systems. However, existing robotic manipulation skill learning approaches encounter several limitations under constraints demanding rapid adaptation to object manipulation within complex and dynamic environments. Thus, it becomes highly relevant to develop an algorithm that enables an intelligent system to independently learn skills for operating a novel manipulator.

Aim. This study aims to design the architecture and learning algorithms for a multi-agent neurocognitive control system governing autonomous robots, enabling efficient interaction with diverse manipulator types by leveraging federated learning across a distributed network of intelligent agents built upon multi-agent neurocognitive architectures.

Research methods. Simulation modeling of multi-agent neurocognitive systems is applied as the primary research method.

Result. The main contribution of this research is the architecture and underlying algorithm of a multi-agent neurocognitive system designed to train autonomous robots for interaction with diverse manipulator types. The training process is based on natural language knowledge exchange between intelligent agents and humans, resulting in the creation of a multi-agent knowledge base on manipulator behavior, control methods, and simulation modeling techniques within a virtual environment.

Conclusion. The proposed approach entails establishing a multi-agent knowledge base on manipulator behavior and control strategies by leveraging human-agent knowledge sharing, virtual environment simulation modeling, and a universal robot design description.

Keywords: artificial intelligence, multi-agent systems, neurocognitive architectures, manipulator, federated learning, robotics

Submitted 10.07.2026, approved after reviewing 21.08.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Bzhikhatlov K.Ch., Mambetov I.A., Abazokov M.A., Temrokov A.Z. Simulation model for multi-agent neurocognitive control systems training to enable interaction with diverse manipulators. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 25–36. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-25-36

Введение

Заметное расширение спектра задач, выполняемых современными роботами, приводит к повышению требований к возможностям системы управления манипуляторами, в частности, появляется необходимость быстрой адаптации к изменяющимся условиям внешней среды и работы с объектами различной природы. Однако существующие подходы к обучению роботов манипуляционным навыкам сталкиваются с рядом ограничений, например, классические методы программирования манипуляторов требуют детального математического описания кинематики и динамики робота, что делает расширение спектра контракций манипуляторов крайне трудоемким [1], методы машинного обучения сталкиваются с недостатком и сложностью сбора обучающих выборок [2], а применение обучения с под-

© Bzhikhatlov K.Ch., Mambetov I.A., Abazokov M.A., Temrokov A.Z., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

креплением в виртуальной среде связано с проблемой разрыва между реальностью и симуляцией [3, 4]. Таким образом, задачу разработки универсальной системы обучения роботов взаимодействию с манипуляторами различной конструкции за счет федеративного обучения, в том числе и совмещения реальных экспериментов и имитационного моделирования, можно считать актуальной.

Широкий спектр методов обучения роботов работе построен на основе многократного обучения в виртуальной среде, что позволяет значительно экономить время и ресурсы, необходимые для организации обучения робота в реальных условиях. Подобный подход показывает эффективность в прогнозируемых условиях работы, например в задачах управления в известной и строго структурированной среде. В частности, в работе [5] авторы представили результаты обучения с подкреплением при обучении шагающих роботов игре в футбол, а в [6] – для управления в гонках роботов. Оба исследования продемонстрировали рост эффективности управления. При этом стоит отметить наличие проблемы переноса навыков из виртуальной среды в реальность [7], связанной с ошибками в управлении, вызванными отличием условий реальной среды и низкой точностью моделирования ряда физических процессов. Для ее решения можно как использовать рандомизацию модели среды и перенос реальной среды в модель, так и применять имитационное обучение на реальных данных, направленное на извлечение знаний из демонстраций экспертов. Например, авторы [8] представили платформу для обучения роботов Orbit на основе системы симуляции Nvidia Isaac Simulator, в которой реализовано моделирование поведения 16 роботизированных платформ в ряде различных задач. Но, как отмечают авторы [9], этот подход имеет ряд ограничений: низкая скорость подготовки обучающих данных, зависимость от качества демонстрации и ограниченная эффективность большинства обученных агентов в специфических условиях.

В настоящее время достаточно активно исследуются методы управления автономным роботом на основе использования моделей нейронных сетей «зрение-язык-действие» (они же Vision-Language-Action models), которые объединяют в общую структуру архитектуры распознавания изображений, большие языковые модели и модели для управления манипуляторами в реальной среде [10, 11]. Подобные модели зачастую требуют больших вычислительных ресурсов и обширного предварительного обучения на больших объемах разнородных данных (включая результаты экспериментов на роботах), что затрудняет их внедрение в реальных условиях. В работе [12] представлена модель TinyVLA, обеспечивающая высокую скорость вывода и эффективность использования данных по сравнению с аналогами (включая модель OpenVLA), но обобщающая способность VLA-моделей в многозадачной манипуляции остается ограниченной [13].

Применение комплексного подхода к разработке системы обучения управлению различными манипуляторами, учитывающего возможности быстрого освоения навыков взаимодействия с объектами реальной среды в перспективе позволит сократить время и затраты на обучение роботов новым манипуляционным навыкам и обеспечит переносимость знаний между различными робототехническими системами. В качестве основы разрабатываемой системы управления рассматриваются мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры – формализм искусственного интеллекта, основанный на мультиагентном моделировании системы агентов [14]. В подобной модели агент рассматривается не как взвешивающий сумматор, а как проактивный актор с собственной целевой функцией максимизации внутренней энергии, собственной базой знаний (представленной продукционными правилами) и возможностью обмениваться знаниями и энергией, а также заключать контракты с другими агентами.

Целью работы является разработка архитектуры и алгоритмов обучения мультиагентной нейрокогнитивной системы управления автономными роботами, обеспечивающей эффективное взаимодействие с манипуляторами различных типов за счет федеративного обучения распределенной сети интеллектуальных агентов, построенных на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. В качестве основного метода исследования используется имитационное моделирование мультиагентных нейрокогнитивных систем.

Архитектура системы федеративного обучения управлению различными манипуляторами автономного робота

Разрабатываемая система обучения для обеспечения взаимодействия с различными манипуляторами предполагает использование мультиагентных нейрокогнитивных архитектур в качестве основы интеллектуального принятия решений. Архитектура системы обучения предполагает использование не только подготовленных обучающих выборок, но и самостоятельное пополнение базы знаний интеллектуального агента за счет обучения навыкам у других агентов, в том числе и через общение со специалистами-людьми, и запуска процесса моделирования поведения манипулятора в виртуальной среде. Схема архитектуры системы обучения показана на рис. 1.



***Рис. 1**. Архитектура системы обучения управлению различными манипуляторами автономного робота*

***Fig. 1**. System architecture for training an autonomous robot to control various manipulators*

Система обучения представляет собой мультиагентную нейрокогнитивную архитектуру, состоящую из агентов, разделенных по типам (например: сенсоры, эффекторы, объекты, действия, события, локации, временные свойства и т.д.). В архитектуре выделяются функциональные системы, представляющие собой группы агентов, выполняющие общий класс задач. Обмен с внешним миром осуществляется за счет передачи от эффекторов и

приема на сенсоры сообщений. В архитектуре системы обучения можно выделить мультиагентную модель реальности, которая формирует онтологию знаний о внешней среде путем получения информации от постановщика задачи, взаимодействия с другими интеллектуальными агентами, участвующими в выполнении задачи, и предыдущего опыта данного агента, который формируется заполнением базы знаний (предобучение). При обучении работе с новым манипулятором в архитектуру через систему сенсоров передается информация о его конструкции и характеристиках в универсальном формате. Также система может самостоятельно ставить задачи по моделированию поведения манипулятора, отправляя информацию о его конструкции и условиях внешней среды на отдельную программу виртуального моделирования.

Стоит отметить, что для экономии времени обучения предполагается использование федеративной сети для обучения агентов друг у друга (рис. 2). В подобной сети человеко-машинные коллективы объединены в общую сеть обмена данными и при работе могут обмениваться знаниями на естественном языке или в виде передачи мультиагентных фактов, представляющих собой набор агентов и связей между ними. То есть любой интеллектуальный агент, который сталкивается с неполнотой онтологии и проблемами при решении поставленной задачи, ищет среди активных агентов всех тех, кто выполняет схожие задачи, имеет схожую конструкцию или работает в той же среде и запрашивает необходимые данные. При этом стоит учитывать, что в связи со значительным объемом генерируемых данных обмен полной базой знаний между агентами представляется труднореализуемым и неэффективным.

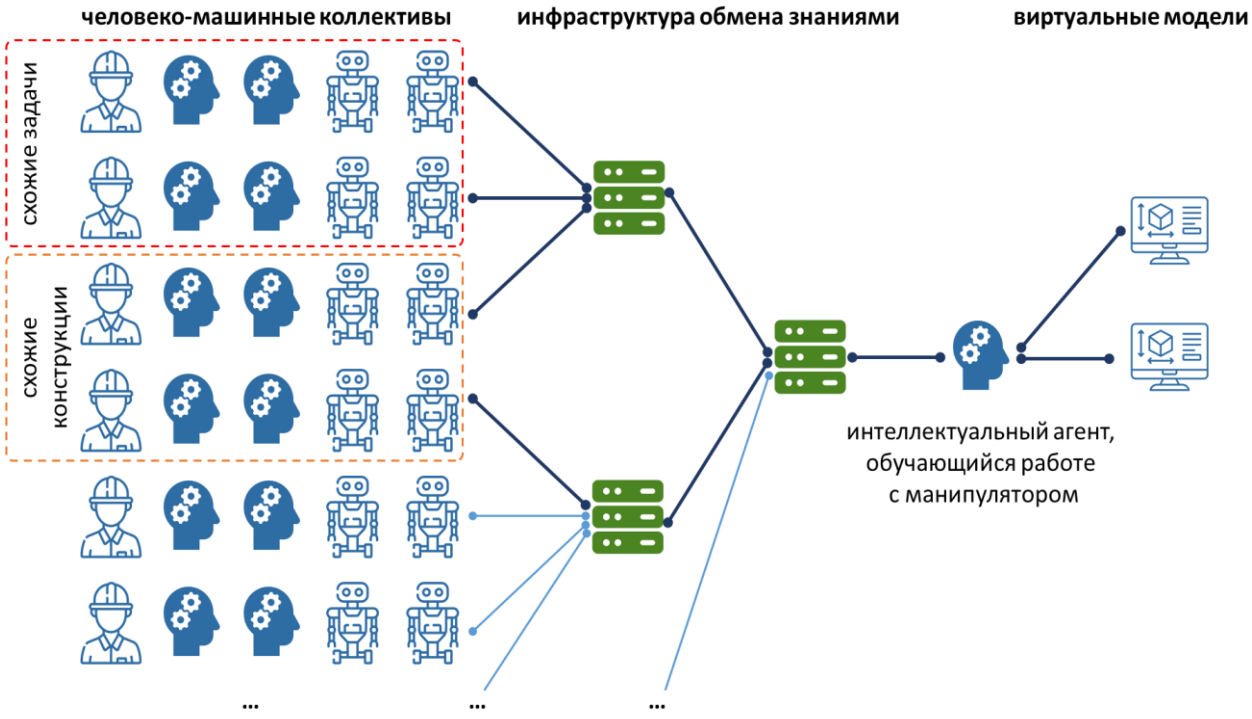


***Рис. 2**. Схема организации федеративного обучения интеллектуального агента*

***Fig. 2**. Organization diagram of intelligent agent federated learning.*

Общий формат представления знаний в виде мультиагентного факта позволит автоматизировать обмен знаниями между агентами и максимально повысить эффективность обучения каждого из них. Мультиагентный факт – это событие или закономерность в реальной

среде, зафиксированная в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре в виде набора связанных агентов, отвечающих за репрезентацию элементов реальной среды. Например, мультиагентный факт «схват берет яблоко» состоит из агента объектного типа «схват» и «яблоко», действия «брать», которые связаны с агентом-событием «схват берет яблоко». Это событие имеет связи с агентами, отвечающими за место, время и эмоциональную оценку. Стоит отметить, что связи между агентами характеризуются коэффициентом корреляции. Пример структуры связей в подобном факте приведен на рис. 3. На нем показана фиксация двух фактов, приводящих к созданию причинно-следственной связи между событием «схват быстро берет яблоко» и «яблоко деформируется» (на примере обучения владению манипулятором робота для сбора урожая [15]). В результате работы в архитектуре должны быть построены новые причинно-следственные связи и сгенерирована онтология предметной области, включающая знания об устройстве и поведении манипулятора и принципах работы с ним.

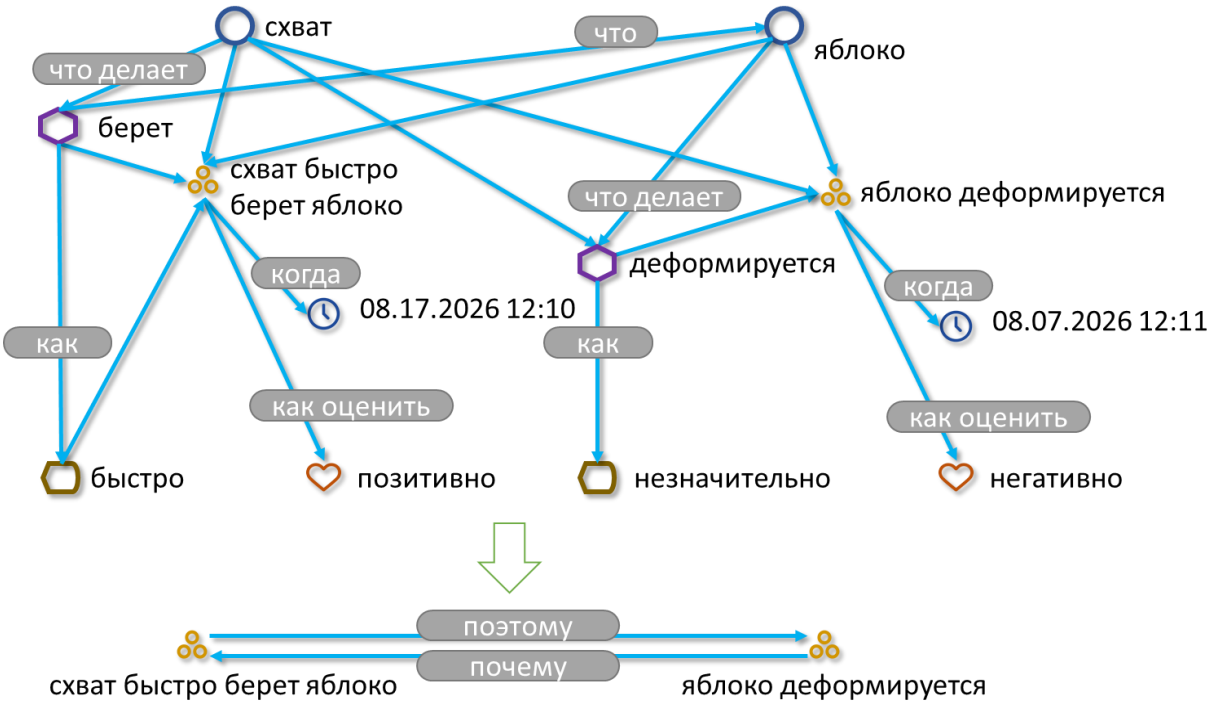


***Рис. 3**. Мультиагентная архитектура процесса построения причинно-следственных связей при работе с манипулятором*

***Fig. 3** Multi-agent architecture of the causal relationship building process when operating a manipulator*

На этапе инициализации процесса обучения необходимо обеспечить загрузку описания задания и предметной области (в том числе и за счет естественно-языкового интерфейса). Затем программа должна получить описание конструкции робота (например, в формате Unified Robot Description Format) и его манипуляторов, которая позволит построить базовую модель робота, включающую набор агентов-сенсоров и эффекторов, отвечающих за сенсорную сеть робота, онтологию, описывающую конструкцию и режим работы манипуляторов, а также набор причинно-следственных связей, описывающих основные функции и ограничения в работе манипулятора. Алгоритм обучения показан на рис. 4.



***Рис. 4**. Алгоритм обучения управлению различными манипуляторами автономного робота*

***Fig. 4**. Algorithm for training an autonomous robot to control various manipulators.*

На этапе обучения текущий агент уточняет наличие в сети других агентов или человеко-машинных коллективов, выполняющих похожие задачи или имеющих похожую конструкцию. То есть, если представить, что множество $A = \{a_1, \ldots. a_i\}$ – это множество всех интеллектуальных агентов a_i, каждый из которых представляет собой набор элементов $a_i = (\Omega_i, r_i, t_i)$, где Ω_i – база знаний i-го агента, r_i – робототехническая система под управлением i-го агента и t_i – выполняемая i-м агентом задача, тогда для текущего агента условие необходимости общения с контрагентом выглядит как

$$A^{inf} = \left\{a_i \middle| \begin{cases} \tau(r_i, r_x) < \Delta\tau \\ \varphi(t_i, t_x) < \Delta\varphi \end{cases}\right\},$$

где τ и φ – функции, определяющие степень отличия конструкции роботов (r_x и r_i) или условий выполнения задач (t_x и t_i) соответственно, а $\Delta\tau$ и $\Delta\varphi$ – пороговые значения отличия (критерии схожести). Критерии схожести $\Delta\tau$ и $\Delta\varphi$ могут изменяться при отсутствии близких аналогов. При наличии подобных агентов у них запрашиваются данные о работе с манипулятором, проводится анализ и обобщение полученной информации. В результате база знаний агента расширяется за счет добавления новых фактов:

$$\Omega_i \cup \{\Omega_j | a_j \in A^{inf}\}.$$

Далее в алгоритме проводится оценка достаточности текущего состояния базы знаний для применения манипулятора в реальной среде. Если знаний недостаточно, то в программу виртуального моделирования передаются описания манипулятора и внешней среды, на базе чего моделируется ряд сценариев взаимодействия с объектами с симуляцией работы манипулятора и физики взаимодействия с объектами. Например, при обучении работе со схватом в программу моделирования передается описание манипулятора, комнаты и перемещаемых объектов. На базе этого описания строится модель, в рамках которой считываются сигналы на эффекторы робота, моделируется физическое взаимодействие манипулятора с внешними объектами и формируются сигналы на сенсоры робота. Эти данные позволяют строить мультиагентные факты о поведении манипулятора и тем самым расширять базу знаний системы управления. При необходимости строится несколько подобных моделей с внесением случайных корректировок (перемещение объектов в комнате, добавление «шума» в показания сенсоров, изменение физических свойств перемещаемого объекта и т.д.).

Затем опять проводится оценка возможности применения манипулятора в реальной среде. Причем если данных недостаточно, агент должен сформулировать уточняющие вопросы для экспертов-людей и при необходимости построить цикл обучения. Если же обучение прошло успешно и агент считает базу знаний достаточной, он должен передать наиболее важные знания другим агентам и приступить к выполнению задачи. Критерием «важности» полученных знаний можно считать их противоречие предыдущим фактам. Работа в реальной среде тоже продолжает расширять базу знаний системы управления. Стоит отметить, что возникновение проблем при выполнении задания может снова инициировать процесс дообучения агента с учетом уже полученных навыков в реальной среде.

Программная реализация системы обучения управлению манипулятором

Программная реализация предполагает моделирование мультиагентных нейрокогнитивных архитектур на сервере [16], где также развернута подпрограмма, обеспечивающая взаимодействие с пользователями, другими агентами и программами по сети. На том же сервере разворачивается подпрограмма для работы с системой виртуального моделирования. Для взаимодействия с серверной частью на стороне клиентов разворачиваются следующие программы: интерфейс пользователя (чат с поддержкой обмена звуковыми сообщениями или редактор мультиагентных архитектур [17]); программа для обмена сообщениями между разными интеллектуальными агентами; программа, отправляющая описание конструкции робота; программа, передающая потоки данных с сенсорных сетей на бортовой ЭВМ робота, и среда виртуального моделирования для тестирования сценариев использования манипулятора. Программная архитектура показана на рисунке 5.

Программа подготовки описания манипулятора передает данные о составе робототехнической платформы в виде JSON-сообщения, структура которого показана на рисунке 6. То есть робот представляется как $r_i = (U, K, S, E, P)$, где U – множество всех узлов, K – множество сочленений, S – множество сенсоров, E – множество эффекторов и P – значения параметров робота. Каждый узел включает в себя данные о его размерах, и физических свойствах, сочленение – о связанных узлах и степенях свободы, сенсор – данные о расположении и измеряемой величине, а эффектор – об управляемом свойстве робота. Для каждого сенсора и эффектора в мультиагентной архитектуре создается соответствующий агент-сенсор или агент-эффектор, отвечающий за обмен данными. Описание робота также попадает на соответствующие сенсоры в управляющей архитектуре, что позволяет построить модель конструкции робота (представление о воплощении в реальном мире).

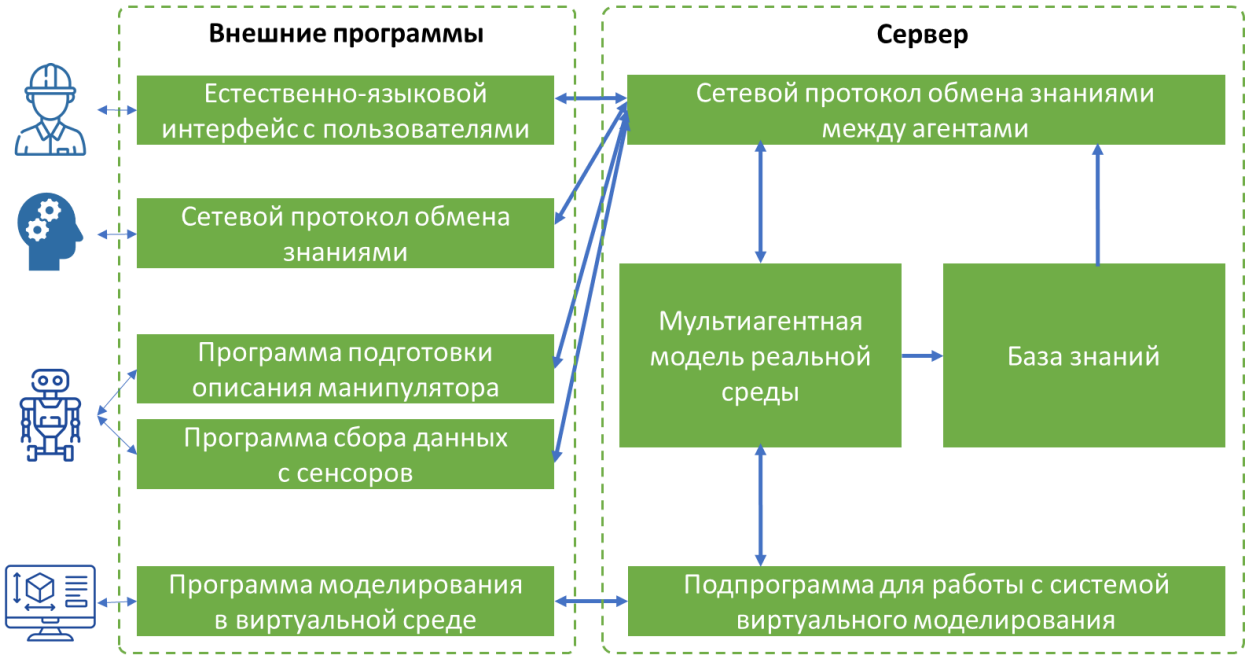


Рис. 5. *Схема программной реализации системы обучения управлению манипулятором*

Fig. 5. *Software implementation diagram of the manipulator control training system*

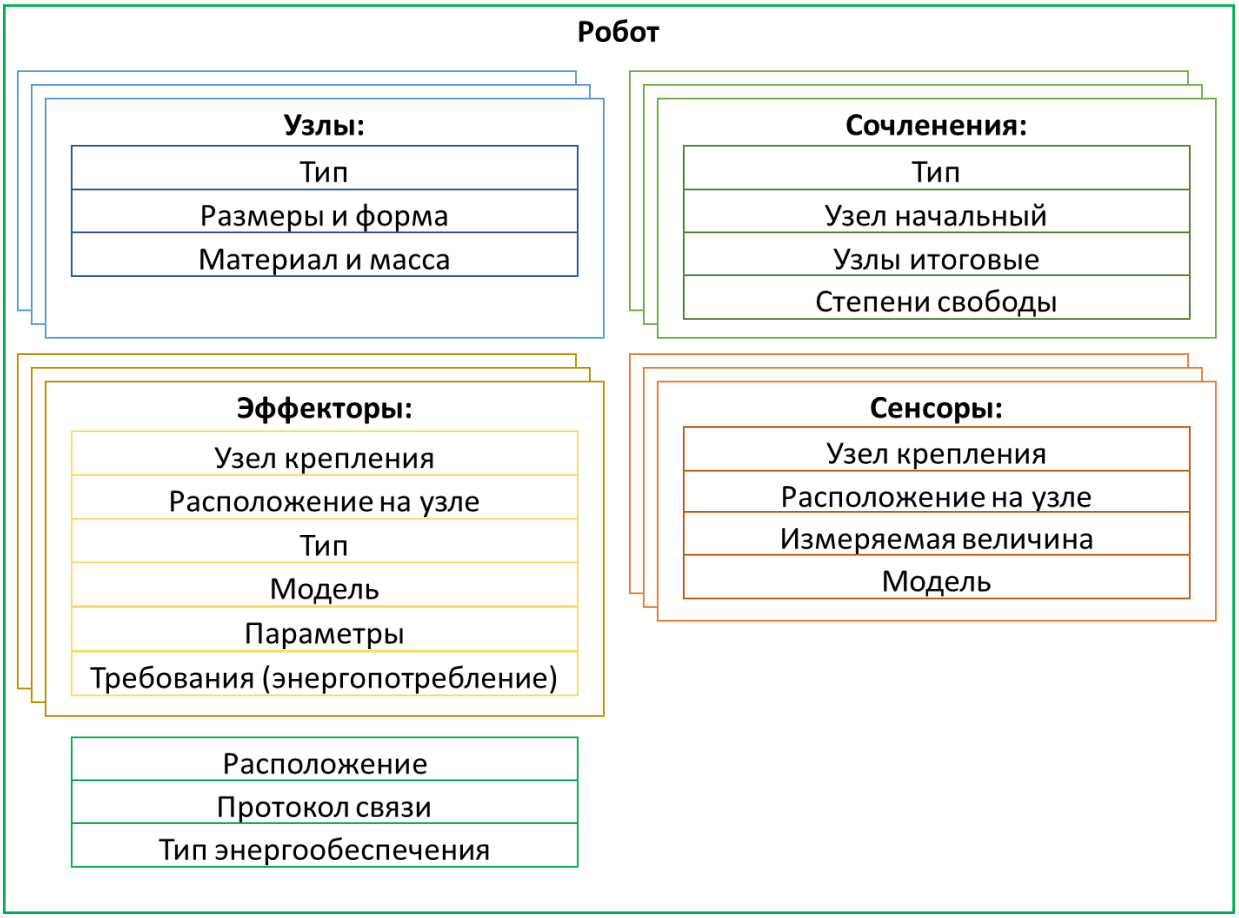


Рис. 6. *Схема описания робота для системы обучения работе с манипуляторами*

Fig. 6. *Robot description framework for the manipulator control training system*

Программа для обмена данными опрашивает реальные сенсоры робота, формирует набор сообщений для входа мультиагентной архитектуры и перехватывает ответ в виде команд для эффекторов. Для обмена данными используются JSON-сообщения и протокол Web socket. Программа моделирования в виртуальной среде предполагает реализацию программного интерфейса приложения (API), позволяющего интеллектуальному агенту самостоятельно указать сценарий моделирования, условия в модели и конструкции моделируемого робота, обмен данными с сенсоров и управляющих команд на эффекторы. Здесь также предполагается использовать обмен JSON-сообщениями.

Заключение

В работе представлены архитектура и алгоритм работы мультиагентной нейрокогнитивной системы обучения автономных роботов взаимодействию с различными манипуляторами. Предложенный подход предполагает создание мультиагентной базы знаний о поведении и методах управления манипулятором за счет обмена знаниями между интеллектуальными агентами и людьми, имитационного моделирования в виртуальной среде и использования универсального описания для конструкции робота. Комплексное использование универсальных методов и алгоритмов управления и автономного обучения на основе мультиагентного нейрокогнитивного моделирования может стать основой сквозной технологии создания систем принятия решений, способных обеспечить управление роботами различной конфигурации на основе реализации единых принципов автоматизированного проектирования и прототипирования. В перспективе подобное решение позволит минимизировать время на обучение робота взаимодействию с объектами реальной среды с применением различных конструкций манипулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. An S., Meng Z., Tang C., et al. Dexterous manipulation through imitation learning: a survey. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2026. Vol. 23. Pp. 1760–1792. DOI: 10.1109/tase.2025.3646183

2. Deng W., Ardiani F., Nguyen K.T.P. et al. Physics informed machine learning model for inverse dynamics in robotic manipulators. *Applied Soft Computing Journal*. 2024. Vol. 163. P. 111877. DOI: 10.1016/j.asoc.2024.111877

3. Tiwari R., Khapre S., Singh A. Reinforcement learning in robotic systems: A review on sim-to-real transfer. *Robotics and Autonomous Systems.* 2026. Vol. 198. P. 105327. DOI: 10.1016/j.robot.2025.105327

4. *Залогин Н. Е., Григорьев Д. С.* Об обучении интеллектуальных агентов в виртуальной среде для задачи управления роботом-манипулятором // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. 2024. Т. 2. No. 3. С. 1–8. DOI: 10.18799/29495407/2024/3/6

Zalogin N.E., Grigoriev D.S. On training intelligent agents in a virtual environment for the robot manipulator control task. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. *Industrial Cybernetics*. 2024. Vol. 2. No. 3. Pp. 1–8. DOI: 10.18799/29495407/2024/3/61. (In Russian)

5. Haarnoja T., Moran B., Lever G. et al. Learning agile soccer skills for a bipedal robot with deep reinforcement learning. *Science Robotics*. 2024. Vol. 9. No. 89. DOI: 10.1126/scirobotics.adi8022

6. Song Y., Romero A., Müller M. et al. Reaching the limit in autonomous racing: optimal control versus reinforcement learning. *Science Robotics*. 2023. Vol. 8. No. 82. DOI: 10.1126/scirobotics.adg1462

7. Tiwari R., Khapre S., Singh A. Reinforcement learning in robotic systems: a review on sim-to-real transfer. *Robotics and Autonomous Systems*. 2026. Vol. 198. p. 105327. DOI: 10.1016/j.robot.2025.105327

8. Mittal M., Yu C., Yu Q. et al. Orbit: a unified simulation framework for interactive robot learning environments. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2023. Vol. 8. No. 6. Pp. 3740–3747. DOI: 10.1109/lra.2023.3270034

9. Verma S., Zheng B., Tsang I.W., Chen F. Imitation learning: progress, taxonomies and challenges. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2024. Vol. 35. No. 5. Pp. 6322–6337. DOI: 10.1109/tnnls.2022.3213246

10. Sa I., Park C., Lee H.M. et al. Vision–language–action (VLA) models for unmanned aerial robotics and bimanual manipulation: a review. *Drones*. 2026. Vol. 10. No. 6. P. 412. DOI: 10.3390/drones10060412

11. Kawaharazuka K., Oh J., Yamada J. et al. Vision-language-action models for robotics: a review towards real-world applications. *IEEE Access*. 2025. Vol. 13. Pp. 162467–162504. DOI: 10.1109/access.2025.3609980

12. Wen J., Zhu Y., Li J., Zhu M. et al. TinyVLA: towards fast, data-efficient vision-language-action models for robotic manipulation. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2025. Vol. 10. No. 4. Pp. 3988–3995. DOI: 10.1109/lra.2025.3544909

13. Wu Hongjun, Zhang Heng, Zhang Pengsong et al. HiBerNAC: Hierarchical brain-emulated robotic neural agent collective for disentangling complex manipulation. *arXiv.* 2025. 08296v2. DOI: 10.48550/arXiv.2506.08296

14. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

15. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Бжихатлов К. Ч., Канкулов С. А.* Имитационная модель интеллектуальной системы управления схватом сельскохозяйственного манипулятора на основе обучения мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 4 (102). С. 28–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-4-102-28-37

Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A. Simulation model of an intelligent control system for the agricultural grip manipulator based on the multi-agent neurocognitive architectures training. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 4(102). Pp. 28–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-4-102-28-37. (In Russian)

16. Nagoev Z., Bzhikhatlov K., Pshenokova I., Unagasov A. Algorithms and software for simulation of intelligent systems of autonomous robots based on multi-agent neurocognitive architectures. *Interactive Collaborative Robotics. ICR 2024. Lecture Notes in Computer Science.* In: Ronzhin, A., Savage, J., Meshcheryakov, R. (eds). 2024. Vol. 14898. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-71360-6_29

17. *Бжихатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Мамбетов И. А. и др.* Программная реализация редактора мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Информационное общество. 2026. № 1. С. 108–121. DOI: 10.52605/16059921_2026_01_108

Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Mambetov I.A. et al. Development of algorithms and software implementation of the editor of multi-group neurocognitive architectures. *Information society*. 2026. № 1. Pp. 108–121. DOI: 10.52605/16059921_2026_01_108. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания КБНЦ РАН, тема «Разработка теоретических основ интеллектуального управления комплексной динамикой автономных роботов в реальной среде на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур» (№ 125032604496-8).

Funding. This article was prepared within the framework state assignment KBNC RAS of research "Development of theoretical foundations for the intelligent control of the complex dynamics of autonomous robots in real-world environments based on multi-agent neurocognitive architectures" (project No. 125032604496-8).

Информация об авторах

Бжихатлов Кантемир Чамалович, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-код: 9551-5494
Мамбетов Идар Арсенович, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-код: 5951-8195
Абазоков Мухамед Адмирович, мл. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
abazokov1997@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8710-1562, SPIN-код: 5167-5962
Темроков Айдемир Залимханович, аспирант Научно-образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
temrokovaydemir@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2272-475X, SPIN-код: 4961-2069

Information about the authors

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-code: 9551-5494
Idar A. Mambetov, Researcher at the Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-code: 5951-8195
Mukhamed A. Abazokov, Junior Researcher, Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
abazokov1997@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8710-1562, SPIN-code: 5167-5962
Aidemir Z. Temrokov, Postgraduate Student**,** Research and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
temrokovaydemir@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2272-475X, SPIN-code: 4961-2069

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

УДК 004.853 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-37-48
EJYRLA

Мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст» на основе обучения нейрокогнитивных архитектур

И. А. Пшенокова✉, К. Ч. Бжихатлов, И. А. Мамбетов

Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Современные мультимодальные системы искусственного интеллекта добились значительных успехов в автоматическом аннотировании изображений благодаря глубокому обучению и наборам данных. Однако существующие нейросетевые модели требуют больших вычислительных мощностей и больших объемов размеченных данных. Кроме того, классические нейросети часто игнорируют контекст и тонкие человеческие эмоции. Это ограничивает их применение в задачах, требующих глубокого понимания ситуации.

Цель исследования – повышения полноты и точности семантического выравнивания разнородных данных при интерпретации пар «изображение-текст» в динамических средах.

Для этого разработан мультиагентный алгоритм сопоставления модальностей на основе самоорганизующихся нейрокогнитивных представлений, обеспечивающий прямую интерпретируемость принимаемых решений. Исследование направлено на моделирование процесса понимания текста и изображений интеллектуальным агентом как процесса самоорганизации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры.

Методы исследования. В работе применен мультиагентный нейрокогнитивный подход, который основан на самоорганизации нейроподобных элементов, составляющих функциональные узлы управляющей когнитивной архитектуры программного агента или автономного мобильного робота. Нейроподобие проявляется в использовании принципов нейропластичности головного мозга при формировании в составе когнитивной архитектуры динамических функциональных систем (по Анохину), обеспечивающих автономное принятие решений и управление в задачах распознавания и интерпретации пар «изображение-текст».

Результаты. Разработана многоуровневая архитектура, включающая уровни рецепции, представления знаний, контекста, мотивации, управления и действия. Предложен алгоритм, позволяющий системе не просто сопоставлять пиксели с текстом, а встраивать их в «жизненный опыт» агента через моторные акты и целеполагание. Методом имитационного моделирования в виртуальной среде верифицирована логика работы разработанной архитектуры и подтверждена ее способность адаптироваться к контексту без использования предварительно размеченных сквозных выборок, что закладывает основу для создания интерпретируемых нейрокогнитивных моделей искусственного интеллекта. На качественном уровне продемонстрирована стабильность модели энергообмена и принципиальная возможность интеграции текстовых и визуальных паттернов в прагматику поведения агента.

Ключевые слова: мультиагентное моделирование, нейрокогнитивные архитектуры, распознавание образов, интеллектуальный агент, искусственный интеллект

Поступила 18.06.2026, одобрена после рецензирования 15.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

© Пшенокова И. А., Бжихатлов К. Ч., Мамбетов И. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Для цитирования. Пшенокова И. А., Бжихатлов К. Ч., Мамбетов И. А. Мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст» на основе обучения нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 37–48. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-37-48

MSC: 68T42 Original article

Multi-agent image-text pair interpretation algorithm based on neurocognitive architecture learning

I.A. Pshenokova✉, K.Ch. Bzhikhatlov, I. A. Mambetov

Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. Modern multimodal artificial intelligence systems have made substantial progress in automated image captioning, driven by advancements in deep learning and large-scale datasets. However, existing neural network models require significant computational power and large volumes of labeled data. Furthermore, classical neural networks frequently overlook contextual nuances and subtle human emotions. Consequently, this restricts their deployment in downstream tasks demanding deep situational awareness and context understanding.

Aim. This study aims to enhance the completeness and accuracy of semantic alignment for heterogeneous data during the interpretation of image-text pairs within dynamic environments.

To this end, a multi-agent algorithm for modality alignment has been developed, based on self-organizing neurocognitive representations that ensure the direct interpretability of the decisions made. The research focuses on modeling the process of text and image understanding by an intelligent agent, framing it as a self-organization workflow driven by a multi-agent neurocognitive architecture.

Methods. This work leverages a multi-agent neurocognitive approach rooted in the self-organization of neuron-like elements that form the functional nodes of the control cognitive architecture for either a software agent or an autonomous mobile robot. The neuron-like property is achieved by leveraging brain neuroplasticity principles to establish dynamic functional systems (per Anokhin) inside the cognitive architecture, enabling autonomous decision-making and control for image-text pair recognition and interpretation.

Results. A multi-level architecture has been developed, comprising reception, knowledge representation, context, motivation, control, and action layers. The proposed algorithm enables the system to embed pixels and text into the agent's "life experience" through motor acts and goal-setting rather than simple mapping. Virtual environment simulation modeling verified the operational logic of the proposed architecture and confirmed its capacity for contextual adaptation without the need for pre-labeled end-to-end training sets providing a baseline for developing interpretable neurocognitive AI models. At a qualitative level, the study demonstrates the stability of the energy exchange model and underscores the feasibility of integrating textual and visual patterns into the agent's behavioral pragmatics.

Keywords: multi-agent modeling, neurocognitive architectures, pattern recognition, intelligent agent, artificial intelligence

Submitted 18.06.2026, approved after reviewing 15.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Pshenokova I.A., Bzhikhatlov K.Ch., Mambetov I.A. Multi-agent image-text pair interpretation algorithm based on neurocognitive architecture learning. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 37–48. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-37-48

© Pshenokova I.A., Bzhikhatlov K.Ch., Mambetov I.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Введение

Развитие современных методов глубокого обучения, разработанных как для задач компьютерного зрения, так и для обработки естественного языка, в сочетании с большими наборами данных, которые объединяют изображения и описания, созданные людьми, привело к значительному прогрессу в задачах автоматического аннотирования изображений. Наборы данных аннотированных изображений, содержащие пары текстовых описаний и соответствующих им изображений, такие как ImageNet [1], MS-COCO [2, 3] и Flickr30k [4], широко используются для изучения совместных визуальных и текстовых представлений, а также для построения моделей создания описаний изображений. Однако эти наборы данных имеют ограниченные кросс-модальные соответствия, такие как, например, если есть пары «изображение-описание», которые совпадают, то они не помечены как совпадение и нет меток, указывающих, что пары «изображение-описание» не совпадают.

Ключевая задача мультимодальных систем искусственного интеллекта интерпретировать пары «изображение-текст» путем объединения обработки визуальных и текстовых данных. Подобные модули переводят изображение и текст в векторы, выравнивают их в общем пространстве смыслов, находят соответствия и выдают осмысленный результат на основе этих связей. Успешность мультимодального обучения зависит от согласованности данных, качества выравнивания представлений и баланса модальностей, т.е. модель не должна переобучаться на одну модальность и игнорировать другие.

Мультимодальные системы на основе нейронных сетей, такие как CLIP [5], Flamingo [6], GPT [7, 8], Gemini [9], OmniFusion [10], позволяют эффективно обрабатывать и интегрировать информацию из разных модальностей (текст, изображения, аудио и др.), что расширяет спектр решаемых задач, повышать качество и точность распознавания, генерации и анализа данных за счет совместного использования разнородной информации, автоматизировать сложные процессы, требующие понимания контекста и сопоставления данных из разных источников. Это приближает их работу к человеческому восприятию, в рамках которого информация интегрируется из разных источников. Такие системы демонстрируют более глубокое контекстное понимание, повышенную точность и адаптивность в решении сложных задач. Однако они обладают рядом недостатков, к которым относятся высокая вычислительная сложность и ресурсоемкость, зависимость от больших объемов размеченных данных для обучения, сложность интерпретации и объяснения принимаемых решений (проблема «черного ящика») и ограниченная способность к обобщению на новые модальности или задачи без дополнительного дообучения [11, 12]. Кроме того, модели ИИ по-прежнему испытывают трудности с интерпретацией тонких человеческих эмоций и контекстов [13, 14]. Для преодоления этих недостатков авторами [15] был предложен гибридный подход, который комбинирует нейросетевые методы с классическими алгоритмами и экспертными системами. Такой подход позволяет повысить надежность, снизить вычислительные затраты и улучшить интерпретируемость решений [16].

В настоящей работе для интерпретации пар «изображение-текст» предлагается использовать мультиагентный нейрокогнитивный подход [17], который основан на самоорганизации нейроподобных элементов, составляющих функциональные узлы управляющей когнитивной архитектуры программного агента или автономного мобильного робота. Нейроподобие проявляется в использовании принципов нейропластичности головного мозга при формировании в составе когнитивной архитектуры динамических функциональных систем (по Анохину) [18], обеспечивающих автономное принятие решений и управление в задачах распознавания и интерпретации пар «изображение-текст».

Цель исследования – повышение метрической точности и содержательной глубины семантической интерпретации пар «изображение-текст» интеллектуальным агентом в условиях неопределенности динамической среды на основе разработки и обучения самоорганизующихся мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст»

Понимание текста человеком – сложный процесс, который включает в себя не только распознавание и интерпретацию слов и фраз, но и активацию широкого спектра когнитивных функций, включая память, внимание и способность к абстрактному мышлению [19]. Человеческое восприятие текста неотделимо от культурного, эмоционального и индивидуального опыта, что делает каждый акт понимания уникальным и глубоко персонализированным. Поэтому при интерпретации текста или изображения необходимо не только анализировать большие объемы данных и выявлять паттерны, но и учитывать контекст и адаптировать свое понимание текста в зависимости от ситуации и предыдущего опыта. Мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст» представляет собой процесс самоорганизации нейрокогнитивной архитектуры [19], состоящей из иерархии специализированных когнитивных узлов, представленных агентами нейронами (агнейроны $\aleph_i$) (рис. 1). Предлагаемая иерархия уровней нейрокогнитивной архитектуры фактически представляет собой распределенную гетерогенную мультиагентную систему, где каждый «слой» решает специализированную подзадачу классического конвейера мультимодального ИИ, основанного на принципах самоорганизации. Динамическим критерием оптимизации агентов в среде является энергия агнейрона ($E^{ij\tau}_{\aleph\tau_b}$). Агенты получают энергию в основном от других агентов в качестве «платы» в обмен на знания. Такой обмен осуществляется согласно мультиагентному контракту – это соглашение между агентами о взаимовыгодном обмене энергией на знания, формирующее устойчивые синапсы в памяти [20].

Энергия агнейрона $\aleph_i$ рассчитывается по формуле

$$E^{ij\tau}_{\aleph\tau_b} = E^{ij\tau_b}_{\aleph\tau_b} - \Delta E^{ij}_{\aleph} \cdot \Delta\tau^c_b - \sum_{\forall \aleph^{ij}_d} \Delta e^{ij}_{\aleph_d} + \sum_{\forall \aleph^{ij}_r} \Delta e^{ij}_{\aleph_r},$$

где $E^{ij\tau_b}_{\aleph\tau_b}$ – некоторое фиксированное значение энергии, которое агнейрон получает при «рождении», $\Delta E^{ij}_{\aleph}$ – энергия, затрачиваемая агнейроном для того, чтобы прожить один такт времени τ^c_b, $\Delta e^{ij}_{\aleph_d}$ – энергия, которую затрачивает агнейрон для того, чтобы расплатиться с контрагентами (агнейронами $\aleph^{ij}_d$), $\Delta e^{ij}_{\aleph_r}$ – энергия, которой другие агнейроны $\aleph^{ij}_r$ расплачиваются с данным агнейроном. Значение энергии $\Delta e^{ij}_{\aleph_d}$ и $\Delta e^{ij}_{\aleph_r}$ назначается агентами в процессе мультиагентного взаимодействия. Все входящие в формулу величины измеряются в условных единицах энергии, а дискретизация времени производится в тактах процессора.

На рис. 1 выделено несколько уровней в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре. Уровень «Рецепции» обеспечивает связь интеллектуальной системы с внешним миром (афферентный поток). В процессе работы архитектуры на этом уровне происходит первичная обработка визуальных сигналов и выделяются токены (слова, символы) из текстового или голосового потока. На уровне «Представления знаний» происходит формирование образов сущностей. Агнейроны признаки хранят отдельные характеристики (цвет «красный», форма «круг»), концептуальные агнейроны собирают признаки в целостный объект («мяч») через механизм заключения мультиагентного контракта, символьные агнейроны представляют имя объекта в знаковой системе. Субъектные агнейроны осуществляют формирование внутреннего описания (модели) себя и модели другого субъекта (человека или робота), участвующего в диалоге. На уровне «Контекста» фиксируются изменения и отношения в динамике. Событийные агнейроны описывают ситуацию в моменте («объект находится на столе»), фиксируют факт изменения состояния («объект перемещен») и констатируют факт взаимодействия с пользователем или другими агентами. Уровень «Мотивации» управляет энергией и приоритетами. Агнейроны целеполагания хранят образ желаемого будущего состояния (целевую функцию), гомеостатические агнейроны

(Ликвор, Митохондрия) следят за внутренним балансом системы (уровнем «энергии»), а эмоциональные агнейроны оценивают мультиагентные факты через маркеры «позитивно (надежда)/негативно (угроза)». На уровне «Управления» моделирующие агнейроны выделяют наиболее релевантные в данный момент узлы (механизм совместного внимания) и инициируют «проращивание» новых связей или создание новых узлов при встрече с неизвестным. Агнейроны планирования строят путь в графе проблемной ситуации от текущего состояния к целевому. Завершает архитектуру уровень «Действия», который преобразует решения в физические или виртуальные действия с помощью эффекторов.

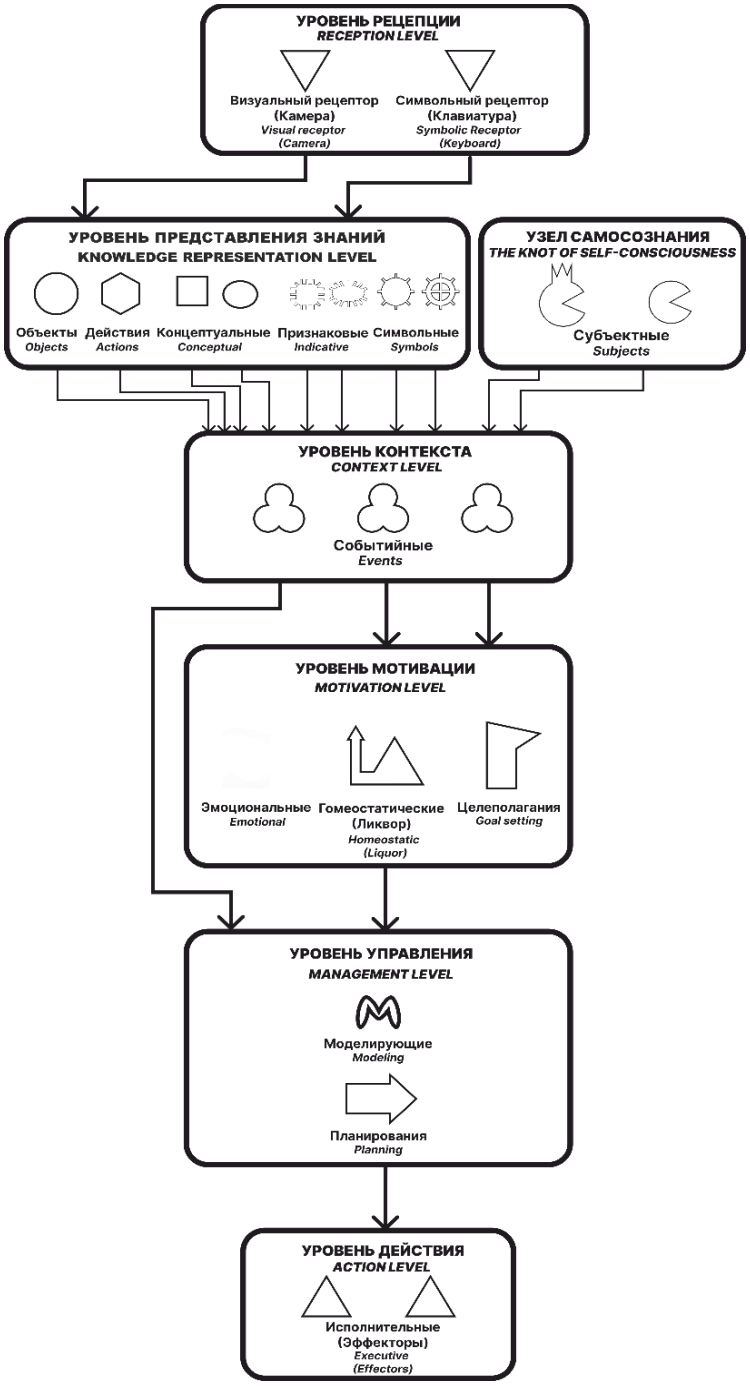


***Рис. 1**. Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура интеллектуальной системы интерпретации пар «изображение-текст»*

***Fig. 1**. Architecture of the multi-agent neurocognitive system for interpreting image-text pairs*

Узлы мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры организованы рекурсивно. Это значит, что один сложный агнейрон (интеллектуальный агент) может содержать внутри себя целую сеть из более простых агнейронов (акторов) всех перечисленных типов.

Таким образом, мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст» на основе обучения нейрокогнитивных архитектур реализуется в виде следующей последовательности шагов. На первом шаге происходит параллельный опрос сенсоров видеопотока и текстового ввода, после чего на втором шаге формируются первичные векторы признаков на уровне рецепции. Третий шаг реализует точку ветвления алгоритма в зависимости от энергетического порога агнейрона для повышения уровня энергии, агнейроны, участвующие в распознавании, делают рассылку сообщений для заключения мультиагентных контрактов. Четвертый шаг представляет собой процесс перераспределения энергии между признаковыми и объектными агнейронами через механизм мультиагентных контрактов. На пятом шаге происходит оценка прагматики и проверка изменения гомеостатической функции. При получении положительного отклика от пользователя и увеличении уровня энергии связь признается устойчивой, и контракт закрепляется в памяти.

Так как интеллектуальная система задействует параллельные потоки от двух разных анализаторов (рис. 2), поток данных с видеокамер обрабатывается специализированными агнейронами-рецепторами для распознавания объектов, их свойств и состояний во внешней среде, а текстовое сообщение (последовательность символов) поступает через «рецептор чата». Для корректной интерпретации активируется механизм совместного внимания, при котором агнейроны выполняют функциональную репрезентацию субъектов коммуникации (модель «Я» и модель «Контрагент»). Фиксируется факт фокусировки внимания обоих субъектов на одном и том же фрагменте среды (объекте на изображении). Происходит сопоставление текстовых токенов с результатами визуального восприятия. Система пытается отнести полученное высказывание к существующим концептуальным категориям и, если соответствие не найдено, порождает новую категорию. Текст интерпретируется как модификация графа проблемной ситуации. Интерпретация считается успешной, если она способствует достижению целевого состояния системы. Агент сопоставляет «увиденное» и «услышанное» со своей гомеостатической целевой функцией (параметром энергии $E^{ij\tau}_{\aleph\tau_b}$). Если контрагент подтверждает правильность связи (например, через «положительное подкрепление» или передачу энергии $\Delta e^{ij}_{\aleph_r}$), ассоциация между изображением и текстом закрепляется в виде мультиагентного контракта. Таким образом, формируется семантическая онтология, где символ (текст) физически обоснован через чувственный опыт (изображение) и прагматику поведения агента.

Рассмотрим роли агнейронов в мультиагентном алгоритме интерпретации пары «изображение-текст» в задаче к роботу-помощнику (рис. 2). Представленная на рис. 2 схема иллюстрирует динамический граф состояний и связей мультиагентной архитектуры для сценария «Робот-помощник, подними мяч!». В отличие от классической функциональной блок-схемы условные переходы, ветвления и циклы здесь имплицитно закодированы в топологии межсоставных связей и определяются энергетическими условиями переключения активности агнейронов.

Когда камера фиксирует объект («мяч»), активируется группа объектных агнейронов, отвечающих за распознавание визуальных признаков (форма, цвет). При получении картинки «мяч» через видеорецептор активируется соответствующий объектный агнейрон. Агнейрон – слово «мяч» – активируется в ответ на текстовый ввод. Через механизм заключения мультиагентных контрактов эти две группы агнейронов создают устойчивую связь, содержащую информацию о том, что они представляют одну и ту же сущность в текущей ситуации. Эта связь фиксируется в виде мультиагентных фактов (событий). *«Я вижу объект», «Человек смотрит на объект», «Человек присылает сообщение», «Я читаю, что человек присылает сообщение «Поднять мяч».* Эти агнейроны связывают воедино контекст: кто говорит, на что указывает и какой объект при этом использует. Без них текст был бы оторван от изображения.

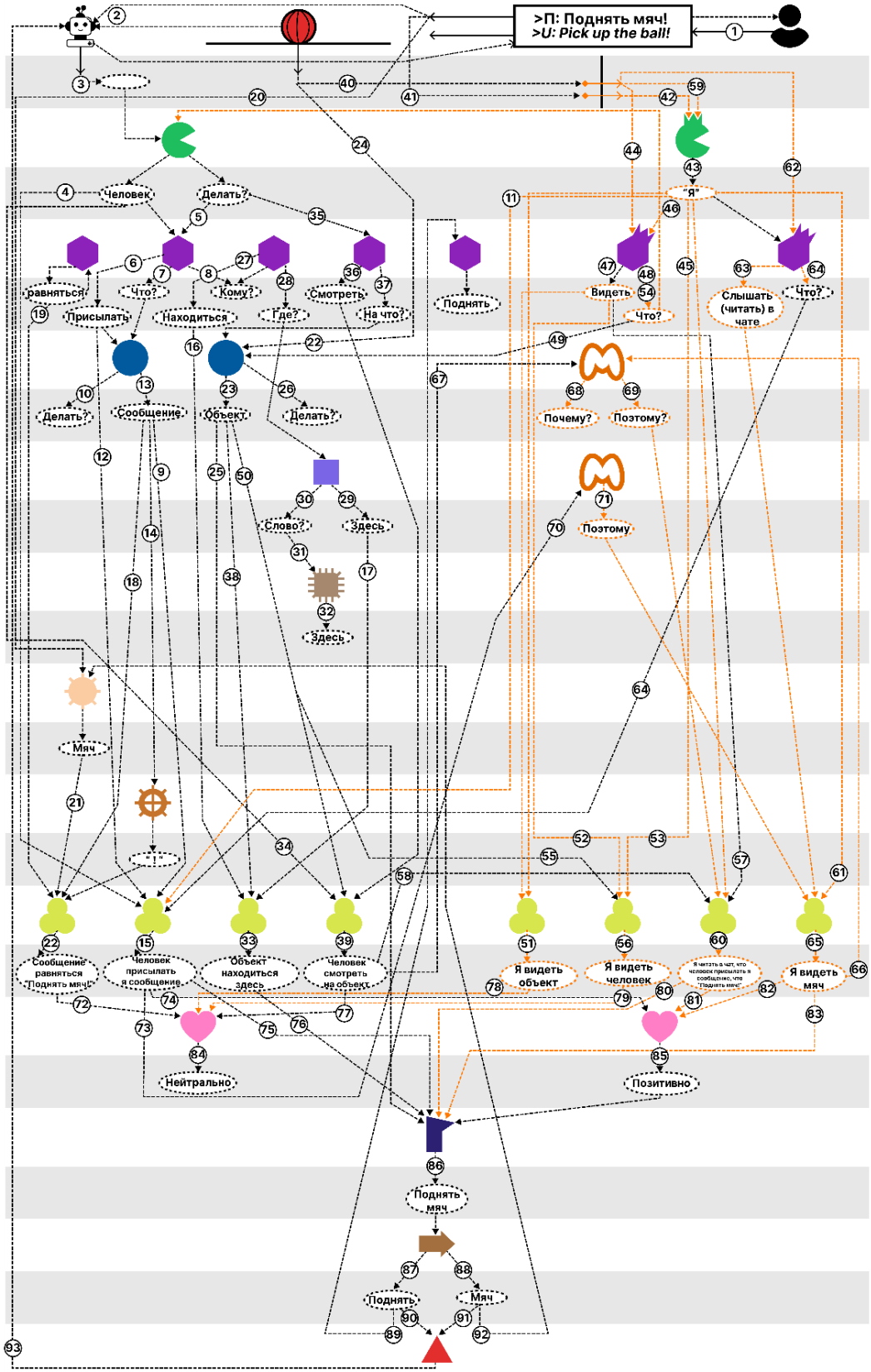


Рис. 2. *Мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст» на основе обучения нейрокогнитивных архитектур*

Fig. 2. *Multi-agent image-text pair interpretation algorithm based on neurocognitive architecture learning*

Образовавшаяся связь оценивается как положительная, и если понимание пары «изображение-текст» приносит агенту дополнительную энергию в виде платы от контрагента за информацию, агнейроны цели маркируют эту связь как приоритетную. И так как пара «текст-картинка» принесла новый опыт, моделирующие агнейроны достраивают архитектуру новыми связями, агнейроны управления фиксируют новую «знаковую картину мира», агнейроны действия последовательно активируют команду «Поднять мяч» через различные эффекторы агента.

Таким образом, интеллектуальная система не просто сопоставляет пиксели с буквами, как «черный ящик» классической нейросети, а встраивает эту пару в свой жизненный опыт, делая его «обоснованным», так как объект «мяч» для него неразрывно связан с визуальным образом и моторным актом в реальной среде.

Для реализации экспериментов по обучению нейрокогнитивных архитектур интерпретации пар «изображение-текст» была разработана описанная мультиагентная нейрокогнитивная архитектура. На рис. 3 представлено трехмерное изображение некоторой части этой архитектуры, построенное подсистемой графической визуализации (редактор мультиагентных архитектур) разрабатываемого программного комплекса [20]. В частности, фиолетовые гексаэдры обозначают концептуальные узлы действий, синие сферы – объекты, желтые объемные трилистники – пространственно-временные события среды, розовые сердца – эмоциональную оценку событий, красные пирамиды – эффекторы. Пунктирные линии визуализируют передачу сообщений, сплошные линии – активные в данный момент мультиагентные контракты.

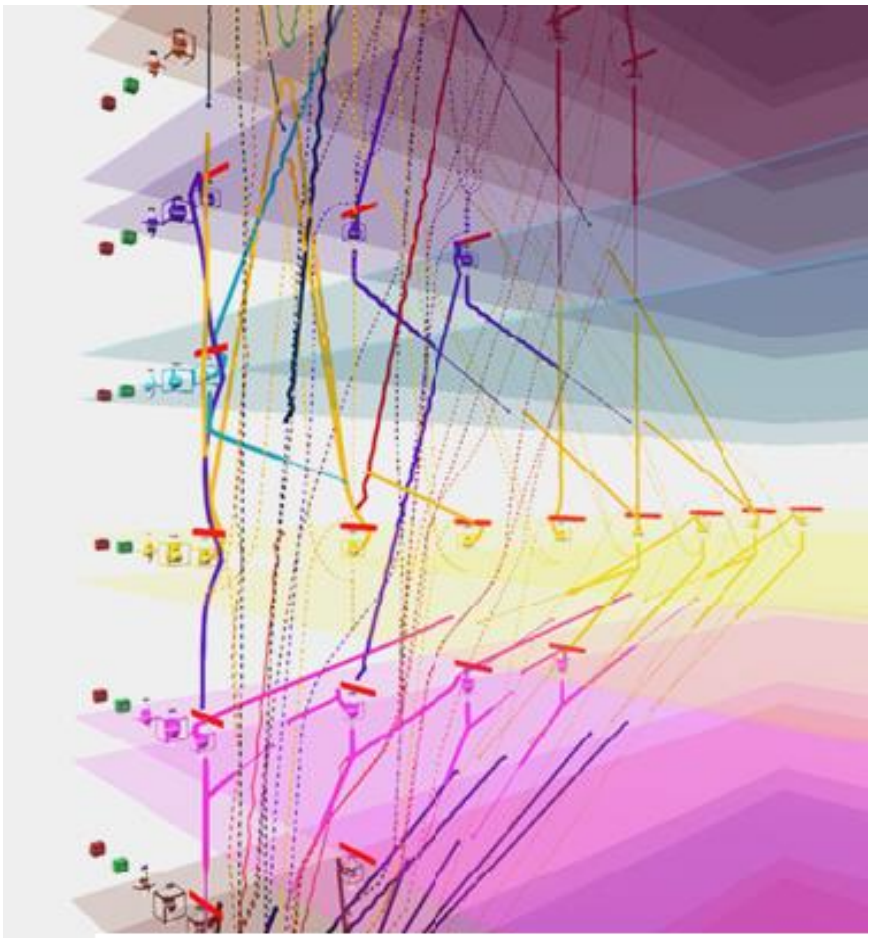


***Рис. 3**. Часть нейрокогнитивной архитектуры интерпретации пары «изображение-текст» в окне 3D-редактора*

***Fig. 3**. Part of the neurocognitive image-text pair interpretation architecture within the 3D editor view*

В результате эксперимента в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре формируется система функциональных представлений объектов, действий, событий и причинно-следственных связей между ними, отражающая опыт взаимодействия интеллектуального агента со средой, в которую он погружен. В частности, эта репрезентация отражает способность интеллектуального агента не только сопоставлять изображение и текст, но и формировать глубокие семантические связи, основанные на принципах работы естественного интеллекта. Сформированная система функциональных представлений наглядно демонстрирует, как символ (текст) может быть физически обоснован через чувственный опыт (изображение) и моторные акты. Однако необходимо подчеркнуть, что на текущем этапе исследования выводы о формировании глубоких причинно-следственных связей носят преимущественно качественный и концептуальный характер. В рамках данной работы авторами не проводилось количественное тестирование на стандартных крупномасштабных бенчмарках (таких как MS-COCO [2] или Flickr30k [4]), поскольку предлагаемый подход ориентирован на локальную самоорганизацию в режиме реального времени, а не на пакетное обучение на терабайтах данных, свойственное классическим моделям. Соответственно, прямое метрическое сравнение с ними в рамках классических задач аннотирования в данный момент не является релевантным и требует разработки специализированных методик оценивания.

Заключение

В работе предложена многоуровневая когнитивная архитектура, включающая уровни рецепции, представления знаний, контекста, мотивации, управления и действия. Разработан мультиагентный алгоритм интерпретации пар «изображение-текст», основанный на принципах самоорганизации и динамического энергообмена между когнитивными узлами (агнейронов). В отличие от классических мультимодальных моделей (CLIP, Gemini) предложенный метод обеспечивает прозрачность принятия решений за счет открытого графа контрактов.

Для верификации теоретических положений было проведено имитационное моделирование в разработанной программной среде. В результате имитационного моделирования была подтверждена принципиальная работоспособность модели энергообмена и показана динамика послойного формирования контекста, при которой когнитивные узлы автономно организуются в причинно-следственные цепочки под управлением гомеостатической функции.

Поскольку проведенное исследование носило характер качественного доказательства концепции, разработанный метод на данном этапе имеет ряд ограничений, в частности, имитационный эксперимент ограничен локальным пространством признаков и малым числом объектов. При масштабировании онтологии до тысяч агнейронов потребуется оптимизация протоколов обмена сообщениями и их обработки.

Предложенный подход в перспективе способен обеспечить создание полностью автономных робототехнических комплексов, способных к глубокому контекстному пониманию человеческих команд в динамических условиях реальной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Deng J., Dong W., Socher R. et al. ImageNet: A large-scale hierarchical image database. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).* 2009. DOI: 10.1109/CVPR.2009.5206848

2. Lin T.Y., Maire M., Belongie S. et al. Microsoft coco: Common objects in context. *European conference on computer vision*. Cham: Springer International Publishing, 2014. Pp. 740–755. DOI: 10.1007/978-3-319-10602-1_48

3. Parekh Z., Baldridge J., Daniel C. et al. Crisscrossed captions: Extended intramodal and intermodal semantic similarity judgments for MS-COCO. *Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Main*. Vol. 2021. Pp. 2855–2870. DOI: 10.48550/arXiv.2503.20020

4. Plummer B.A., Wang L., Chris M. Cervantes et al. Flickr30k entities: Collecting region-to-phrase correspondences for richer image-to-sentence models. *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2015. Pp. 2641–2649.

5. Zhao Z., Liu Yu., We H. et al. CLIP in medical imaging: A survey. *Medical Image Analysis*. 2025. Vol. 102. P. 103551. DOI: 10.1016/j.media.2025.103551

6. Goel A., Ghosh S., Kim J. et al. Audio flamingo 3: Advancing audio intelligence with fully open large audio language models. arXiv preprint arXiv:2507.08128. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2507.08128

7. Wang J., Meng L., Weng Z. et al. To see is to believe: Prompting gpt-4v for better visual instruction tuning. arXiv preprint arXiv:2311.07574. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2311.07574

8. Yang D., Kleinman E., Harteveld C. GPT for games: An updated scoping review (2020–2024). *IEEE Transactions on Games*. 2025. DOI: 10.1109/TG.2025.3563780

9. Team G.R. et al. Gemini robotics: Bringing ai into the physical world. arXiv preprint arXiv:2503.20020. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2503.20020

10. Goncharova E., Razzhigaev A., Mikhalchuk M. et al. Omnifusion technical report. arXiv preprint arXiv:2404.06212. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2404.06212

11. Fattah F.H., Salih A.M., Salih A.M. et al. Comparative analysis of ChatGPT and Gemini (Bard) in medical inquiry: a scoping review. *Frontiers in Digital Health*. 2025. Vol. 7. P. 1482712. DOI: 10.3389/fdgth.2025.1482712

12. Fuchs A., Trachsel T., Weiger R. et al. ChatGPT's performance in dentistry and allergyimmunology assessments: a comparative study. *SWISS DENTAL JOURNAL SSO–Science and Clinical Topics*. 2024. Vol. 134. No. 2. Pp. 1–17. DOI: 10.61872/sdj-2024-06-01

13. Finet A., Kristoforidis K., Laznicka J. The limits of ai in understanding emotions: challenges in bridging human experience and machine perception. *F1000Research*. 2025. Vol. 14. P. 582.

14. Li Y., Sun Q., Schlicher M., Lim Y. W., & Schuller B. W. Artificial emotion: A survey of theories and debates on realising emotion in artificial intelligence. arXiv preprint arXiv:2508.10286. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2508.10286

15. Bougzime O., Jabbar S., Cruz C., Demoly F. Unlocking the potential of generative AI through neuro-symbolic architectures: Benefits and limitations. arXiv preprint arXiv:2502.11269. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2502.11269

16. Sutton R.S., Barto A.G., Barto A. Reinforcement learning: An introduction. Cambridge: MIT press, 1998. Vol. 1. No. 1. Pp. 9–11.

17. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах / Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. С. 211.

Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshlenie v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or thinking in natural and artificial systems]. Nal'chik: *Izdatel'stvo KBNTS RAN* [KBSC RAS Publishing house], 2013, 211 p. (In Russian)

18. *Анохин П. К.* Очерки по физиологии функциональных систем. Рипол Классик, 1975.

Anokhin P.K. *Ocherki po fiziologii funktsional'nykh system* [Essays on the physiology of functional systems]. Ripol Classic, 1975. (In Russian)

19. *Куницына О. М.* Сравнительный анализ понимания текста человеком и искусственным интеллектом // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Гуманитарные науки. 2025. Вып. 2 (896). С. 81–88.

Kunitsyna O.M. Comparative analysis of text comprehension by human and artificial intelligence. *Vestnik of Moscow State Linguistic University. Humanities*. 2025. Vol. 2. No. 896. Pp. 81–88. (in Russian)

20. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022 г. 150 с.

Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of symbols and multi-agent neurocognitive models of natural language semantics]. Nal'chik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022. 150 p. (In Russian)

21. *Пшенокова И. А., Апшев А. З.* Модель энергообмена между агнейронами в составе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 5(115). С. 32–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-5-115-32-40

Pshenokova I.A., Apshev A.Z. Energy exchange model between agneurons as part of multi-agent neurocognitive architecture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 5(115). Pp. 32–40 DOI: 10.35330/1991-6639-2023-5-115-32-40. (In Russian)

22. *Бжихатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Мамбетов И. А. и др.* Программная реализация редактора мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Информационное общество. 2026. № 1. С. 108–121. DOI: 10.52605/16059921_2026_01_108

Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Mambetov I.A. et al. Software implementation of the editor of multi-agent neurocognitive architectures. *Informatsionnoye obshchestvo* [Information Society]. 2026. No. 1. Pp. 108–121. DOI: 10.52605/16059921_2026_01_108. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИИПРУ КБНЦ РАН (тема № 125032004242-7).

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for IIPRU KBSC RAS (project No. 125032004242-7).

Информация об авторах

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. отделом «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-код: 3535-2963

Бжихатлов Кантемир Чамалович, канд. физ.-мат. наук, директор Института информатики и проблем регионального управления – филиала Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-код: 9551-5494

Мамбетов Идар Арсенович, мл. науч. сотр. отдела «Интеллектуальные системы и виртуальное прототипирование», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234

Information about the authors

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Multi-Agent Systems Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-code: 3535-2963

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

haosit13@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0924-0193, SPIN-code: 9551-5494

Idar A. Mambetov, Junior Researcher, Department of Intelligent Systems and Virtual Prototyping, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 004.5; 004.89; 612.821:681.5; 615.477; 681.327 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-49-66
EYXWYU

Исследование технических и теоретических аспектов внедрения синтетической биологии в системы биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов

Р. Н. Абуталипов✉, А. У. Заммоев

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Актуальность и новизна обусловлены необходимостью методологического выбора при создании биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов (БИНКИ). Новизна состоит в доказательстве фундаментальной несовместимости синтетической биологии и нейроинтерфейсов.

Цель исследования – критический анализ ограничений интеграции синтетической биологии в архитектуру БИНКИ.

Методы. *Междисциплинарный системный анализ* применен для сопоставления редукционистской парадигмы синтетической биологии (модульность, цикл *Design-Build-Test-Learn* (DBTL)) и целостных требований киберфизических систем БИНКИ. *Сравнительное моделирование временных шкал* использовано для оценки темпорального разрыва между медленной ферментативной кинетикой (минуты/часы) и быстрыми нейронными процессами (миллисекунды). *Анализ надежности in vivo* направлен на оценку влияния эпигенетического дрейфа, клеточной гетерогенности и метаболических факторов на стабильность генетических цепей. *Биоэтический анализ* в рамках постнеклассической рациональности выявил риски необратимого нарушения информированного согласия.

Результаты. Установлена принципиальная несовместимость парадигм по пяти параметрам: несопоставимость временных масштабов (миллисекунды против часов), несовместимость итеративного цикла DBTL с обратной связью реального времени, высокая биологическая шумность, эпигенетический дрейф и неприменимость стандартов BioBricks в нейронах млекопитающих. Этически генетические модификации нарушают информированное согласие, переводя интерфейс из режима самопознания («зеркала») в режим контроля («поводка»).

Выводы. Синтетическая биология технически и методологически непригодна для БИНКИ. Развитие нейроинтерфейсов требует перехода к бионаноробототехнике, нейроморфным вычислениям и интеррепрезентативным сетям, обеспечивающим работу в реальном времени и сохранение биологической целостности субъекта.

Ключевые слова: биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы (БИНКИ), инвазивные интерфейсы, нейрореабилитация, биогибридные интерфейсы, синтетическая биология

Поступила 16.06.2026, одобрена после рецензирования 05.10.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У. Исследование технических и теоретических аспектов внедрения синтетической биологии в системы биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 49–66. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-49-66

© Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T07, 92C55, 92C50, 62P10 Original article

Integrating synthetic biology into bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs): technical and theoretical perspectives

R.N. Abutalipov✉, A.U. Zammoev

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The relevance and novelty of this study are driven by the critical need for methodological frameworks in the development of bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs). The scientific novelty lies in demonstrating the fundamental mismatch between synthetic biology paradigms and conventional neurointerface architectures.

Aim. The study aims to critically analyze the structural and biophysical limitations of integrating synthetic biology into BENCIs architectures.

Methods. We applied interdisciplinary systems analysis to contrast the reductionist paradigm of synthetic biology (modularity, Design-Build-Test-Learn (DBTL) cycle) with the holistic requirements of cyber-physical BENCIs systems. Comparative modeling of temporal scales was utilized to evaluate the operational gap between slow enzymatic kinetics (minutes to hours) and fast neural signaling (milliseconds). Furthermore, in vivo reliability analysis assessed how epigenetic drift, cellular heterogeneity, and metabolic load impact the long-term stability of genetic circuits. Finally, a bioethical analysis framed within post-non-classical rationality identified systemic risks regarding irreversible violations of informed consent.

Results. The study demonstrates a fundamental paradigm incompatibility across five critical dimensions: temporal mismatch (milliseconds vs. hours), structural friction between the static DBTL cycle and real-time cybernetic feedback loops, high biological noise, epigenetic drift, and the technical inapplicability of standard BioBricks in complex mammalian neurons. Ethically, permanent genetic modifications compromise the validity of informed consent, fundamentally shifting the nature of the neural interface from a reflective “mirror” (fostering self-knowledge) to a coercive “leash” (enabling external control).

Conclusions. Synthetic biology is fundamentally unsuitable, both technically and methodologically, for viable BENCIs implementation. Indeed, next-generation neurointerfaces must shift toward a convergence of bionanorobotics, neuromorphic computing, and interrepresentational networks, ensuring real-time operation while preserving the subject's biological autonomy and cognitive integrity.

Keywords: synthetic biology, neuroengineering, DBTL cycle, neuroethics, neuromorphic computing, interrepresentational networks, neurocomputer interfaces, bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs), temporal mismatch

Submitted 16.06.2026, approved after reviewing 05.10.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. Integrating synthetic biology into bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs): technical and theoretical perspectives. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 49–66. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-49-66

Введение

Синтетическая биология несовместима с архитектурой биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов (БИНКИ) вследствие технических и теоретических несоответствий, проявляющихся в несовместимости временных шкал, низкой надежности генетических конструкций в нейронной среде, нарушении этических принципов целостности субъекта и невозможности обеспечения реального времени взаимодействия, что делает необходимым развитие

© Abutalipov R.N., Zammoev A.U., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

альтернативных подходов, таких как бионаноробототехника, интеррепрезентативная сеть ИРС (когнитивная сеть, состоящая из внутренних и внешних элементов и внутренних и внешних представлений [5, 21]) и нейроморфные вычисления, основанных на постнеклассической рациональности [5] и сохранении биологической целостности.

Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы (БИНКИ) – это междисциплинарная платформа, объединяющая биологические, информационные, нейронаучные и когнитивные компоненты в единую систему взаимодействия между живым мозгом и искусственным интеллектом. БИНКИ – это киберфизическая система, реализующая двусторонний обмен информацией между биологической нервной системой и цифровой вычислительной средой. Ключевые требования к БИНКИ: **реальное время**, **низкая задержка**, **высокая надежность**, **биосовместимость**, **эпистемологическая согласованность** и **сохранение целостности субъекта** [4, 20].

Синтетическая биология – это инженерно-ориентированная дисциплина, направленная на проектирование и конструирование новых биологических частей, устройств и систем, а также на перепроектирование существующих природных биологических систем для выполнения полезных функций. Ее методологическая основа – **редукционизм**, **модульность**, **стандартизация** и **абстракция** [6–8].

При внимательном анализе фундаментальных теоретических, этических и технических характеристик как синтетической биологии, так и БИНКИ, становится очевидной **принципиальная невозможность** использования синтетической биологии в качестве основы или даже вспомогательного компонента БИНКИ.

При подготовке материалов статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта YandexGPT 5.1 Pro (Яндекс) преимущественно на этапе технического редактирования, проверки грамматики, стилистической корректировки текста и форматирования рукописи по требованиям издания: стилистика, грамматика, форматирование, аннотации.

Теоретические несоответствия

Синтетическая биология основана на декомпозиции живых систем на стандартизированные модули [6, 7], что противоречит целостному, процессуальному пониманию нейробиологических систем в рамках постнеклассической рациональности. Кроме того, синтетическая биология предполагает высокую предсказуемость поведения генетических конструкций [9, 11], тогда как нейронные сети функционируют в условиях фундаментальной стохастичности, контекст-зависимости и нелинейной динамики. Эти различия делают синтетическую биологию методологически некорректной для применения в БИНКИ.

Как указано в Концепции БИНКИ [22], нейроинтерфейс может быть либо «зеркалом» (инструментом самопознания), либо «поводком» (инструментом контроля). Введение генетических модификаций в нейронную ткань нарушает информированное согласие, создает необратимые изменения и автоматически переводит интерфейс в режим «поводка», что недопустимо с этической точки зрения [10, 17].

Техническая несовместимость

Системные требования и современные вызовы

Требования к имплантируемому интерфейсу. В работе [13] систематизируются требования к имплантируемому интерфейсу: долгосрочная биосовместимость, механическое соответствие и подавление иммунного ответа. Тот факт, что даже инертные материалы вызывают реакцию (образование глиального рубца), которая дестабилизирует интерфейс в течение месяцев, показывает, что среда мозга крайне агрессивна к любым инородным элементам. Это косвенно усиливает тезис о том, что «живые» генетические конструкции, являющиеся активными биологическими агентами, столкнутся с еще более серьезными проблемами долговременной

стабильности и контроля. Работа [15] подтверждает, что создание надежного канала на биологической основе является экстремально сложной задачей. Однако одновременно работа указывает на перспективные пути (мягкие материалы, интеграция с тканью), что делает переход к биогибридным и «живым» интерфейсам, которые непосредственно используют принципы синтетической биологии, возможным, но чрезвычайно сложным. Работа [16] обсуждает проблему переноса достижений синтетической биологии из лаборатории в реальный мир. Ключевые вызовы – «обеспечение долгосрочной стабильности» и работа в неконтролируемых, ресурсно-ограниченных условиях. Это прямо относится к требованиям имплантируемого нейроинтерфейса, который должен работать автономно в течение многих лет в агрессивной среде организма. Работа подтверждает, что проблема стабильности является одной из центральных для любого практического применения синтетической биологии, а не только для нейроинтерфейсов.

Фундаментальные ограничения инженерного подхода подчеркивают разрыв между принципами синтетической биологии, разработанными для простых систем, и сложностью нейронной среды. Работа [8] показывает, что выполнение требований, предъявляемых к инженерным конструкциям в технике (создание неизменных, предсказуемых компонентов, подобных микроэлектронным), блокируется фундаментальными препятствиями при переносе в контекст высокоорганизованных, динамичных и гетерогенных нейронных сетей, следовательно, **биологические части по своей природе не соответствуют парадигме «параметров, заданных физически и остающихся неизменными»**.

Проблема предсказуемости и надежности генетических цепей из-за дрейфа экспрессии и клеточной гетерогенности. Авторы [11] анализируют, почему так сложно добиться стабильной работы даже в относительно простых клеточных системах, выделяя такие факторы, как сложность цепи, клеточный контекст и их взаимодействие. Нестабильность – не просто техническая помеха, а следствие фундаментальных свойств живых систем. В то же время обзор стратегий повышения предсказуемости в этой работе указывает на то, что проблема не считается непреодолимой, а является активной областью исследований.

Экспериментальные доказательства ограничений в нейронной среде. Экспериментальное исследование [14] предоставляет неопровержимое доказательство в контексте работы in vivo. Авторы показывают, что ферментативные биосенсоры (реализация генетической конструкции или иммобилизованного фермента) дают искаженные сигналы из-за зависимости от локальной концентрации кислорода и медленной кинетики. Это прямо демонстрирует:

- высокую вариабельность и контекстную зависимость; сигнал сенсора зависит не только от целевого аналита (ацетилхолин), но и от динамически меняющегося метаболического окружения (O_2), что делает его «ненадежным»;

- непригодность для точного канала связи; для быстрой нейрокоммуникации такие сенсоры оказываются бесполезными, что подтверждает тезис о сложности создания калибруемого канала.

Это наиболее сильное подтверждение того, что биологические компоненты в мозге ведут себя не как стабильные датчики, а как динамические системы, встроенные в метаболическую сеть.

Главные проблемы

Наиболее фундаментальным и непреодолимым препятствием для интеграции синтетической биологии в архитектуру БИНКИ является **глубокая техническая несовместимость**, прежде всего в плане **временных шкал, надежности и обратной связи**.

Временные масштабы работы генетических логических схем и нейронных процессов несопоставимы

Временные масштабы работы генетических логических схем и нейронных процессов принципиально несопоставимы [6–9, 11, 14, 15].

1. Фундаментальные различия во временных масштабах определяются:

- разной физической природой процессов: электрические/химические в нейронах vs молекулярно-генетические в генетических схемах;
- различными механизмами передачи сигналов: быстрые ионные токи vs медленные транскрипционные каскады;
- ограничениями кинетики: ферментативные реакции в генетических схемах принципиально медленнее электрических процессов.

2. Практические следствия:

- невозможность прямого использования генетических схем для нейроинтерфейсов;
- необходимость разработки гибридных подходов с учетом временных масштабов обеих систем;
- потребность в промежуточных уровнях обработки сигналов для согласования работы генетических и нейронных компонентов.

Философский анализ, представленный в статье [6], важен для понимания **методологических корней** несопоставимости. Автор указывает, что синтетическая биология как инженерная дисциплина унаследовала **редукционистскую и модульную парадигму** от химии и информационных технологий. Этот подход направлен на разложение систем на независимые части. В противоположность этому нейронные процессы являются эмерджентным свойством **целостных, нелинейных и плотно взаимосвязанных сетей**, где время является не просто параметром, а фундаментальным измерением интеграции информации. Различие в онтологических подходах закладывает основу для принципиально разных темпоральных режимов. В основополагающей работе [7], демонстрирующей базовый принцип синтетической биологии – создание генетической логической схемы (бистабильного переключателя) в бактерии, – переключение между состояниями инициируется химической или тепловой индукцией и происходит в масштабе **десятков минут до часов**, что определяется временем, необходимым для деградации существующих мРНК и белков и накопления новых. Генетический переключатель демонстрирует крайне медленные времена отклика, характерные для транскрипционно-трансляционных процессов, тогда как нейронные процессы (синаптическая передача, потенциалы действия) протекают на порядки быстрее (миллисекунды), чем генетические переключения (минуты-часы). В работе [8] – манифесте инженерного подхода в синтетической биологии – подчеркивается стремление к стандартизации, модульности и предсказуемости путем абстрагирования от клеточного контекста. Сама необходимость создания новых «инженерных правил» для биологии, отличных от принципов электроники или нейроинженерии, указывает на фундаментальное различие базовых процессов, включая временные. В работе показано, что биологические системы работают на уровне клеточного цикла и метаболических процессов, несопоставимых с нейронными, что означает инженерные ограничения: невозможность масштабирования генетических схем до скоростей работы нервной системы. В работе [9] констатируется, что первое десятилетие синтетической биологии было посвящено созданию простых **«устройств» и «модулей»**, и лишь «вторая волна» ставит задачу интеграции их в сложные системы. Это эволюция от аналога отдельных логических вентилей к попытке создать «программируемый» объект. Сам факт такого поэтапного, медленного развития, растянутого на десятилетия, контрастирует с эволюцией нейроинтерфейсов, где работа с целостными, быстрыми нейронными системами была задачей изначально. Временной масштаб развития самой дисциплины отражает внутреннюю инерционность ее предмета. Современный обзор [11] и анализ предсказуемости генных цепей четко формулируют ключевую проблему синтетической биологии – **непредсказуемость и контекстную зависимость** генетических схем. Показано, что генные цепи имеют фундаментальные ограничения по скорости работы из-за ферментативной кинетики. Сложность достижения предсказуемости даже в простых системах проистекает в том числе из **медленной, стохастической природы молекулярных процессов**

(транскрипция, трансляция, диффузия), которые плохо поддаются детерминированному инженерному контролю в реальном времени. В нейроинженерии, несмотря на сложность, временные параметры ключевых процессов (потенциалы действия, синаптическая передача) более стабильны и предсказуемы в своих масштабах (миллисекунды), что позволяет проектировать интерфейсы с точной временной привязкой. Нейронные сети способны обрабатывать информацию в реальном времени, в то время как генетические схемы работают в режиме длительной регуляции. Описанное в работе [14] исследование биосенсоров в мозге предоставляет **экспериментальное и прямое доказательство** темпоральной несопоставимости на уровне интерфейса. Продемонстрирована невозможность использования биосенсоров для отслеживания быстрых нейронных процессов из-за медленных ферментативных реакций. Работа показывает, что современные ферментативные биосенсоры (продукт синтетической биологии), основанные на медленных ферментативных реакциях (оксидазах), принципиально **непригодны для отслеживания быстрых нейрохимических процессов** в мозге (например, холинергической передачи). Задержки и артефакты, вызванные зависимостью от кофактора (O_2) и нестационарной кинетикой ферментов, делают невозможной корреляцию сигнала с быстрыми нейрональными событиями (спайками, осцилляциями). Даже простейшие биохимические процессы в нейроинтерфейсах на порядки медленнее нейронной активности. Это яркий пример того, как **«логика» молекулярного детектирования (секунды-минуты) не соответствует «логике» нейронной коммуникации (миллисекунды)**. Обзор биогибридных интерфейсов [15] показывает **технологические ограничения: даже самые передовые биогибридные системы не могут достичь скорости работы нейронных сетей** из-за фундаментального различия, состоящего в том, что живые компоненты в интерфейсах работают на скоростях, характерных для биологических, а не нейронных процессов. Таким образом, представленные работы демонстрируют непреодолимые различия во временных масштабах работы генетических логических схем и нейронных процессов, что делает их прямое сопоставление и интеграцию крайне проблематичными.

Низкая надежность и стабильность генетических конструкций в нейронной среде

1. **Надежность и стабильность** генетических конструкций в нейронной среде крайне низка.
2. **Генетические конструкции** демонстрируют низкую стабильность в реальных условиях применения.
3. **Биологические системы** обладают высокой степенью вариабельности и непредсказуемости.
4. **Клеточный контекст** существенно влияет на работу генетических цепей.
5. **Долгосрочная стабильность** остается серьезной проблемой для биологических интерфейсов.
6. **Стандартизация и предсказуемость** значительно ниже, чем у традиционных инженерных систем.

Работы [7, 8, 11, 13, 15, 16] показывают, что биологические системы обладают врожденной вариабельностью, сложностью стандартизации и низкой предсказуемостью поведения, что делает создание стабильных нейрокомпьютерных интерфейсов на их основе крайне проблематичным. Работа [7] иллюстрирует ограниченность применения простых генетических конструкций в сложных системах и показывает ограничения масштабирования простых генетических конструкций на нейронные системы из-за бистабильности, демонстрирующих работу только в простых системах. Работа [8] подтверждает сложность стандартизации и предсказуемости биологических систем, указывает на уникальные характеристики биологических систем, делающие их менее предсказуемыми, и подчеркивает необходимость учета клеточного контекста при проектировании. Работа [11] подтверждает нестабильность работы генетических конструкций и сложность их предсказуемого поведения, демонстрирует, как сложность схемы и контекст влияют на работу цепей и прямо указывает на сложность обеспечения предсказуемой работы генных цепей. В работе [13] показано влияние биологических факторов

на стабильность, что подтверждает сложность создания стабильных биологических интерфейсов и указывает на проблемы долгосрочной стабильности биологических интерфейсов. В работе [15] представлены технологические сложности из-за серьезных проблем интеграции биологических компонентов и трудности создания стабильных интерфейсов для биогибридных систем, что подтверждает технические ограничения в создании надежных биогибридных систем. Работа [16] показывает проблемы стабильности генетических конструкций за пределами лаборатории и демонстрирует сложности поддержания долгосрочной стабильности, что подтверждает низкую надежность генетических систем в реальных условиях.

В уже рассматривавшихся работах [6–8, 11, 14, 15, 16] представлены многоуровневые доказательства того, что надежность и стабильность генетических конструкций в нейронной среде действительно крайне низки по следующим фундаментальным причинам:

- эпигенетические изменения в нейронных сетях являются функциональной необходимостью для процессов обучения и памяти, что создает принципиальную несовместимость с требованиями стабильности генетических конструкций;
- дрейф экспрессии возникает из-за динамического клеточного контекста нейронной среды, где генетические конструкции взаимодействуют с тысячами факторов, неучтенных в лабораторных моделях;
- мутационная нестабильность особенно выражена в нейронах из-за их постмитотического состояния и накопления повреждений ДНК в течение жизни;
- клеточная гетерогенность нейронных популяций делает невозможным создание унифицированных генетических конструкций, работающих одинаково во всех клетках.

Работа [6] демонстрирует, что синтетическая биология базируется на инженерной парадигме стандартизации и абстракции, которая фундаментально несовместима со сложными биологическими системами, такими как нейронные сети мозга. Модульный подход, успешный в простых системах (E. coli), терпит неудачу в контексте высокой взаимосвязанности и пластичности нейронной среды, где каждый компонент находится в динамическом взаимодействии с сотнями других факторов. Это напрямую подтверждает, что биологические части демонстрируют высокую вариабельность из-за неучтенных системных взаимодействий. Работа [7] демонстрирует, что даже в идеально контролируемой лабораторной среде простейших организмов (E. coli), где генетический переключатель показывает бистабильность и предсказуемость, эти принципы **не переносятся на высшие организмы**, тем более на нейронные системы. Нейронная среда характеризуется **значительно более сложным клеточным контекстом**, эпигенетической регуляцией и межклеточной коммуникацией, которые делают невозможным сохранение стабильности генетических конструкций, работающих в простых системах. Это напрямую подтверждает утверждение о **дрейфе экспрессии** и невозможности создания стабильных каналов передачи информации. Работа [8] подтверждает, что **классические инженерные стратегии стандартизации** терпят неудачу в биологических системах, особенно в нейронных сетях, где вариабельность является **функциональной необходимостью**, а не техническим недостатком. Авторы признают, что для достижения предсказуемости и надежности в синтетической биологии необходимо **включать понятие клеточного контекста** в функциональное определение устройств и модулей. В нейронной среде этот контекст является **максимально сложным** и динамичным. Нейроны характеризуются уникальной эпигенетической пластичностью, необходимой для функций памяти и обучения, что создает фундаментальное противоречие с требованиями стабильности генетических конструкций. Работа [11] подтверждает наличие **мутационной нестабильности** и **клеточной гетерогенности** как фундаментальных проблем, которые особенно выражены в нейронных системах. Стратегии повышения предсказуемости, предлагаемые авторами, требуют жесткого контроля условий, что **невозможно достичь** в живом мозге. Это напрямую подтверждает утверждение о том, что создание устойчивого канала передачи информации между мозгом и внешним устройством с использованием генетических конструкций является **фундаментально проблематичным**.

Авторы демонстрируют, что предсказуемость генетических цепей искажается из-за:

- сложности схемы – в нейронных системах эта сложность максимальна;
- контекста – нейронная среда представляет собой наиболее сложный биологический контекст;
- взаимодействия между ними – в нейронных сетях количество взаимодействий экспоненциально больше;

Работа [14] **экспериментально подтверждает** практические ограничения биосенсоров в нейронной среде. Авторы демонстрируют, что даже с современными биосенсорами, основанными на ферментативных реакциях (холиноксидаза), невозможно точно измерять быстрые нейрохимические процессы из-за:

- медленной кинетики ферментативных реакций;
- зависимости от кофакторов (O_2), концентрация которых динамически меняется в нейронной среде;
- нестационарных реакций, приводящих к фазовой динамике сигналов.

Это исследование **напрямую иллюстрирует** утверждение о **высокой вариабельности биологических частей даже в изогенных культурах**. Если даже сенсоры, работающие на основе биохимических реакций (а не генетических конструкций), демонстрируют такую нестабильность в контролируемых условиях, то генетические конструкции, которые гораздо более сложны и подвержены эпигенетической регуляции, будут демонстрировать **еще большую вариабельность**. Работа подтверждает, что создание калибруемого канала передачи информации в нейронной среде с использованием биологических компонентов сталкивается с **фундаментальными физиологическими ограничениями**. Авторы [15] обозначают как перспективы, так и **серьезные технологические сложности** на пути создания «биогибридных» и «живых» интерфейсов. Работа подчеркивает, что даже самые передовые биогибридные системы представляют собой **сложнейшие технологические вызовы**, а не готовые решения. Это напрямую подтверждает утверждение о **низкой надежности и стабильности** генетических конструкций в нейронной среде.

Обзор демонстрирует, что биоинтеграция требует решения проблем:

1. **Долгосрочной стабильности** биологических компонентов.
2. **Контроля иммунного ответа** на генетические конструкции.
3. **Поддержания функциональности** в динамичной нейронной среде.

Эти проблемы делают невозможным создание воспроизводимых и калибруемых каналов передачи информации на основе генетических конструкций в ближайшей перспективе. Работа [16] **напрямую адресует** проблемы применения синтетической биологии в реальных условиях. Авторы подчеркивают, что большинство современных разработок синтетической биологии **не могут быть немедленно применены** в условиях, отличных от контролируемых лабораторных. Ключевые проблемы включают:

- **обеспечение долгосрочной стабильности** хранилища генетических конструкций;
- **работа в условиях ограниченных ресурсов**;
- **функционирование в автономном режиме**.

Эти проблемы **многократно усиливаются** в нейронной среде, где динамические условия, иммунный ответ, эпигенетическая регуляция и клеточная гетерогенность создают **экстремально сложную среду** для функционирования генетических конструкций. Работа подтверждает, что нейронная среда представляет собой один из самых сложных контекстов для применения синтетической биологии, где проблемы стабильности и предсказуемости становятся **фундаментальными ограничениями**.

Утверждение о невозможности создания устойчивого, воспроизводимого и калибруемого канала передачи информации между мозгом и внешним устройством на основе генетических конструкций **отражает текущее состояние науки**. Однако это не означает фундаментальной невозможности таких интерфейсов в будущем, а указывает на необходимость разработки **новых парадигм** биоинтеграции, выходящих за рамки традиционного синтетико-биологического подхода. Текущие достижения указывают на перспективность **гибридных подходов**,

объединяющих микроэлектронные компоненты с биологическими системами через посреднические уровни, а не прямую генетическую интеграцию. Это подтверждается работами [13] и [15], которые демонстрируют эволюцию нейроинтерфейсов в направлении мягких материалов и биогибридных систем с контролируемой биоинтеграцией.

Несовместимость DBTL с требованиями к обратной связи в БИНКИ

Цикл DBTL, лежащий в основе синтетической биологии, **несовместим с требованиями к обратной связи в БИНКИ**. Цикл DBTL – это **итеративный, медленный процесс**, ориентированный на **макроэволюцию дизайна** через множество поколений клеток или культур. БИНКИ, напротив, требует **непрерывной, адаптивной, замкнутой обратной связи в реальном времени**, где каждое решение принимается на основе текущего состояния нейронной активности.

Попытка встроить этапы «Build» и «Test» (физическое внедрение ДНК, выращивание культуры, измерение ответа) в контур управления БИНКИ разрушает саму идею интерфейса как средства взаимодействия «здесь и сейчас»:

1. Фундаментальные биохимические ограничения [14] делают невозможным использование традиционных биосенсоров для измерения быстрых нейрохимических процессов из-за медленной кинетики ферментативных реакций.

2. Строгие требования к стабильности и надежности [13] для имплантируемых нейроинтерфейсов принципиально противоречат философии постоянной перенастройки и оптимизации, заложенной в цикл DBTL.

3. Требования к обратной связи в реальном времени [12] для современных BCI напрямую несовместимы с временными масштабами биологических процессов (дни/недели против миллисекунд).

4. Методологические основы БИНКИ [3, 4] предполагают иерархию временных масштабов, где контур управления должен функционировать на уровне немедленной обратной связи, а не итеративной оптимизации.

Здесь необходимо отметить, что такая несовместимость относится только к **классическому пониманию цикла DBTL**, но не исключает развития гибридных подходов, способных частично преодолеть эти ограничения для специфических приложений БИНКИ.

Работы [15, 18, 19] указывают на **потенциальные пути преодоления** этих ограничений через:

- разработку специализированных биогибридных систем с улучшенной кинетикой;
- использование каталитических нанодвижителей и других компонентов с быстрой реакцией;
- создание многоуровневых архитектур, где оптимизация по циклу DBTL происходит вне контура управления реального времени.

Работа [13] представляет собой обзор, который систематически анализирует ключевые требования к имплантируемым нейроинтерфейсам для долгосрочной стабильной работы: высокая биосовместимость, минимизация механического несоответствия с тканью мозга и контроль иммунного ответа. В работе подробно разобраны причины неудач традиционных интерфейсов на основе жестких материалов и обоснованы строгие критерии, которым должен соответствовать современный нейроинтерфейс: биосовместимость, механическое соответствие, долговременная стабильность сигнала. Эти требования принципиально несовместимы с итеративным циклом DBTL, который предполагает множественные физические вмешательства, реимплантации и адаптацию биологических компонентов. Требование долгосрочной стабильности нейросигналов напрямую противоречит философии постоянного перестроения и оптимизации, заложенной в цикл DBTL. Работа [14] предоставляет прямое экспериментальное доказательство фундаментального ограничения биологических сенсоров применительно к нейроинтерфейсам реального времени. Исследование демонстрирует, что медленная кинетика ферментативных реакций и зависимость от кофактора (O_2) делают существующие биосенсоры (в данном случае на основе холиноксидазы) непригодными для измерения быстрых нейрохимических процессов. Авторы показывают, что нестационарные ферментативные реакции на кислород приводят к фазовой динамике, которая конфундирует быстрые сигналы,

что делает невозможным изучение фазовых холинергических сигналов при большинстве поведенческих парадигм. Это исследование напрямую подтверждает: биологические компоненты, требующие времени на биохимические реакции (этапы "Build" и "Test" в DBTL), не могут функционировать в контуре управления, требующем миллисекундной обратной связи. Фундаментальные биохимические ограничения создают непреодолимый барьер для интеграции традиционных синтетико-биологических подходов в системы реального времени. Всеобъемлющий обзор [12] предоставляет детальное описание современных технологий BCI, включая их классификацию, принципы работы и распространенные парадигмы. Особенно значим анализ требований к обратной связи в реальном времени для различных неврологических применений. Авторы подчеркивают роль двунаправленных и высокоэффективных BCI, а также интеграцию искусственного интеллекта и разработку систем с замкнутым циклом. Обзор выявляет существенные пробелы в текущих исследованиях, особенно в отношении долгосрочной клинической эффективности и необходимости стандартизированных протоколов. Эти требования прямо противоречат философии цикла DBTL, который предполагает постоянную перенастройку и оптимизацию через итерации. Закрытые контуры BCI требуют мгновенной адаптации без задержек, связанных с физическим созданием и тестированием новых биологических конструкций. Работа подтверждает, что требования к БИНКИ как к системам «здесь и сейчас» принципиально несовместимы с медленными итеративными процессами биологической инженерии. Фундаментальная работа [15] описывает эволюцию нейроинтерфейсов от жестких имплантатов к мягким, биогибридным и полностью «живым» системам. Хотя авторы рассматривают подходы, использующие живые клетки и биологические компоненты (область синтетической биологии), для создания интерфейсов, способных к интеграции и регенерации, они четко обозначают как перспективы, так и серьезные технологические сложности на этом пути. Авторы показывают, что современные биогибридные системы все еще сталкиваются с проблемами стабильности, предсказуемости и временных задержек, что делает их непригодными для замкнутых контуров обратной связи, требующих непрерывной адаптации. В [3] рассматривается проблема представления знаний о бионаносистемах и преобразования этих знаний в технические данные, а также анализируется применимость когнитивной инфокоммуникационной системы (КИКС) для решения этой проблемы. Авторы устанавливают возможность реализации многоуровневой доменной модели КИКС для БНРТ, что предполагает иерархию временных масштабов обработки информации. Ключевое значение для нашего анализа имеет понимание того, что БИНКИ должны функционировать на уровне немедленной обратной связи, тогда как биологические компоненты работают на более медленных временных масштабах. Работа подтверждает, что попытка встроить медленные биологические процессы в контур управления, требующий мгновенного отклика, разрушает целостность системы. Это прямое подтверждение тезиса о несовместимости этапов «Build» и «Test» цикла DBTL с требованиями интерфейса «здесь и сейчас». В [4] рассматривается проблема перехода от моделирования к прототипированию объектов бионаноробототехники. Авторы обосновывают необходимость познавательно-целевого моделирования и интеррепрезентативных сетей (ИРС) для преодоления «проблемы постановки проблемы» в междисциплинарных проектах. Ключевой аспект для нашего анализа – это обоснование концепции модельной экспериментальной технологии проектирования и прототипирования мягких полимерных мехатронных конструкций (МПМК). Работа подтверждает, что сложность переноса традиционных жестких конструкций в микро- и наномасштабные уровни ограничивает их применимость в микроробототехнике. Это напрямую связано с несовместимостью цикла DBTL и БИНКИ: для создания эффективных нейроинтерфейсов требуется переход от итеративного биологического проектирования к непрерывному киберфизическому управлению в реальном времени. Предложенная концепция интеллектуального управления (САППИУ) подразумевает автоматизацию процессов, что принципиально отличается от ручной оптимизации в

циклe DBTL. Анализ генезиса синтетической биологии как инженерной дисциплины в [6] выявляет ключевые особенности, делающие ее несовместимой с требованиями БИНКИ. Автор подчеркивает редукционистскую и модульную природу синтетической биологии, черпающей вдохновение как из синтетической химии, так и из информационных технологий. Работа показывает, что синтетическая биология как инженерная дисциплина формировалась вокруг принципов модульности, стандартизации и абстрагирования, которые работают на временных масштабах лабораторных экспериментов (дни-недели). Эти принципы фундаментально несовместимы с целостными динамическими системами нейронной активности, требующими мгновенной адаптации без промежуточных этапов физического создания и тестирования. Раздвоенность парадигм синтетической биологии (химическая vs IT) создает дополнительные сложности для ее интеграции в системы реального времени. Работа [19] представляет интересный контрапункт основному утверждению, предлагая потенциальный путь преодоления ограничений традиционного цикла DBTL. Автор рассматривает свойства синтетических каталитических самоходных нанодвижителей (КСНД) и оценивает их применимость в БНРТ. Важно, что КСНД соответствуют концепции БНРТ по признакам «усилие, движение, сигнал» и могут быть использованы для реализации нижнего уровня когнитивной информационно-коммуникационной системы (КИКС) БНРТ. Это исследование показывает, что существуют биологические компоненты с более быстрой кинетикой реакций, способные функционировать в масштабах времени, близких к требуемым для нейроинтерфейсов. Однако авторы признают, что такие системы все еще требуют запуска «самопроцесса нанопроизводства», что возвращает нас к проблеме временных задержек. Работа подтверждает как фундаментальные ограничения подхода DBTL, так и потенциальные пути их преодоления через специализированные бионанокомпоненты.

Биологическая шумность генетических схем

Биологическая шумность генетических систем делает их непригодными для точной обработки слабых нейросигналов:

- уровень экспрессии генов варьируется на порядки даже при идентичных условиях, что приводит к **низкому отношению сигнал/шум**;
- в то же время нейроинтерфейсы работают с сигналами микровольтного диапазона, где требуются **высокая чувствительность и точность**;
- генетические логические вентили, даже если бы они были достаточно быстрыми, не смогли бы обеспечить необходимую точность и разрешающую способность.

Для работы с микровольтными нейросигналами требуются электронные и оптические технологии с высоким отношением сигнал/шум, а не биологические системы с их шумностью и непредсказуемостью.

Современные достижения в синтетической биологии и нейроинженерии подтверждают, что:

1. Биологическая шумность генетических систем действительно варьируется на порядки даже в контролируемых условиях [11].
2. Медленная кинетика ферментативных реакций и зависимость от кофакторов делают биосенсоры непригодными для измерения быстрых нейросигналов [14].
3. Даже самые передовые биогибридные технологии представляют собой нерешенные технологические вызовы [15].
4. Принципы синтетической биологии принципиально несовместимы с целостными нейронными системами [6].
5. Строгие требования к биосовместимости и стабильности нейроинтерфейсов не могут быть выполнены с помощью шумных биологических компонентов [13].

Работа [14] предоставляет прямые экспериментальные доказательства фундаментальных ограничений биологических сенсоров при работе с нейросигналами. Исследование демонстрирует, что нестационарные ферментативные реакции и зависимость от кофакторов (в данном случае кислорода) создают фазовую динамику, которая полностью искажает измерения

быстрых нейрохимических процессов. Авторы показывают, что даже специально разработанные амперометрические датчики на основе холиноксидазы (ChOx) не могут надежно регистрировать фазовые холинергические сигналы при поведенческих парадигмах. Это напрямую подтверждает утверждение о том, что биологическая шумность и медленная кинетика молекулярных систем делают их непригодными для обработки быстрых, слабых нейросигналов микровольтного диапазона. Работа [11] систематически анализирует проблему предсказуемости генных цепей – фундаментальную проблему для применения синтетической биологии в точных системах. Авторы показывают, что предсказуемость работы генных схем искажается из-за сложности схемы, клеточного контекста и взаимодействий между ними. Важно отметить, что в микровольтном диапазоне нейросигналов даже небольшие вариации экспрессии генов на порядки приведут к полной потере отношения сигнал/шум. Работа предоставляет количественные данные о том, как вариабельность экспрессии генов влияет на функционирование генетических логических вентилей, что напрямую подтверждает тезис о непригодности таких систем для точной обработки слабых сигналов. Обзор по современным биогибридным нейроинтерфейсам [15] представляет подробный анализ эволюции от жестких имплантатов к «живым» системам, который показывает, что основные проблемы биосовместимости, механического соответствия и долговременной стабильности сигнала не решены даже для простых биологических компонентов. Это подтверждает утверждение о фундаментальной несовместимости шумных биологических систем с требованиями высокоточных нейроинтерфейсов, работающих с микровольтными сигналами. В работе [8] показано, что даже в контролируемых лабораторных условиях для достижения предсказуемости и надежности генетических систем требуется учитывать клеточный контекст, использовать направленную эволюцию и работать с популяциями клеток, а не с отдельными клетками. Для обработки микровольтных нейросигналов необходима точность на уровне отдельных молекул и событий, что принципиально невозможно в рамках текущих парадигм синтетической биологии. В работе [13] показано, что причины неудач традиционных интерфейсов связаны с фундаментальными биологическими ограничениями. Синтетические биологические системы с их внутренней шумностью и вариабельностью экспрессии генов принципиально не могут удовлетворить требованиям для обработки слабых микровольтных сигналов с необходимой точностью и надежностью. Работа [16] анализирует проблемы применения синтетической биологии вне контролируемых лабораторных условий. Авторы выделяют ключевые проблемы: обеспечение долгосрочной стабильности, работа в условиях ограниченных ресурсов и автономное функционирование. Эти проблемы напрямую связаны с утверждением о биологической шумности систем. В нейроинтерфейсах, работающих с микровольтными сигналами, вариабельность экспрессии генов на порядки приведет к катастрофическому снижению отношения сигнал/шум. Работа подтверждает, что текущие технологии синтетической биологии требуют строго контролируемых условий для минимальной предсказуемости, что абсолютно несовместимо с требованиями клинических нейроинтерфейсов. Генетические переключатели в [7], даже в простых бактериальных системах с относительно предсказуемым поведением, требуют идеальных условий и демонстрируют «почти идеальный порог переключения» только в лабораторных условиях. Для обработки слабых нейросигналов в сложной и динамичной среде мозга такие системы принципиально непригодны из-за накапливающейся шумности и непредсказуемости.

В то же время необходимо отметить, что новейшие исследования направлены на создание гибридных систем, объединяющих преимущества как электронных, так и биологических компонентов:

- исследования на стыке синтетической биологии и нейроморфных вычислений показывают, как шумные микровольтовые сигналы могут непосредственно подаваться в нейроморфные системы на основе синтетической биологии;

- биологические механизмы обработки сигналов, вдохновленные электротехническими устройствами, уже реализованы в клеточных системах;

- комплексные методы обработки сигналов через синтетические биологические системы позволяют декомпозировать неортогональные биологические сигналы на отдельные компоненты;

- шум в генетических системах **контролируем** и **снижаем** с помощью современных инженерных подходов;

- генетические системы могут быть интегрированы с электронными компонентами для создания гибридных интерфейсов, где каждая технология используется в своих сильных сторонах;

- некоторые нейральные процессы **естественно** используют стохастичность для обработки информации, что делает биологический шум потенциально полезным свойством, а не недостатком;

- временные ограничения генетических систем (медленная реакция) являются более фундаментальным ограничением для обработки высокочастотных нейросигналов, чем шум как таковой.

Таким образом, более точная формулировка должна звучать: «Биологический шум в генетических системах представляет собой значительный, но преодолимый вызов для обработки слабых нейросигналов; современные достижения в синтетической биологии и нейроинженерии демонстрируют пути создания гибридных систем, способных эффективно работать с микровольтными сигналами при сохранении биологической функциональности».

Невозможность применения подхода BioBricks из-за отсутствия стандартизации в нейронных системах

Отсутствие стандартизации в нейронных системах делает невозможным применение подхода BioBricks. Стандартные биологические части (BioBricks) были разработаны для прокариот (*E. coli*) и простых эукариот (дрожжи). В нейронах млекопитающих контекст экспрессии зависит от **локализации в клетке**, **состояния хроматина**, **влияния соседних клеток**, **нейромодуляторов** и **активности сети**. Это означает, что одна и та же генетическая конструкция будет вести себя совершенно по-разному в разных нейронах, что делает невозможным ее использование как универсального «компонента». Исторический контекст разработки BioBricks для простых систем [6, 7], фундаментальная контекст-зависимость экспрессии в нейронах [11, 14], проблемы переноса синтетических систем в сложные условия [16].

Классические BioBricks, разработанные для прокариот, не могут быть напрямую применены в нейронах млекопитающих из-за фундаментальных различий в регуляции генов и клеточном контексте. Однако подход стандартизации и модульного проектирования может быть адаптирован для нейронных систем через разработку контекст-зависимых стандартов и интеллектуальных генных цепей, учитывающих сложность нейрональной среды. Современная синтетическая биология развивает адаптивные стратегии [8, 9], а фундаментальные принципы стандартизации могут быть переработаны для сложных систем [15].

Научная перспектива. Как показывают работы [8, 9, 11], *будущее не в отказе от стандартизации, а в разработке* ***контекст-осознающих стандартов*** *и интеллектуальных генных цепей, способных адаптироваться к сложной нейронной среде*.

Работа [6] подтверждает исторический контекст утверждения о том, что синтетическая биология изначально развивалась как дисциплина с инженерной идентичностью, ориентированная на простые системы, а не на сложные нейронные сети. В контексте нашего анализа это означает, что парадигма BioBricks, построенная на принципах химической абстракции и модульности, не может быть напрямую перенесена на нейронные системы млекопитающих, где функциональность определяется не изолированными компонентами, а сложными взаимодействиями в сети. Авторы [8] признают, что классические инженерные стратегии стандартизации, разделения и абстрагирования должны быть расширены для учета неотъемлемых характеристик биологических устройств. Особенно значимо их признание необходимости включения

«клеточного контекста» в функциональное определение устройств. Это напрямую подтверждает тезис о том, что в нейронах млекопитающих контекст экспрессии зависит от множества факторов (локализация в клетке, состояние хроматина, влияние соседних клеток), что делает невозможным использование генетических конструкций как универсальных компонентов в духе BioBricks. Однако работа также указывает на пути адаптации подхода, что согласуется с оценкой о необходимости развития в научной перспективе, а не полного отказа от стандартизации. Работа [11] предоставляет научно обоснованное подтверждение ключевого аргумента утверждения о **контекст-зависимости генных цепей**. Авторы детально анализируют проблемы предсказуемости генных схем, подчеркивая, что предсказуемость может быть искажена из-за сложности схемы, контекста и взаимодействия между ними. Это напрямую поддерживает тезис о том, что «одна и та же генетическая конструкция будет вести себя совершенно по-разному в разных нейронах». Важно отметить, что авторы не отрицают саму возможность стандартизации, а предлагают стратегии повышения предсказуемости, что соответствует оценке о необходимости развития адаптивных стандартов, а не полного отказа от подхода. Работа [14] служит конкретным примером того, как биологические компоненты, хорошо работающие в контролируемых условиях (**аналогично BioBricks в E. coli**), теряют предсказуемость в сложной нейронной среде. Работа также отмечает, что эта проблема применима к любому биосенсору на основе оксидазы, что п**одтверждает фундаментальный характер проблемы контекст-зависимости**. Работа [7] служит **экспериментальным подтверждением успешности подхода BioBricks в простых прокариотических системах**, но при этом авторы прямо указывают на ограничения масштабируемости их подхода на более сложные системы. Демонстрация работы синтетического генетического переключателя в E. coli подтверждает исторический контекст утверждения о том, что стандартные биологические части были разработаны для прокариот. Однако в работе также подчеркивается необходимость учета клеточного контекста даже в простых системах, что косвенно подтверждает проблемы при переходе к нейронам млекопитающих. Авторы [9] признают, что для того, чтобы рассматривать клетки как настоящие «программируемые» объекты, необходимо развивать новые подходы, которые учитывают системные свойства. Это косвенно подтверждает тезис о **недостаточности классического подхода BioBricks** для нейронных систем, но при этом указывает на пути развития дисциплины, что соответствует оценке о необходимости адаптации стандартизации.

Выводы и рекомендации

Таким образом, такие **технические характеристики синтетической биологии, как медленная кинетика, низкая надежность, высокая вариабельность, отсутствие стандартизации и несовместимость с реальным временем, делают ее непригодной для интеграции в БИНКИ**, по крайней мере в настоящее время, и очень проблематичной в обозримом будущем. Синтетическая биология не совмещается с техническими основами БИНКИ. Дальнейшие исследования должны быть направлены на развитие **не нарушающих**, **адаптивных** и **эпистемологически согласованных** технологий, таких как БНРТ и нейроморфные системы, в рамках строгой методологической дисциплины, обеспечиваемой ИРС и познавательно-целевым моделированием.

Вместо синтетической биологии для БИНКИ следует развивать:

1. **Бионаноробототехнику (БНРТ)** – использование **неинвазивных**, **обратимых** и **адаптивных** бионаноустройств (магнитосомы, каталитические нанодвижители) [1, 2, 18, 19].

2. **Нейроморфные вычисления** – аппаратные нейросети, имитирующие нейронную динамику без вмешательства в биологию [20].

3. **Интеррепрезентативные сети (ИРС)** – методологический инструмент для согласования разнородных знаний без онтологического насилия [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., Нагоев З. В.* Бионаноробототехника: концептуализация, проблематика и задачи исследований // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 6(74). С. 11–17. EDN: XRUYRN

2. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Состояние и перспективы бионаноробототехники на современном этапе развития науки и техники // Перспективные системы и задачи управления: Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции и XII молодежной школы-семинара, п. Нижний Архыз – п. Домбай, 05–09 апреля 2021 года. Ростов-на-Дону: ИП Марук М.Р., 2021. С. 112–116. EDN: CNIKDR

3. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Поиск, исследование и развитие технологий бионаноробототехники для устойчивого развития горных территорий в эпоху шестого технологического уклада // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 447–457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457

4. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Проблема разработки теоретических основ проектирования и прототипирования устройств и систем бионаноробототехники в киберфизических системах и средах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-28-38

5. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., Загазежева О. З.* Интеррепрезентативные сети (ИРС) и репрезентативность VR визуализации наноструктур и процессов в наносреде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4(72). С. 5–9. EDN: WKDXXD

6. *Bensaude-Vincent B.* Discipline-building in synthetic biology // Studies in History and Philosophy of Science. Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences. 2013. Vol. 44. No. 2. Pp. 122–129. ISSN: 1369-8486. DOI: 10.1016/j.shpsc.2013.03.007

7. *Gardner T.S., Cantor C.R., Collins J.J.* Construction of a genetic toggle switch in Escherichia coli // Nature. 2000. Vol. 403. No. 6767. Pp. 339–342. ISSN: 1476-4687. DOI: 10.1038/3500213

8. *Andrianantoandro E., Basu S., Karig D.K., Weiss R.* Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline // Molecular Systems Biology. 2006. Vol. 2. Art. 2006.0028. DOI: 10.1038/msb4100073

9. *Purnick P.E., Weiss R.* The second wave of synthetic biology: from modules to systems // Nature Reviews Molecular Cell Biology. 2009. Vol. 10. No. 6. Pp. 410–422. DOI: 10.1038/nrm2698

10. *Buthut M., Starke G., Akmazoglu T.B. et al.* HYBRIDMINDS-summary and outlook of the 2023 international conference on the ethics and regulation of intelligent neuroprostheses // Frontiers in Human Neuroscience. 2024. Vol. 18. Art. 1489307. DOI: 10.3389/fnhum.2024.1489307

11. *Şimşek E., Yao Y., Lee D., You L.* Toward predictive engineering of gene circuits // Trends in Biotechnology. 2023. Vol. 41. No. 6. Pp. 760–768. DOI: 10.1016/j.tibtech.2022.11.001

12. *Zhang H., Jiao L., Yang S. et al.* Brain-computer interfaces: the innovative key to unlocking neurological conditions // International Journal of Surgery. 2024. Vol. 110. No. 9. Pp. 5745–5762. DOI: 10.1097/JS9.0000000000002022

13. *Gao W., Yan Z., Zhou H. et al.* Revolutionizing brain-computer interfaces: overcoming biocompatibility challenges in implantable neural interfaces // Journal of Nanobiotechnology. 2025. Vol. 23. No. 1. Art. 498. DOI: 10.1186/s12951-025-03573-x

14. *Santos R.M., Sirota A.* Phasic oxygen dynamics confounds fast choline sensitive biosensor signals in the brain of behaving rodents // eLife. 2021. Vol. 10. Art. e61940. DOI: 10.7554/eLife.61940

15. *Boufidis D., Garg R., Angelopoulos E. et al.* Bioinspired electronics: Soft, biohybrid, and "living" neural interfaces // Nature Communications. 2 packed 2025. Vol. 16. № 1. Art. 1861. ISSN: 20411723. DOI: 10.1038/s41467025570160

16. *Brooks S.M., Alper H.S.* Applications, challenges, and needs for employing synthetic biology beyond the lab // Nature Communications. 2021. Vol. 12. No. 1. Art. 1390. ISSN: 20411723. DOI: 10.1038/s41467021217400

17. *Groff Vindman C.S., Trump B.D., Cummings C.L. et al.* The convergence of AI and synthetic biology: the looming deluge // npj Biomedical Innovations. 2025. Vol. 2. No. 1. Art. 20. ISSN: 30051444. DOI: 10.1038/s44385025000211

18. *Абуталипов Р. Н.* Перспективы применения магнитосом на нижнем уровне физического домена когнитивной инфокоммуникационной системы медицинского онлайн-сервиса на базе бионаносенсорных устройств // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИИУС-2018): Материалы II Международной научной конференции, посвященной 25-летнему юбилею Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, Нальчик, 04–09 декабря 2018 года. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2018. С. 201–205. EDN: YWIGBF

19. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Каталитические самоходные нанодвижители – основа элементной базы для конструирования наномашин бионаноробототехники // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИИУС-2018): Материалы второй Международной научной конференции, посвященной 25-летнему юбилею Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, Нальчик, 04–09 декабря 2018 года. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2018. С. 7–17. EDN: YWIEUX

20. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Концепция коллаборативной системы автоматического виртуального прототипирования нейропротезов на основе гносеографических алгоритмов обучения интеллектуальных программных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 80–97. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-80-97

21. *Haken H.* Synergetic computers and cognition: a top-down approach to neural nets. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1991. Pp. 122–136. (Springer series in synergetic; Vol. 50). ISBN 3-540-53030-4

22. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы: вводный обзор технологий, клинических применений и этико-правовых вызовов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 125–142. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-125-142

REFERENCES

1. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Nagoev Z.V. Bionanorobotics: conceptualization, problems and research tasks. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 6(74). Pp. 11–17. EDN: XRUYRN. (In Russian)

2. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. State and prospects of bionanorobotics at the present stage of science and technology development. *Advanced Systems and Control Problems: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference and XII Youth School-Seminar, Nizhny Arkhyz – Dombay, April 05–09, 2021*. Rostov-on-Don: IP Maruk M.R., 2021. Pp. 112–116. EDN: CNIKDR. (In Russian)

3. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Search, research and development of bionanorobotics technologies for sustainable development of mountain territories in the era of the sixth technological order. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. Vol. 10. No. 3(37). Pp. 447–457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457. (In Russian)

4. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. The problem of developing theoretical foundations for the design and prototyping of bionanorobotic devices and systems in cyberphysical systems and environments. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-28-38. (In Russian)

5. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Zagazezheva O.Z. Interrepresentative networks (IRN) and representativeness of VR visualization of nanostructures and processes in nanoenvironment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 4(72). Pp. 5–9. EDN: WKDXXD. (In Russian)

6. Bensaude-Vincent B. Discipline-building in synthetic biology. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 2013. Vol. 44. No. 2. Pp. 122–129. DOI: 10.1016/j.shpsc.2013.03.007

7. Gardner T.S., Cantor C.R., Collins J.J. Construction of a genetic toggle switch in Escherichia coli. *Nature*. 2000. Vol. 403. No. 6767. Pp. 339–342. DOI: 10.1038/35002131

8. Andrianantoandro E., Basu S., Karig D.K., Weiss R. Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. *Molecular Systems Biology*. 2006. Vol. 2. Art. 2006.0028. DOI: 10.1038/msb4100073

9. Purnick P.E., Weiss R. The second wave of synthetic biology: from modules to systems. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2009. Vol. 10. No. 6. Pp. 410–422. DOI: 10.1038/nrm2698

10. Buthut M., Starke G., Akmazoglu T.B. et al. HYBRIDMINDS-summary and outlook of the 2023 international conference on the ethics and regulation of intelligent neuroprostheses. *Frontiers in Human Neuroscience.* 2024. Vol. 18. Art. 1489307. DOI: 10.3389/fnhum.2024.1489307

11. Şimşek E., Yao Y., Lee D., You L. Toward predictive engineering of gene circuits. *Trends in Biotechnology*. 2023. Vol. 41. No. 6. Pp. 760–768. DOI: 10.1016/j.tibtech.2022.11.001

12. Zhang H., Jiao L., Yang S. et al. Brain-computer interfaces: the innovative key to unlocking neurological conditions. *International Journal of Surgery*. 2024. Vol. 110. No. 9. Pp. 5745–5762. DOI: 10.1097/JS9.0000000000002022

13. Gao W., Yan Z., Zhou H. et al. Revolutionizing brain-computer interfaces: overcoming biocompatibility challenges in implantable neural interfaces. *Journal of Nanobiotechnology*. 2025. Vol. 23. No. 1. Art. 498. DOI: 10.1186/s12951-025-03573-x

14. Santos R.M., Sirota A. Phasic oxygen dynamics confounds fast choline sensitive biosensor signals in the brain of behaving rodents. *eLife*. 2021. Vol. 10. Art. e61940. DOI: 10.7554/eLife.61940

15. Boufidis D., Garg R., Angelopoulos E. et al. Bioinspired electronics: Soft, biohybrid, and "living" neural interfaces. *Nature Communications*. 2025. Vol. 16. No. 1. Art. 1861. DOI: 10.1038/s41467-025-57016-0

16. Brooks S.M., Alper H.S. Applications, challenges, and needs for employing synthetic biology beyond the lab. *Nature Communications*. 2021. Vol. 12. No. 1. Art. 1390. DOI: 10.1038/s41467-021-21740-0

17. Groff Vindman C.S., Trump B.D., Cummings C.L. et al. The convergence of AI and synthetic biology: the looming deluge. *npj Biomedical Innovations*. 2025. Vol. 2. No. 1. Art. 20. DOI: 10.1038/s44385-025-00021-1

18. Abutalipov R.N. Prospects for the use of magnetosomes at the lower level of the physical domain of a cognitive infocommunication system for medical online service based on bionanosensor devices. *Models of Thinking and Integration of Information and Control Systems (MMIICS-2018): Proceedings of the Second International Scientific Conference dedicated to the 25th anniversary of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, December 04–09, 2018*. Nalchik: Publishing House of KBSC RAS, 2018. Pp. 201–205. EDN: YWIGBF. (In Russian)

19. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. Catalytic self-propelled nanomotors as the basis of the element base for designing nanomachines of bionanorobotics. *Models of Thinking and Integration of Information and Control Systems (MMIICS-2018): Proceedings of the Second International Scientific Conference dedicated to the 25th anniversary of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, *Nalchik, December 04–09, 2018*. Nalchik: Publishing House of KBSC RAS, 2018. Pp. 7–17. EDN: YWIEUX. (In Russian)

20. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. Concept of a collaborative system for automatic virtual prototyping of neuroprostheses based on gnosseographic algorithms for training intelligent software agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 80–97. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-80-97. (In Russian)

21. Haken H. Synergetic computers and cognition: a top-down approach to neural nets. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1991. Pp. 122–136. (Springer series in synergetic; vol. 50). ISBN 3-540-53030-4

22. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Bioengineering neurocomputer interfaces: an introductory review of technologies, clinical applications and ethical and legal challenges. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 125–142. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-125-142. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения темы НИР «Методы и модели коллаборативного проектирования и прототипирования биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов» (№ 125032604432-6).

Funding. This article was prepared within the framework of research “Methods and Models for Collaborative Design and Prototyping of Bioengineered Brain-Computer Interfaces” (project No. 125032604432-6).

Информация об авторах

Абуталипов Ренат Надельшаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории «Бионаноробототехника и нейроинженерия» научно-инновационного центра «Биомедицинская инженерия», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

bnt_nat_2016@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0187-563X, SPIN-код: 6219-9432

Заммоев Аслан Узеирович, канд. техн. наук, зав. научно-инновационным центром «Биомедицинская инженерия», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

zammoev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7966-3557, SPIN-код: 6317-3115

Information about the authors

Renat N. Abutalipov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Bionanorobotics and Neuroengineering, Scientific and Innovation Center of Biomedical Engineering, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

bnt_nat_2016@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0187-563X, SPIN-code: 6219-9432

Aslan U. Zammoev, Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific and Innovation Center of Biomedical Engineering, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

zammoev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7966-3557, SPIN-code: 6317-3115

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 004.5; 004.89; 612.821:681.5; 615.477; 681.327 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-67-89
EWXTEV

Концепция биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов в контексте постнеклассической рациональности в современной науке

Р. Н. Абуталипов, А. У. Заммоев✉

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Стремительное развитие биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов (БИНКИ) как «интимных технологий» актуализирует угрозы нейроприватности и требует преодоления междисциплинарной онтологической несовместимости («проблемы постановки проблемы», П³) как совокупности семантических разрывов. Новизна заключается в применении развиваемой авторами концепции бионаноробототехники (БНРТ) для обеспечения семантической безопасности БИНКИ.

Цель исследования – концептуально-методологическое осмысление БИНКИ в парадигме постнеклассической рациональности и поиск путей преодоления П³.

Методы. Философско-методологический анализ применен для оценки этических вызовов «интимных технологий». Междисциплинарный синтез использован для интеграции разнородных знаний при решении П³. Метод интеррепрезентативных сетей (ИРС) задействован для структурирования конфликтов онтологий в контексте коллаборативного проектирования с демонстрацией процедуры применения при проектировании БИНКИ. Теоретико-категорный формализм привлечен для концептуального обоснования устойчивости БИНКИ к семантическим атакам.

Результаты. Исследована амбивалентность нейроинтерфейсов («цифровое зеркало» vs «цифровой поводок»). Систематизированы риски для когнитивной свободы. Систематизированы технические методы и аппаратные средства защиты нейроинтерфейсов, включая криптопроцессорную архитектуру. Показано на основе теоретико-категорной формализации ИРС, что такая формализация верифицирует устойчивость системы к семантическим атакам.

Выводы. Развитие БИНКИ требует отказа от редукционизма в пользу постнеклассической методологии. Преодоление П³ через инструменты развиваемой нами концепции БНРТ является, по нашему убеждению, необходимым условием создания безопасных, человеко-центрированных нейротехнологий, защищающих когнитивные права человека и в конечном счете личную идентичность, память, эмоции и мышление которой в условиях БИНКИ существуют в форме защищаемых данных. Практическая применимость предложенных подходов демонстрируется в виде процедуры ИРС-согласованности (построение междоменных соответствий, согласование конфликтов конструктов, повторная проверка) и трехоперационной схемы применения категорной формализации, встроенных в жизненный цикл проектирования БИНКИ – от формирования общего словаря дисциплин до спецификации аппаратных модулей.

Ключевые слова: биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы (БИНКИ), постнеклассическая рациональность, интимные технологии, нейроэтика, приватность ментальных данных, бионаноробототехника (БНРТ), интеррепрезентативные сети, проблема постановки проблемы (П³), семантический разрыв

Поступила 16.06.2026, одобрена после рецензирования 02.10.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У. Концепция биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов в контексте постнеклассической рациональности в современной науке // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 67–89. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-67-89

© Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T07, 92C55, 92C50, 62P10 Original article

Concept of bioengineered neurocomputer interfaces within paradigm of post-non-classical rationality

R.N. Abutalipov, A.U. Zammoev✉

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The rapid development of bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs), a form of "intimate technology", brings the issue of neuro-privacy to the fore. Addressing this requires overcoming an interdisciplinary ontological incompatibility termed the problem of problem-framing (PPF), which manifests as a series of semantic gaps. The novelty of this approach lies in applying the concept of bionanorobotics, a framework developed by the authors, to ensure the semantic security of BENCIs.

Aim. Conceptual and methodological interpretation of BENCIs within the paradigm of post-non-classical rationality, and the search for ways to overcome PPF.

Methods. Philosophical and methodological analysis serves to evaluate the ethical challenges posed by "intimate technologies". Employing an interdisciplinary synthesis allows for the integration of diverse forms of knowledge to address the PPF. The method of inter-representational networks (IRNs) structures ontological conflicts within collaborative design, demonstrating its application in BENCIs systems. Finally, category-theoretic formalism provides a conceptual foundation for the resilience of BENCIs systems against semantic attacks.

Results. The study examines the ambivalence of BENCIs viewed as either a "digital mirror" or a "digital leash". It systematizes the risks to cognitive freedom. It also categorizes technical methods and hardware-based protective measures for BENCIs, including cryptoprocessor architectures. Furthermore, employing a category-theoretic formalization of BENCIs demonstrates the system's resilience against semantic attacks.

Conclusions. The development of BENCIs requires moving away from reductionism in favor of a post-non-classical methodology. Overcoming the PPF challenge using the tools of the proposed bionanorobotics framework serves as a necessary condition for creating safe, human-centered neurotechnologies. Such technologies must safeguard human cognitive rights and, ultimately, personal identity, including memory, emotions, and thought, which exist within the BENCIs context as data requiring robust protection. The "IRN-consistency" procedure (establishing cross-domain correspondences, resolving construct conflicts, and iterative verification) alongside a three-operation scheme for applying categorical formalization demonstrates the practical applicability of these approaches. These components integrate into the BENCIs design lifecycle, spanning everything from the development of a shared interdisciplinary vocabulary to the specification of hardware modules.

Keywords bioengineered neurocomputer interfaces (BENCIs), post-non-classical rationality, intimate technologies, neuroethics, mental privacy, bionanorobotics, inter-representational networks (IRNs), problem of problem-framing (PPF), semantic gap.

Submitted 16.06.2026, approved after reviewing 02.10.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. Concept of bioengineered neurocomputer interfaces within paradigm of post-non-classical rationality. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 67–89. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-67-89

© Abutalipov R.N., Zammoev A.U., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Введение

По мере развития науки меняются представления о целях и методах научного познания, формируется новая картина мира, учитывающая не только физические явления, но и социальное окружение, гуманистические ценности и этические нормы. В современной науке ученые начинают учитывать сложность объектов исследования, множественность взаимодействий и зависимость результатов от множества факторов окружающей среды. Рационализм становится открытым для культурного и социального контекста, учитываются человеческий фактор, морально-нравственные соображения и экологические последствия научных открытий.

Постнеклассическая рациональность [1] существенно отличается от предыдущих этапов научной рациональности именно своим вниманием к социальным факторам, культурному контексту и человеческому измерению науки. Постнеклассический подход принимает во внимание интердисциплинарность и интеграцию знаний, потому что исследователи сталкиваются с необходимостью объединения усилий представителей различных областей знания [71].

В условиях глубокой неопределенности и онтологической несовместимости дисциплинарных знаний реализация постнеклассической рациональности требует инструментов согласования разнородных репрезентаций. Наиболее разработанной в нашей научной практике является авторская концепция бионаноробототехники (БНРТ), развиваемая в [43–53] как трансдисциплинарная платформа, в которой междисциплинарная интеграция обеспечивается через интеррепрезентативные сети (ИРС) – междисциплинарная модель SIRN (Synergetic Inter-Representation Networks) Хакена и Португали описывает когнитивные и урбанистические процессы через самоорганизацию репрезентаций [44, 46, 59–65], базовый информационно-аналитический сервис (БИАС) [47] и междисциплинарную систему интеграции технологической информации (МДСИТИ) [43–46].

В литературе по компьютерным наукам явление, при котором конструкты, сформированные в различных системах представления – естественных, формальных и специальных языках инженерных областей, – не совпадают по смыслу, принято называть семантическим (или информационным) разрывом [55]. Совместная работа химиков, биофизиков, нейрофизиологов, биоинженеров и ИИ-разработчиков порождает не отдельные разрывы, а их систему: каждая дисциплина описывает один и тот же объект исследования в собственной системе представления, и уже само формирование общей задачи оказывается зависимым от выбора языка описания. Именно эту метазадачу мы в развиваемой нами концепции БНРТ [43–46] называем «проблемой постановки проблемы» ($П^3$) и трактуем ее как совокупность междисциплинарных семантических разрывов, препятствующих формированию непротиворечивой совместной онтологии. При этом различение внутридоменных и междоменных разрывов, известное из многодоменной инженерии [56], приобретает в проектируемой системе БИНКИ новое измерение: подмена смысла конструкта в одном домене (например, замена «автономии» на «управляемость») остается незаметной для специалистов смежных областей, если отсутствует формальный аппарат согласования представлений.

Уточним содержание базового термина статьи. Биоинженерный нейрокомпьютерный интерфейс (БИНКИ) – это междисциплинарная технологическая платформа, обеспечивающая двунаправленную связь между нервной системой и внешними исполнительными устройствами [53]. Инженерные решения Neuralink (2019) служат эмпирическим подтверждением реализуемости этой концепции [54]. За счет интеграции гибких полиимидных нитей-электродов, роботизированной хирургии и специализированных микросхем ASIC-система преобразует первичные гетерогенные нейробиологические сигналы в стандартизированные цифровые потоки и аппаратно подготовлена к обратной модуляции

активности нервной системы. В рамках настоящего исследования БИНКИ рассматривается как частный случай «интимных технологий», подлежащий методологическому обеспечению со стороны БНРТ.

При подготовке материалов статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта YandexGPT 5.1 Pro (Яндекс) преимущественно на этапе технического редактирования, проверки грамматики, стилистической корректировки текста и форматирования рукописи по требованиям издания: стилистика, грамматика, форматирование, аннотации.

Биоинженерия

Биоинженерия – это область науки, которая использует принципы инженерии для решения задач в биологии и медицине. Биоинженеры не только изучают биологические процессы, но и активно вмешиваются в них, создавая искусственные конструкции и оптимизируя природные системы [2].

Темы и проблемы биоинженерии

Биоинженерия обретает глубокий философский смысл как сознательный этап в саморазвитии универсума, когда природа через человека обретает разум и волю для направленного творчества жизни. Это не просто вмешательство, а акт сотворчества, ускоряющий и направляющий естественную продуктивность мироздания, где искусственное становится новым синтезом естественного и созданного. Однако эта мощь несет в себе серьезный риск: сведение организма к набору деталей грозит разрушением его целостности как живого процесса, подменой бесконечного становления мертвым продуктом. Таким образом, ее высший смысл – не в техническом конструировании, а в ответственном служении жизни, где каждое действие должно вести к новому, более высокому единству творчества, свободы и природной основы бытия [3].

«Не просто конструируй, но со-творяй. Уважай не только «продукт» (организм), но и лежащую в его основе «продуктивность» (жизнь как процесс). Помни, что твоя цель – не подчинить природу как мертвую материю, а помочь духу раскрыться в ней полнее и свободнее. Любое твое действие должно быть не механическим вмешательством, а диалектическим актом любящего познания, ведущим к новому, более высокому синтезу естественного и искусственного, природы и свободы» [4].

Такой «со-творческий» подход находит свое операциональное воплощение в БНРТ через **базовый универсальный технологический цикл (БУТЦ)** и его инженерную модификацию – **специальный производственный унифицированный технологический цикл (СПУТЦ)**. В этих циклах внешнее управление не подавляет, а *ориентирует* процессы самосборки и самоорганизации через задание **коллективного параметра порядка** в рамках когнитивного планирования. Это позволяет сохранять адаптивную устойчивость живых систем при введении инженерных функций [43, 46–48].

Биоинженерия как междисциплинарная область, интегрирующая биологию, инженерию и информатику, опирается на постнеклассическую рациональность, где научные исследования должны учитывать общественные ценности. Философские основания биоинженерии охватывают методологический фундамент науки, критерии научности, гуманистические ориентиры и этические вопросы, такие как конфиденциальность генетической информации. Особое внимание уделяется социально-правовым аспектам, включая патентование и международные стандарты, что подчеркивает важность этических и правовых рамок для ответственного развития биоинженерии.

Биоинженерные вмешательства порождают комплекс этических проблем, связанных с безопасностью и непредвиденными рисками для здоровья, справедливостью доступа к технологиям, которые могут стать привилегией богатых, и нарушением автономии выбора человека.

Кроме того, они возлагают на нас ответственность за долгосрочные последствия для будущих поколений, особенно при изменении наследственных признаков, и создают конфликт между коммерческими интересами производителей и благом общества, что требует тщательного регулирования для минимизации вреда и максимизации пользы.

Синтетическая биология

Синтетическая биология – это междисциплинарная область науки, которая проектирует и создает новые биологические системы, которых не существует в природе, или перепроектирует существующие системы для выполнения новых полезных функций. Ученые «собирают живые системы как конструктор»: берут уже существующие «кирпичики», меняют и комбинируют их, чтобы получить уникальные, ранее неизвестные «строения» [5].

Синтетическая биология объединяет элементы молекулярной биологии, генетики, биоинженерии и компьютерных наук. К ее задачам относятся:

- **перепроектирование существующих биологических систем** – упрощение живых организмов для лучшего понимания фундаментальных принципов жизни или для повышения их эффективности в промышленных процессах;
- **создание полностью новых биологических систем** – конструирование с нуля молекул, генетических цепей, метаболических путей и даже целых организмов с заданными свойствами.

Для настоящей статьи синтетическая биология значима в двух отношениях. Во-первых, она дает материальную опору «со-творческому» подходу: если биоинженерия в широком смысле осмысляется как акт сотворчества с природной продуктивностью [4], то синтетическая биология делает этот принцип инженерно проверяемым – сборка живых систем из модульных «кирпичиков» есть практика, в которой инженерный замысел и природная самосборка совмещены. Именно такой режим управления описывает БНРТ: в базовом универсальном технологическом цикле (БУТЦ) и его производственной модификации (СПУТЦ) внешнее инженерное воздействие не подавляет процессы самоорганизации, а ориентирует их через коллективный параметр порядка [43, 46–48]. Синтетическая биология, таким образом, может рассматриваться как экспериментальное поле проверки процедур «ориентирующего» управления живыми системами.

Синтетическая биология работает на разных уровнях сложности, создавая биологические части попроще как модули для комбинирования с целью создания сложных систем. В работе в этом направлении необходимо учитывать этическую проблематику синтетической биологии: безопасность созданных организмов, риск биохакинга и создания опасных вирусов, вопросы собственности и справедливости в доступе к новым технологиям, вмешательство в природу и его этические последствия, неопределенность долгосрочных последствий, необходимость информированного согласия участников исследований, этические дилеммы в использовании технологий, а также экономические изменения, которые могут повлиять на работу и жизнь людей [6]. Этическая проблематика синтетической биологии имеет для анализа БИНКИ методологическое значение прецедента: биохакинг, вопросы собственности и информированного согласия, неопределенность долгосрочных последствий – тот же круг рисков воспроизводится в нейротехнологиях на новом объекте, где модификации подлежат не метаболизм, а восприятие, память и мышление. Опыт этического регулирования синтетической биологии может поэтому рассматриваться как модельный случай для нейроэтики «интимных технологий» [6, 21]. В архитектуре БИНКИ синтетическая биология отвечает за конструктивный слой интерфейса: модифицируемые клетки и ткани, управляемые генетические цепи и биосовместимые модули. Задача следующего раздела – показать, как этот слой сопрягается с нервной системой средствами нейроинженерии.

Нейроинженерия

Нейроинженерия – это междисциплинарная область науки, объединяющая знания инженеров для изучения, восстановления и улучшения нервной системы, что позволяет соединять живые нейронные структуры с различными техническими устройствами. Основой этой науки служат такие дисциплины, как вычислительная нейробиология, неврология, электротехника, робототехника, кибернетика, компьютерная инженерия, материаловедение и нанотехнологии. Ключевым аспектом нейроинженерии является разработка моделей нейронов и нейронных сетей, которые помогают создавать устройства для интерпретации и контроля сигналов нервной системы, обеспечивая целенаправленные реакции [7].

Нейроинженерия – это область, где ученые создают устройства, которые взаимодействуют с нервной системой, и изучают, как кодируется и передается информация в мозге, как эта информация искажается при травматических и органических поражениях мозга. Здесь необходимы разработка биосовместимых материалов и устройств для имплантации и внешнего использования, методы нейровизуализации для исследования активности нейронных сетей, а также структуры и функций мозга [8], включая разработку биосовместимых **бионаноустройств нижнего уровня**, таких как **магнитосомы** (наночастицы Fe_3O_4 в липидной оболочке, функционирующие как бионаносенсоры и бионаноэффекторы) и **каталитические самоходные нанодвижители** (Au-Pt, Януса), обеспечивающие адресную доставку и локальную модуляцию микроокружения [47, 49, 50]. Эти компоненты могут быть интегрированы в **когнитивную информационно-коммуникационную систему (КИКС БНРТ)** как физический домен интерфейса [46, 51].

Как меняется понятие идентичности при развитии нейроинженерии?

Нейроинженерия представляет собой диалектическое снятие картезианского проекта: использует декартовский подход к телу, чтобы опровергнуть декартовское же понимание разума. С позиции философии Рене Декарта нейроинженерия представляет собой диалектическое завершение его проекта Просвещения – триумфального обретения власти разума над природой, доведенного до крайней формы власти над собственной биологической сущностью. Однако манипулируя мозгом как протяженной субстанцией (res extensa – термин из философии Рене Декарта, который означает «протяженная субстанция», «материя»; в переводе с латыни – «протяженная вещь»), она радикально подрывает картезианский дуализм, эмпирически доказывая, что сознание (res cogitans (лат. «мыслящая вещь») – это ключевое понятие философии Рене Декарта, обозначающее мыслящую субстанцию, душу) не является нематериальной сущностью, а представляет собой продукт материального мозга. Тем самым нейроинженерия превращает исходное декартово “Cogito ergo sum” (Cogito ergo sum в переводе с лат. «Я мыслю, следовательно, я есмь» или «Я мыслю, следовательно, я существую» – философское утверждение Рене Декарта, основополагающий элемент западного рационализма Нового времени) в фундаментальную проблему, ставя под вопрос границы и устойчивость человеческого «Я», когда память, эмоции и само мышление становятся объектами технической модификации и гибридизации, заставляя заново осмыслить саму природу человека в эпоху его возможной инженерной пересборки [9–11]. Развитие нейроинженерии значительно меняет традиционные представления о человеческой идентичности, вызывая вопросы о том, насколько сильно внешние стимулы и технологии могут влиять на наше ощущение собственного «я».

Рассмотрим основные аспекты, через которые идентичность подвергается воздействию.

Нейроинженерные технологии, способные изменять эмоциональные состояния, управлять памятью (усиливая, удаляя или имплантируя ложные воспоминания) и влиять на предпочтения через цифровые интерфейсы, ставят под сомнение традиционные основы человеческой идентичности.

Возможность внешнего контроля над восприятием, памятью и выбором размывает границы личной автономии, заставляя пересматривать понимание самостоятельности, постоянства личности и ответственности за свои поступки, особенно в контексте взаимодействия с цифровыми двойниками и алгоритмами, формирующими наше сознание и поведение.

Таким образом, развитие нейроинженерии усложняет традиционный взгляд на идентичность, заставляя нас задаваться вопросами о свободе воли, автономии и личном контроле над собственной судьбой.

Для дальнейшего изложения существенно, что все перечисленные угрозы имеют общую техническую природу: память, эмоции и мышление становятся объектом модификации лишь постольку, поскольку существуют в форме данных – нейросигналов, которые интерфейс считывает и модулирует. Идентичность, таким образом, оказывается защищенной ровно настолько, насколько защищены ее цифровые репрезентации: утечка или подмена этих данных означает не утрату конфиденциальности в привычном смысле, а вмешательство в само содержание «Я». Этим определяется поворот дальнейшего изложения: защита ментальных данных рассматривается в настоящей статье не как частная задача информационной безопасности, а как техническая форма защиты личной идентичности.

Применения исследований нейроинженерии: нейросети, нейропротезы, нейроинтерфейсы

Нейропротезы нового поколения используют нейросети для расшифровки нервных сигналов и точного управления функциями. Искусственный интеллект в сенсорных протезах подобно кохлеарным имплантам преобразует звуковые паттерны в понятные нервной системе сигналы. Моторные протезы с ИИ-алгоритмами анализируют сигналы пересаженных нервов, обеспечивая естественное движение искусственных конечностей. Нейросети в умных протезах интерпретируют данные с кожных электродов, адаптируясь к индивидуальным особенностям пользователя. В системах FES (Functional Electrical Stimulation – это функциональная электрическая стимуляция, неинвазивный метод реабилитации, при котором с помощью пар электродов, размещенных на коже над мышцами, подаются электрические импульсы; импульсы вызывают сокращение мышц, помогая восстановить двигательные функции, например, после травмы спинного мозга [15]) машинное обучение оптимизирует стимуляцию для восстановления сложных двигательных паттернов, делая реабилитацию персонализированной и эффективной [12–14]. Один из важнейших методов нейроинженерии – это нейронные сети – теоретические и вычислительные модели, которые помогают анализировать работу нейронных систем и разрабатывать нейротехнологические устройства [15].

Ключевым драйвером современной нейроинженерии являются нейроинтерфейсы, чье развитие невозможно без нейросетей как интеллектуальных агентов. Именно нейросети, выступая в роли «мозга» самих интерфейсов, обеспечивают расшифровку нейронных сигналов, адаптивное управление стимуляцией и прогнозирование реакций нервной системы. Все остальные компоненты – микроэлектродные матрицы, оптические системы, биосовместимые материалы – служат лишь физической платформой для реализации интеллектуальных решений, принимаемых нейросетевыми алгоритмами. Даже передовые методы вроде оптогенетики значимы лишь постольку, поскольку создают данные для тренировки этих алгоритмов. Таким образом, современный нейроинтерфейс представляет собой симбиоз аппаратной части и нейросетевого интеллекта, где искусственные нейросети становятся необходимым посредником между человеческим мозгом и внешними устройствами [16–18].

Нейроинтерфейс

В рамках постнеклассической рациональности понятие «интерфейса» приобретает важное значение, поскольку оно связано с новыми подходами к пониманию взаимоотношений между наукой, технологией и обществом. Термин «интерфейс» изначально возник в информатике и

обозначал границу между различными системами или компонентами, обеспечивающими обмен информацией и совместную работу. Однако в философии науки интерфейс стал использоваться шире, символизируя зоны пересечения и взаимодействия различных уровней познания и практических приложений.

Интерфейс играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития науки и технологий. Он обеспечивает гибкость и адаптивность научного процесса, позволяет оперативно реагировать на изменения внешней среды и корректировать стратегию исследований. Благодаря интерфейсу возможны конструктивные дискуссии и сотрудничество, направленные на решение глобальных проблем, таких как экология, здравоохранение, энергетическая безопасность.

Новые функции интерфейса в постнеклассической науке

1. Обеспечение диалога. Современный интерфейс становится зоной активного взаимодействия участников, включая ученых, инженеров, представителей бизнеса и гражданского общества. Диалог становится важным элементом выработки решений и согласования позиций.

2. Интеграция знаний. Интерфейс теперь выступает инструментом соединения различных дисциплин и подходов, обеспечивая синтез знаний и создание инновационных решений.

3. Социальная активность. Интерфейс используется для привлечения внимания общественности к актуальным проблемам и вовлечения граждан в принятие важных решений.

4. Адекватность ситуации. Важно учитывать разнообразие ситуаций и требований, возникающих в конкретных обстоятельствах. Интерфейс должен обладать способностью адаптации к различным условиям и потребностям пользователей.

Роль посредника между учеными, дисциплинами, технологиями и обществом кардинально преобразилась. Информационные технологии, методология междисциплинарности, этические нормы – все это выполняет функции современного «интерфейса» в постнеклассической науке, превращая его из пассивного канала передачи информации в активную, адаптивную и социально-вовлеченную среду для выработки инновационных решений. Таким образом, в постнеклассической науке интерфейс превращается из простого механизма передачи информации в активный элемент, играющий ключевую роль в формировании и реализации инновационных решений [19, 20].

Нейроинтерфейс как зеркало и поводок для нашей психики

Нейроинтерфейс, технология прямого диалога между мозгом и внешними системами, раскрывает свою суть в зависимости от той психологической функции, которую мы ей отведем. В одном сценарии он становится мощным катализатором самопознания – своего рода «цифровым зеркалом», позволяющим наблюдать и сознательно управлять внутренним миром: обнаруживать следы старых травм, трансформировать автоматические сценарии поведения и усиливать рациональное, осознанное начало, выступая инструментом личной автономии и ответственности. Однако у этой медали есть и обратная, тревожная сторона: та же технология, будучи направленной на навязывание норм, коррекцию эмоций или подмену внутренних импульсов внешними алгоритмами, рискует превратиться из зеркала в «цифровой поводок». В этом случае она становится источником тотального контроля, подавляя спонтанность и подлинность, размывая границу между собственными мыслями и навязанными установками. Таким образом, главный вызов заключается не в самой технологии, а в том, как мы ею распорядимся: станет ли она инструментом для обретения большей свободы и целостности или же, напротив, устройством, лишающим нас права на искреннюю эмоциональную выразительность и свободный выбор во взаимодействии с миром и самими собой [21–24].

«Цифровое зеркало» (рефлексивная обратная связь без вмешательства) и «цифровой поводок» (алгоритмическая модификация поведенческих паттернов). «Зеркало» – это пассивная обратная связь (нейрофидбек), «поводок» – активная нейромодуляция и алгоритмическое

управление поведением. Например: «Цифровое зеркало (пассивные считывающие BCI-системы)» и «Цифровой поводок (замкнутые системы стимуляции / closed-loop BCI)».

Риск превращения интерфейса в «поводок» особенно высок при отсутствии процедур **согласования целей и представлений между дисциплинами** – так называемой **ИРС-согласованности**. С формальной точки зрения ИРС-согласованность является частным случаем задачи преодоления (bridging) семантического разрыва между системами представления дисциплинарных доменов [55]. Онтологическое моделирование, продемонстрировавшее эффективность сокращения таких разрывов при проектировании автоматизированных систем [56], в БНРТ развивается до уровня интеррепрезентативных сетей – согласования не только понятий, но и целеполагания участников коллаборативного проектирования [44, 46, 59]. В наших предшествующих работах по БНРТ [44, 46] показано, что даже при технически безупречной реализации отсутствие **познавательно-целевого моделирования** и **коллективного построения параметров порядка** приводит к нарушению репрезентативности VR-визуализации и к неадекватным управляющим решениям. Тем самым этическая устойчивость БИНКИ напрямую зависит от методологической строгости при проектировании.

Практическое применение ИРС-согласованности в проектировании БИНКИ может быть организовано как последовательность проверяемых шагов. На первом шаге каждая дисциплина-участник (нейрофизиология, биоинженерия, информатика, право) формулирует репрезентацию своей предметной области и явный перечень базовых конструктов – например, «автономия», «сигнал», «данные», «субъект». На втором шаге строятся междоменные соответствия: для каждого конструкта фиксируются его интерпретации в смежных доменах и точки потенциального конфликта значений. На третьем шаге выявленные конфликты согласуются: термин, значения которого расходятся (как «автономия» в нейрофизиологическом и правовом доменах), либо получает уточнение, либо исключается из общего словаря проекта. На четвертом шаге согласованность проверяется повторно и фиксируется как атрибут проектной документации, сопровождаемый на всех последующих этапах – вплоть до спецификации аппаратных модулей, где, как показано выше, семантические сдвиги уже недопустимы. Такую процедуру в БНРТ обеспечивают интеррепрезентативные сети: коллективно развиваемый словарь конструктов и правила их переопределения [43–46].

Каковы возможные социальные последствия и риски широкого внедрения нейроинтерфейсов?

Нейроинтерфейс представляет собой революционную технологию, которая буквально стирает границы между человеком и машиной, напрямую подключаясь к нервной системе и встраиваясь в фундаментальные процессы мышления, восприятия и волеизъявления. Этот технологический прорыв не только выступает посредником в нашем взаимодействии с цифровыми устройствами, но и потенциально способен изменить саму природу межличностной коммуникации, позволяя передавать мысли и эмоции напрямую. Уникальная особенность нейроинтерфейса заключается в его способности к беспрецедентному мониторингу внутреннего мира человека: он фиксирует не только осознанные намерения и эмоции, но и подсознательные реакции, создавая детальный цифровой профиль личности, порой более точный, чем собственное самовосприятие человека. Действуя как продолжение нашего «я», нейроинтерфейс может не только усиливать когнитивные и моторные функции, но и в перспективе способен влиять на принятие решений и даже формирование желаний, что делает его поистине «интимной технологией», размывающей традиционные границы между субъектом и инструментом, свободой и контролем. Широкое внедрение нейроинтерфейсов способно оказать глубокое влияние на общество, меняя повседневную жизнь и создавая новые возможности и вызовы.

Массовое внедрение нейроинтерфейсов, становящихся прямым каналом связи между мозгом и внешними системами, способно перестроить архитектуру общества, предлагая одновременно новые формы свободы и новые механизмы контроля. С одной стороны, эта технология открывает горизонты гуманизации, возвращая утраченные функции инвалидам и создавая принципиально новые инструменты для образования, творчества и высокоточного труда, что превращает ее в мощный инструмент личной автономии. С другой – она же порождает фундаментальные риски: превращаясь в «цифровое продолжение» нашей нервной системы, нейроинтерфейс может стать инструментом тотального наблюдения и манипуляции сознанием, усугубляя социальное неравенство и ставя под вопрос саму возможность независимого мышления и приватности внутреннего мира. Таким образом, на наших глазах формируется новый этический и социальный рубеж, где технология, потенциально усиливающая человеческую свободу, рискует обернуться ее предельным ограничением, что требует от общества выработки сложного баланса между инновационным прогрессом и сохранением человеческой идентичности.

Эпоха «интимных технологий»: «Интернет тела» (IoB)

Мы живем в переломный момент, когда быстро уменьшается расстояние между технологиями и нами самими. Мы впускаем их внутрь себя (новые типы протезирования, искусственные органы, средства, позволяющие контролировать жизнедеятельность организма). Мы помещаем их между нами (современные средства коммуникации). В результате технологии получают все больше знаний о нас (мониторинг, накопление беспрецедентных объемов информации о людях) и даже могут действовать совсем как мы, подражая каким-то чертам нашего поведения (киборги, роботы, компьютерные программы и т. д.). Человек и машина обретают способность все больше перемешиваться между собой, так что едва ли будет метафорой выражение, что мы становимся все более интимными в отношении технологий. Появляется даже термин «интимные технологии», который частично включает традиционную семантику интимных отношений, но одновременно указывает на погружение искусственных систем во внутренний мир человека [25].

Нейроинтерфейс – это, пожалуй, самый яркий пример того, как технологии перестают быть внешними инструментами и проникают в саму суть человеческого «я»: сегодня он заменяет или усиливает когнитивные и моторные функции, завтра, возможно, начнет формировать желания и принимать решения за нас. Именно поэтому нейроинтерфейс – не просто устройство, а архетип так называемой «интимной технологии», о которой писали Тищенко и Юдин [3]: он стирает грань между внутренним и внешним, между свободой и контролем, превращая машину в продолжение сознания. Конкретные риски такого доступа к внутреннему миру рассмотрены ниже в разделе о приватности ментальных данных.

Нейроинтерфейсы, обеспечивая прямой доступ к активности мозга, создают беспрецедентные риски для приватности ментальных данных. В отличие от обычных цифровых устройств они получают доступ не к тому, что человек делает или говорит, а к тому, что он думает и чувствует: фиксируются не только осознанные намерения и эмоции, но и подсознательные реакции, скрытые желания и даже воспоминания, на основе которых формируется детальный цифровой профиль личности – порой более точный, чем самовосприятие самого человека. Эти данные становятся потенциальным объектом сбора, анализа и коммерческой монетизации – от таргетированной рекламы до манипуляции поведением; отдельный класс угроз составляют хакерские атаки, способные не только считывать, но и подменять мысленные команды и вмешиваться в когнитивные процессы. Наконец, существует риск использования нейроинтерфейсов для тотального контроля над личностью со стороны как корпораций, так и государства – угрозы, затрагивающей фундаментальные права человека и демократические институты [26, 27].

ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ НЕЙРОИНТЕРФЕЙСОВ

Как защитить личные мысли от считывания через нейроинтерфейс?

Приватность внутреннего мира – не абстрактный этический сюжет, а инженерная задача: охарактеризованные выше риски считывания и подмены ментальных данных требуют конкретных технических контрмер. Именно им посвящен настоящий раздел.

В эпоху стремительного развития нейроинженерии защита личных мыслей от несанкционированного доступа через нейроинтерфейсы становится критически важной задачей, требующей комплексного подхода. Современные технологии предлагают несколько эффективных методов обеспечения информационной безопасности: от продвинутого шифрования нейросигналов до биометрической аутентификации по уникальным физиологическим признакам пользователя. Дополнительную защиту обеспечивают физическая изоляция оборудования от внешних сетей и установка специальных защитных экранов, блокирующих проникновение посторонних сигналов. Примечательно, что важную роль в системе безопасности играют и поведенческие факторы – регулярные тренировки самоконтроля и концентрации помогают пользователям своевременно выявлять попытки несанкционированного доступа к их мыслям. Сочетание этих технических и психологических методов создает многоуровневую систему защиты, способную существенно снизить риски утечки личной информации и обеспечить безопасное использование нейроинтерфейсов в будущем [26, 27].

Технические методы и аппаратные средства защиты нейроинтерфейсов

В контексте защиты нейроинтерфейсов как систем, обрабатывающих прямые нейронные сигналы (моторные команды, паттерны активности мозга), применяется многоуровневый технический арсенал. Базовым уровнем является сквозное шифрование передаваемых данных с использованием алгоритмов постквантовой криптографии. Контроль доступа реализуется через строгую многофакторную аутентификацию, интегрирующую биометрические параметры, такие как ЭЭГ-паттерны или ритмы сердца. Для предотвращения несанкционированного вмешательства используются аппаратные доверенные исполняющие среды (TEE, Trusted Execution Environment – это защищенные области внутри процессора, которые обеспечивают изолированное выполнение кода и безопасное хранение конфиденциальных данных) и защищенные микроконтроллеры, изолирующие критические операции. Мониторинг кибербезопасности обеспечивается системами анализа сетевого трафика в реальном времени для детектирования аномалий, в то время как модульная архитектура с изолированными функциональными блоками позволяет локализовать угрозы и сохранять работоспособность. Проактивная защита дополняется механизмами автоматического отключения при физическом вскрытии корпуса и регулярным тестированием уязвимостей интерфейса «мозг-компьютер», что в совокупности направлено на обеспечение целостности и конфиденциальности нейроцифровых каналов [28–32].

Аппаратная защита нейроинтерфейсов формируется как многоуровневая техническая архитектура, где каждый компонент решает строго определенную задачу по обеспечению физической целостности устройства и конфиденциальности нейроданных [33–38]. Первый рубеж защиты создают противовзломные корпуса из титановых сплавов и композитных материалов, инженерно рассчитанные на сопротивление физическому воздействию. Внутри корпуса ключевую роль играют криптографические процессоры с аппаратной поддержкой шифрования, которые обрабатывают нейросигналы в изолированных доверенных средах исполнения, направленных на исключение несанкционированного доступа к дан-

ным на уровне микроархитектуры. Система дополняется тампер-чувствительными сенсорами, детектирующими механические воздействия и температурные аномалии, которые инициируют протоколы аварийного отключения при попытках вскрытия. Для блокировки электромагнитного перехвата применяются экранирующие оболочки, реализующие принцип клетки Фарадея и подавляющие паразитные излучения. Архитектура включает энергонезависимые модули памяти с автономным питанием, сохраняющие целостность данных при сбоях электропитания, и схему аппаратной активации, требующую предъявления физического токена для инициализации интерфейса. В совокупности эти решения образуют эшелонированную систему, где защитные механизмы действуют согласованно – от пассивного физического экранирования до активного противодействия попыткам компрометации на аппаратном уровне [36–37].

Помимо физической и криптографической защиты, критически важна **инфологическая устойчивость** системы – ее способность сохранять согласованность онтологий и целеполагания при изменении состава исполнителей или поступлении новых данных. Если классическая кибербезопасность защищает от искажения битов, то инфологическая устойчивость защищает от искажения смыслов (онтологий) внутри ИРС. В рамках БНРТ нами предложено решение этой задачи – **теоретико-категорная формализация ИРС** [66–68], в которой репрезентации и переходы между ними моделируются как **объекты и морфизмы в категории**, а согласованность – через **естественные преобразования** [46, 52, 69, 70]. Такой подход предлагается как инструмент формальной проверки устойчивости к «семантическим атакам» (semantic attack [57] – скрытое манипулирование решениями и поведением адресата путем преднамеренного внедрения ложной информации [58]), например, подмене термина «автономия» на «управляемость» в одном из дисциплинарных доменов. Тем самым семантическая атака определяется как преднамеренная эксплуатация семантического разрыва между системами представления, а условие существования естественных преобразований между категорными моделями доменов – как формальный критерий его устранения.

Практическая ценность формализации состоит в том, что она превращает согласованность из методологического идеала в проверяемый артефакт проектирования. В терминах категорной модели процедура применения сводится к трем операциям: (1) построение категорной модели каждого дисциплинарного домена – списка конструктов-объектов и допустимых интерпретаций-морфизмов; (2) проверка существования естественного преобразования между моделями смежных доменов – если преобразование не строится, конфликт значений обнаруживается формально, до этапа реализации; (3) повторный прогон проверки при каждом изменении состава участников или словаря проекта, что делает устойчивость к семантическим атакам регламентируемым свойством, а не единовременным результатом экспертизы [46, 52].

Криптопроцессоры в нейроинтерфейсах

В архитектуре нейроинтерфейса криптопроцессор формирует доверенную среду выполнения: критические операции обрабатываются изолированно, аппаратная реализация операций защищает от атак по времени и потреблению, а при обнаружении физического вмешательства активируется протокол аварийного обнуления памяти. Физическая защита корпуса (тампер-резистентное исполнение, экранирование) описана выше в составе аппаратного контура безопасности. На уровне криптопроцессора аппаратно поддерживается асимметричная криптография на эллиптических кривых для установления сеансовых ключей, тогда как сквозное шифрование трафика выполняется поверх этих ключей постквантовыми алгоритмами. Аппаратная генерация ключей через генераторы истинно случайных чисел

повышает криптостойкость системы даже при программных компрометациях; аутентификация по биометрическим паттернам ЭЭГ проводится без передачи идентификационных данных по открытым каналам; непрерывный контроль целостности осуществляется вычислением хеш-сумм нейросигналов с автоматической активацией протоколов изоляции при аномалиях; дифференциация прав доступа реализуется иерархической моделью привилегий на основе аттестации аппаратных модулей. В совокупности криптопроцессоры образуют единый центр управления безопасностью нейроинтерфейса, замыкающий методологический контур семантической безопасности на аппаратный и обеспечивающий защиту нейроданных на физическом уровне [40–43].

Заключение

Проведенный анализ показывает: биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы как архетип «интимных технологий» требуют выхода за пределы редукционизма. Такую рамку дает постнеклассическая рациональность, учитывающая социальный контекст, ценности и междисциплинарность. Показано, что «проблема постановки проблемы», понимаемая как совокупность семантических разрывов между дисциплинарными системами представления, преодолевается инструментами развиваемой нами концепции БНРТ – интеррепрезентативными сетями и их теоретико-категорной формализацией. Амбивалентность нейроинтерфейса («цифровое зеркало» либо «цифровой поводок») – не свойство самой технологии: выбор между самопознанием и контролем определяется строгостью проектирования. Систематизация аппаратно-криптографических методов защиты показывает, что приватность ментальных данных и основанная на ней идентичность достижимы инженерными средствами. Перспективы – формализация модели угроз БИНКИ и эмпирическая валидация ИРС-согласованности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стёпин В. С.* Научное познание и ценности техногенной цивилизации // Вопросы философии. 1989. № 10. С. 3–18.

2. *Гладков А. В.* Биомедицинская инженерия и биомеханика. Курс лекций: учеб. пособие. Новосибирск: НТГУ, 2023.

3. *Тищенко П. Д., Юдин Б. Г.* Биоэтический анализ конвергентных технологий «улучшения» человека // Рабочие тетради по биоэтике. Вып. 20: Гуманитарный анализ биотехнологических проектов «улучшения» человека / под ред. П. Д. Тищенко. М.: Издательство Московского гуманитарного университета, 2015. С. 9–20. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20732593

4. *Шеллинг Ф. В. Й.* О мировой душе. Сочинения: в 2 т. Т. 1. М.: Мысль, 1987. (Философское наследие; т. 102). С. 89–181.

5. *Кулделл Н., Бернштейн Р., Ингрэм К., Харт К. М.* На пути к синтетической биологии: пер. с англ. Н. В. Паршиковой / под ред. И. А. Сенникова. М.: ДМК Пресс, 2019. 250 с. ISBN: 978-5-97060-668-1

6. *Онищенко Г. Г., Кутырёв В. В., Одиноков Г. Н., Сафронов В. А.* Синтетическая биология: риски и перспективы // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. № 3. С. 5–10. DOI: 10.21055/0370-1069-2014-3-5-10.

7. *Брюховецкий А. С., Шурдов М. А.* Нейроинженерия и нейротехнологии. М.: НейроВита, 2022.

8. *Bonato P., Reinkensmeyer D., Manto M.* Two decades of breakthroughs: defining the future of neuroengineering and rehabilitation // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2025. Vol. 22. No. 59. DOI: 10.1186/s12984-025-01580-5

9. *Морозов М. Ю.* Тело, которое мыслит: Б. Спиноза против современной философии // Spinoza: интернет-журнал. 2020. С. 180–184. EDN: 44774521

10. *Козырева О. А.* Субстанциальный дуализм и приватность ментального в философии Р. Декарта: критика поверхностной интерпретации // Вестник Томского государственного университета. 2020. № 452. С. 79–87.

11. *Деннет Д.* Сладкие грезы: чем философия мешает науке о сознании. М.: URSS, 2017. 304 с.

12. *Кравченко С. В., Каде А. Х., Трофименко А. И. и др.* Когнитивное нейропротезирование – путь от эксперимента к клиническому применению // Инновационная медицина Кубани. 2021. № 3. С. 64–72. DOI: 10.35401/2500-0268-2021-23-3-64-72

13. *Задорожная Е. А., Мороз К. А.* Применение нейросетей в медицине // Молодой исследователь Дона. 2024. Т. 9. № 2. С. 10–12.

14. *Мухортов А. А., Усюкин Н. А.* Модель программного интерфейса для использования в нейронном протезе конечности прямого подключения // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2025. № 1. С. 81–96.

15. *Гребенкина Н. В., Скворцов Д. В., Климов Л. В.* Метод функциональной электрической стимуляции: рекомендуемые параметры применения // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6. №. 3. С. 263–279.

16. *Лунев Д. В., Полетыкин С. К., Кудрявцев Д. О.* Нейроинтерфейсы: обзор технологий и современные решения // Современные инновации, системы и технологии. 2022. № 2(3). С. 117–120.

17. *Зуев А. С., Исаев Р. А.* Нейроинтерфейсы – новый инструментарий человеко-компьютерного взаимодействия // Наукоемкие технологии. 2022. Т. 23. № 2. С. 70–82.

18. *Павлов А. Н., Храмов А. Е.* Нейроинтерфейс: как и зачем // Химия и жизнь – XXI век. 2019. № 12. С. 14–18.

19. *Drotianko L., Abysova M., Chenbai N., Shorina T.* Post-non-classical science in the age of informatization of society: functional aspect // E3S Web of Conferences: Key Trends in Transportation Innovation (KTTI 2019): Khabarovsk, 24–26 October 2019. Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. Vol. 157. Art. 04003. DOI: 10.1051/e3sconf/202015704003

20. *Анисимова С. Ю., Борисова Т. В.* «Борисовские чтения» III Всероссийской конференции с международным участием «Постнеклассическая наука и новые общественные вызовы» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Исторические науки. 2023. Т. 5. № 4(20). С. 169–172. EDN: FJQZTM

21. *May J.* Neuroethics: Agency in the Age of Brain Science. Oxford: Oxford University Press, 2023.

22. *Шаухалова З. Д.* Нейроинтерфейсы: погружение в будущее мозга и технологии. М.: ЛитРес, 2024. URL: https://www.litres.ru/zarina-shauhalova/neyrointerfeysy-pogrujenie-v-budushchee-mozga-i-tehnologii/

23. *Дементьев А. С., Ермолаева В. В.* Человек как третья составляющая вычислительной системы компьютера // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 68-1. С. 17–19.

24. *Шендерюк-Жидков А. В., Храмов А. Е.* Согласование этики и технологий: построение ответственного будущего нейротехнологий и искусственного интеллекта // Социология науки и технологий. 2025. Т. 16. № 4. С. 138–154.

25. *Корнехо Я.* Нейроправа, нейротехнологии и персональные данные: обзор проблем психологической автономии // Journal of Digital Technologies and Law. 2024. Т. 2. № 3. С. 711–728.

26. *Филипова И. А.* Искусственный интеллект и нейротехнологии: потребности в конституционно-правовом регулировании // Lex Russica (Русский закон). 2021. Т. 74. № 9(178). С. 119–130. DOI: 10.17803/1729-5920.2021.178.9.119-130

27. *Аванесов С. С., Горбачева А. Г., Зайкова А. С. и др.* Человек и новый технологический уклад: антропологический форсайт. Новосибирск: ООО «Офсет-ТМ», 2023. 496 с. ISBN: 978-5-85957-210-6

28. О внесении изменений в перечень научных исследований и опытно-конструкторских разработок… : Постановление Правительства РФ от 18 февр. 2022 г. № 207 // Экономика железных дорог. 2022. № 3. С. 93–111.

29. *Луценко Е. В., Головин Н. С.* Революция начала XXI века в искусственном интеллекте: глубинные механизмы и перспективы. 2-е изд., доп. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, 2024. 497 с. DOI: 10.13140/RG.2.2.17056.56321

30. *Данилин И. В.* Технологии и контуры безопасности будущего // Вызов 2035: сборник / под общей редакцией ОАО «РВК». Москва: Олимп-Бизнес, 2016. С. 119–137. ISBN 978-5-9693-0348-5

31. *Харисова З. И.* Генезис преступности в сфере компьютерной информации и ее детерминанты // Общество, право, государственность: ретроспектива и перспектива. 2025. № 1(21). С. 57–65.

32. *Сухов А. В., Скиба В. А., Иванов И. В.* Концепция когнитивной адаптации эргасистемы в задаче оптимизации управленческих решений по физической защите объектов инфраструктуры // Правовая информатика. 2024. № 4. С. 32–41. DOI: 10.24412/1994-1404-2024-4-32-41

33. *Пучков Д. В.* Условия формирования эффективной политики противодействия преступности в сфере использования кибертехнологий // Общество и право. 2020. № 2(72). С. 72–77.

34. *Хохлов А. Л., Белоусов Д. Ю.* Этические аспекты использования медицинских изделий с технологией Интернета тела // Качественная клиническая практика. 2021. № 2. С. 89–102. DOI: 10.37489/2588-0519-2021-2-89-98

35. *Журавлев Д. В., Проводников А. А.* Использование шестнадцатиканального комплекса регистрации электроэнцефалограммы для выявления различных изменений электрической активности головного мозга с целью их дальнейшей интерпретации // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17. № 5. С. 70–78. DOI: 10.36622/VSTU.2021.15.5.010

36. *Клюшников В. Ю., Родькина С. А.* Робот-аватар – средство телеприсутствия человека в космосе // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 1(102). С. 60–69. DOI: 10.30981/2587-7992-2020-102-1-60-69

37. *Иванов А. Д., Тычков А. Ю., Чернышов Д. С.* Программное обеспечение для мониторинга электрической активности головного мозга в условиях погружения в виртуальную реальность // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2024. Т. 16. № 2(62). С. 14–21.

38. *Panich G., Basmer T., Schrape O., Peter S.* Sensor Node Processor for Security Applications // 2011 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS 2011): [сб. тр. конф.], Beirut, Lebanon, 11–14 Dec. 2011. Piscataway: IEEE, 2011. DOI: 10.1109/ICECS.2011.6122219

39. *Зобнина О. А., Каменских А. Н., Королев Г. К., Тюрин С. Ф.* Разработка элементов криптопроцессора с использованием отечественной САПР «Ковчег» // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2019. № 2(45). С. 60–66. DOI: 10.17072/1993-0550-2019-2-60-66.

40. *Зобнина О. А., Каменских А. Н., Тюрин С. Ф.* Исследование методов повышения защищенности средств доверенной загрузки на объектах информатизации с помощью

модернизации криптографических устройств // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. науч. конф. (Пермь, 09–11 июня 2021 г.). В 2 т. Т. 2. Пермь: ПНИПУ, 2021. С. 333–340.

41. *Ткаченко Н. А., Панков К. Н.* Анализ угроз и требований к алгоритмам низкоресурсного шифрования для RFID-меток // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2025. Т. 15. № 2. С. 26–33.

42. Cryptographic Engineering / ed. by Ç. K. Koç. New York: Springer Science & Business Media, 2008. XXII, 522 p. ISBN 978-0-387-71816-3

43. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., Нагоев З. В.* Бионаноробототехника: концептуализация, проблематика и задачи исследований // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 6(74). С. 11–17. EDN: XRUYRN

44. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., Загазежева О. З.* Интеррепрезентативные сети (ИРС) и репрезентативность VR визуализации наноструктур и процессов в наносреде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4(72). С. 5–9. EDN: WKDXXD

45. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Актуальные методологические проблемы междисциплинарных исследований в области бионаноробототехники // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 6(92). С. 10–20. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-6-92-10-20

46. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Проблема разработки теоретических основ проектирования и прототипирования устройств и систем бионаноробототехники в киберфизических системах и средах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-28-38

47. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Информационный сервис для системы поддержки принятия решений в процессе проектирования устройств бионаноробототехники // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 6-2(80). С. 9–12. EDN: YWNDNP

48. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Поиск методов и исследование возможностей применения современных технологий виртуального прототипирования и конструирования биоинженерных систем при проектировании бионаноустройств и систем бионаноробототехники // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6(98). С. 34–42. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-34-42

49. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Каталитические самоходные нанодвижители как основа элементной базы для проектирования наномехатронных устройств и систем для бионаномашин в бионаноробототехнике // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2(86). С. 149–156. EDN: YZKELR

50. *Абуталипов Р. Н.* Возможность применения биогенных нанокристаллов для бионаномашин в бионаноробототехнике на примере магнитосомы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 6-2(86). С. 5–9. EDN: YZKEEH

51. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Поиск, исследование и развитие технологий бионаноробототехники для устойчивого развития горных территорий в эпоху шестого технологического уклада // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 447–457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457

52. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У., Чернышев Г. В.* Поиск теоретических подходов для исследования киберфизических систем и сред с интеллектуальным управлением // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 26–44. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-26-44

53. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы: вводный обзор технологий, клинических применений и этико-правовых вызовов //

Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 125–142. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-125-142

54. *Musk E.* An Integrated Brain-Machine Interface Platform With Thousands of Channels. Neuralink // Journal of Medical Internet Research. 2019. Vol. 21. No. 10. P. e16194. DOI: 10.2196/16194

55. *Hein A.M.* Identification and Bridging of Semantic Gaps in the Context of Multi-Domain Engineering // Abstracts of the 2010 Forum on Philosophy, Engineering & Technology. Colorado: Colorado School of Mines, 2010. Pp. 57–58.

56. *Куликова А. А.* Методы и средства формирования и использования онтологий проектов в процессе проектирования автоматизированных систем: специальность 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (по отраслям)»: дисс. … канд. техн. наук. 2022. 207 с. EDN: JYNPB

57. *Libicki M.C.* What is information warfare? Center for advanced concepts and technology, Institute for national strategic studies, National Defense University. Washington, DC: The Center for Advanced Concepts and Technology, 1995. 104 p.: tables. (ACT Command Concepts and Technology).

58. *Ren Y. et al.* Semantic shilling attack against heterogeneous information network based recommend systems // IEICE Transactions on Information and Systems. 2022. Т. 105. № 2. С. 289–299.

59. *Haken H.* Synergetics, inter-representation networks and cognitive maps // The Construction of Cognitive Maps / ed. by J. Portugali. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. Pp. 45–67. (GeoJournal Library. Vol. 32). DOI: 10.1007/978-94-015-8686-3_6

60. *Portugali J.* SIRN – synergetic inter-representation networks // Complexity, Cognition and the City. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. Pp. 155–174. (Understanding Complex Systems). DOI: 10.1007/978-3-642-19451-1_7

61. *Portugali J.* The seven basic propositions of SIRN (Synergetic Inter-Representation Networks) // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2002. Vol. 5. No. 4. Pp. 428–444. URL: http://www.j-npcs.org/online/vol2002/v5no4/v5no4p428.pdf

62. *Haken H.*, *Portugali J.* The face of the city is its information // Journal of Environmental Psychology. 2003. Vol. 23. No. 4. Pp. 385–408. DOI: 10.1016/S0272-4944(03)00003-3

63. *Portugali J., Casakin H.* SIRN (Synergetic Inter-Representation Networks): an approach to design, in Durling, D. and Shackleton, J. (eds.), Common Ground – DRS International Conference 2002, 5–7 September, London, United Kingdom. DOI: 10.21606/drs.2002.62

64. *Portugali J.* SIRN – Synergetic inter-representation networks: an approach to urban planning and design with implications to visual reasoning and design creativity // Studying Visual and Spatial Reasoning for Design Creativity / ed. by J. S. Gero. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. Pp. 129–152. DOI: 10.1007/978-94-017-9297-4_8

65. *Portugali J.* Self-organized integration vs. self-organized disintegration: an unfinished study // Frontiers in Network Physiology. 2025. Vol. 5. Art. 1662127. DOI: 10.3389/fnetp.2025.1662127

66. *Чернышев Г. В*. Вопросы типизации иерархических информационных структур // Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики: Материалы VI Международной научной конференции, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 05–09 декабря 2021 года. ИПМА КБНЦ РАН. Нальчик: Издательская типография «Принт Центр», 2021. С. 200. EDN: HYOXOD

67. *Чернышев Г. В.* К функториальной характеризации иерархических структур // Актуальные проблемы прикладной математики: Материалы IV Международной научной конференции, Нальчик – Эльбрус, 22–26 мая 2018 года. С. 272. EDN: YLQKUP

68. *Жожикашвили А. В.* Теоретико-категорная формализация продукционных систем представления знаний: доклад // Конструктивное знание-3: формализация теорий: воркшоп, 12 мая 2017 г. М.: Институт философии РАН, 2017. 1 с. URL: http://philomatica.org/wp-content/uploads/2017/04/zhozhikashvili_abs.pdf

69. *Парасюк И. Н., Ершов С. В.* Теоретико-категорная формализация при проектировании нечетких интеллектуальных систем // Кибернетика и системный анализ. 2009. Т. 45. № 6. С. 149–154.

70. *Грибовская Н. С., Вирбицкайте И. Б.* Теоретико-категорная характеризация семантик систем переходов первичных структур событий с отменяемыми событиями при сохранении причинной зависимости // Системная информатика, 2025. № 29. С. 55–90. DOI: 10.31144/si.2307-6410.2025.n29.p55-90

71. Трансдисциплинарность в философии и науке: подходы, проблемы, перспективы / под ред. *В. Бажанова, Р. В. Шольца.* М.: Издательский дом «Навигатор», 2015. 564 с.

REFERNCES

1. Stepin V.S. Scientific knowledge and values of technogenic civilization. *Voprosy filosofii*. 1989. No. 10. Pp. 3–18. (In Russian)

2. Gladkov A.V. Biomedical engineering and biomechanics: lecture course: textbook. Novosibirsk: NTGU, 2023. (In Russian)

3. Tishchenko P.D., Yudin B.G. Bioethical analysis of convergent technologies for human “enhancement”. Workbooks on Bioethics. Issue 20: Humanitarian analysis of biotechnological projects for human "enhancement" / ed. by P.D. Tishchenko. Moscow: Publishing House of Moscow University for the Humanities, 2015. Pp. 9–20. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20732593. (In Russian)

4. Schelling F.W.J. On the world soul. Schelling F.W.J. Works: in 2 vols. Vol. 1. Moscow: Mysl, 1987. (Philosophical Heritage; vol. 102). Pp. 89–181. (In Russian)

5. Kuldell N., Bernstein R., Ingram K., Hart K.M. Toward synthetic biology / transl. from Engl. by N.V. Parshikova; ed. by I.A. Sennikov. Moscow: DMK Press, 2019. 250 p. ISBN: 978-5-97060-668-1. (In Russian)

6. Onishchenko G.G., Kutyrev V.V., Odinokov G.N., Safronov V.A. Synthetic biology: risks and prospects. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2014. No. 3. Pp. 5–10. DOI: 10.21055/0370-1069-2014-3-5-10. (In Russian)

7. Bryukhovetsky A.S., Shurdov M.A. Neuroengineering and neurotechnologies. Moscow: NeuroVita, 2022. (In Russian)

8. Bonato P., Reinkensmeyer D., Manto M. Two decades of breakthroughs: defining the future of neuroengineering and rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2025. Vol. 22. No. 59. DOI: 10.1186/s12984-025-01580-5

9. Morozov M.Yu. The body that thinks: B. Spinoza against modern philosophy. *Spinoza: online journal*. 2020. Pp. 180–184. EDN: 44774521. (In Russian)

10. Kozyreva O.A. Substantial dualism and privacy of the mental in R. Descartes' philosophy: a critique of superficial interpretation. *Tomsk State University Bulletin*. 2020. No. 452. Pp. 79–87. (In Russian)

11. Dennett D. Sweet dreams: how philosophy impedes the science of consciousness. Moscow: URSS, 2017. 304 p. (In Russian)

12. Kravchenko S.V., Kade A.Kh., Trofimenko A.I. et al. Cognitive neuroprosthetics – the path from experiment to clinical application. *Innovative Medicine of Kuban*. 2021. No. 3. Pp. 64–72. DOI: 10.35401/2500-0268-2021-23-3-64-72. (In Russian)

13. Zadorozhnaya E.A., Moroz K.A. Application of neural networks in medicine. *Young Researcher of the Don*. 2024. Vol. 9. No. 2. Pp. 10–12. (In Russian)

14. Mukhortov A.A., Usyukin N.A. Model of a software interface for use in a direct-connection neural limb prosthesis. *International Journal of Information Technologies and Energy Efficiency*. 2025. No. 1. Pp. 81–96. (In Russian)

15. Grebenkina N.V., Skvortsov D.V., Klimov L.V. Method of functional electrical stimulation: recommended application parameters. *Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation*. 2024. Vol. 6. No. 3. Pp. 263–279. (In Russian)

16. Lunev D.V., Poletykin S.K., Kudryavtsev D.O. Neurointerfaces: review of technologies and modern solutions. *Modern Innovations, Systems and Technologies*. 2022. No. 2(3). Pp. 117–120. (In Russian)

17. Zuev A.S., Isaev R.A. Neurointerfaces – a new toolkit for human-computer interaction. *High-Tech Technologies*. 2022. Vol. 23. No. 2. Pp. 70–82. (In Russian)

18. Pavlov A.N., Khramov A.E. Neurointerface: how and why. *Chemistry and Life – XXI Century*. 2019. No. 12. Pp. 14–18. (In Russian)

19. Drotianko L., Abysova M., Chenbai N., Shorina T. Post-non-classical science in the age of informatization of society: functional aspect. E3S Web of Conferences: Key Trends in Transportation Innovation (KTTI 2019): [Proceedings], Khabarovsk, 24–26 October 2019. Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. Vol. 157. Art. 04003. DOI: 10.1051/e3sconf/202015704003

20. Anisimova S.Yu., Borisova T.V. "Borisov Readings" III All-Russian Conference with International Participation "Post-Nonclassical Science and New Social Challenges". *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Historical Sciences*. 2023. Vol. 5. No. 4(20). Pp. 169–172. EDN: FJQZTM. (In Russian)

21. May J. Neuroethics: Agency in the Age of Brain Science. Oxford: Oxford University Press, 2023.

22. Shaukhalova Z.D. Neurointerfaces: immersion into the future of the brain and technology. Moscow: LitRes, 2024. URL: https://www.litres.ru/zarina-shauhalova/neyrointerfeysy-pogrujenie-v-budushchee-mozga-i-tehnologii/. (In Russian)

23. Dementiev A.S., Ermolaeva V.V. Man as the third component of a computer's computing system. *Trends in the Development of Science and Education.* 2024. No. 68-1. Pp. 17–19. (In Russian)

24. Shenderyuk-Zhidkov A.V., Khramov A.E. Alignment of ethics and technologies: building a responsible future for neurotechnologies and artificial intelligence. *Sociology of Science and Technology*. 2025. Vol. 16. No. 4. Pp. 138–154. (In Russian)

25. Cornejo Ya. Neuro-rights, neurotechnologies and personal data: a review of the issues of psychological autonomy. *Journal of Digital Technologies and Law*. 2024. Vol. 2. No. 3. Pp. 711–728.

26. Filipova I.A. Artificial intelligence and neurotechnologies: needs for constitutional and legal regulation. *Lex Russica.* 2021. Vol. 74. No. 9. Pp. 119–130. DOI: 10.17803/1729-5920.2021.178.9.119-130. (In Russian)

27. Avanesov S.S., Gorbacheva A.G., Zaykova A.S. et al. Man and the new technological paradigm: anthropological foresight. Novosibirsk: Ofset-TM LLC, 2023. 496 p. ISBN: 978-5-85957-210-6. (In Russian)

28. On introducing amendments to the list of scientific research and development... : Resolution of the Government of the Russian Federation No. 207 of February 18, 2022. *Economics of Railways*. 2022. No. 3. Pp. 93–111. (In Russian)

29. Lutsenko E.V., Golovin N.S. The revolution of the early XXI century in artificial intelligence: deep mechanisms and prospects. 2nd ed., suppl. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2024. 497 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.17056.56321. (In Russian)

30. Danilin I.V. Technologies and contours of the security of the future. *Challenge 2035: collection* / ed. by OAO "RVC". Moscow: Olimp-Biznes, 2016. Pp. 119–137. ISBN 978-5-9693-0348-5. (In Russian)

31. Kharisova Z.I. Genesis of crime in the sphere of computer information and its determinants. *Society, Law, Statehood: Retrospective and Perspective*. 2025. No. 1(21). Pp. 57–65. (In Russian)

32. Sukhov A.V., Skiba V.A., Ivanov I.V. Concept of cognitive adaptation of ergasystem in the problem of optimizing management decisions on physical protection of infrastructure facilities. *Legal Informatics.* 2024. No. 4. Pp. 32–41. DOI: 10.24412/1994-1404-2024-4-32-41. (In Russian)

33. Puchkov D.V. Conditions for forming an effective policy of combating crime in the use of cyber technologies. *Society and Law*. 2020. No. 2(72). Pp. 72–77. (In Russian)

34. Khokhlov A.L., Belousov D.Yu. Ethical aspects of the use of medical devices with Internet of Body technology. *Quality Clinical Practice*. 2021. No. 2. Pp. 89–102. DOI: 10.37489/2588-0519-2021-2-89-98. (In Russian)

35. Zhuravlev D.V., Provodnikov A.A. Use of a sixteen-channel electroencephalogram registration complex to detect various changes in the electrical activity of the brain for their further interpretation. *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2021. Vol. 17. No. 5. Pp. 70–78. DOI: 10.36622/VSTU.2021.15.5.010. (In Russian)

36. Klyushnikov V.Yu., Rodkina S.A. Robot-avatar – a means of human telepresence in space. *Aerospace Sphere*. 2020. No. 1(102). Pp. 60–69. DOI: 10.30981/2587-7992-2020-102-1-60-69. (In Russian)

37. Ivanov A.D., Tychkov A.Yu., Chernyshov D.S. Software for monitoring brain electrical activity in virtual reality immersion. *Bulletin of Kazan State Power Engineering University*. 2024. Vol. 16. No. 2(62). Pp. 14–21. (In Russian)

38. Panich G., Basmer T., Schrape O., Peter S. Sensor Node Processor for Security Applications 2011 IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS 2011): [Proceedings], Beirut, Lebanon, 11–14 Dec. 2011. Piscataway: IEEE, 2011. DOI: 10.1109/ICECS.2011.6122219

39. Zobnina O.A., Kamenskikh A.N., Korolev G.K., Tyurin S.F. Development of crypto-processor elements using the domestic CAD "Ark". *Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Informatics*. 2019. No. 2(45). Pp. 60–66. DOI: 10.17072/1993-0550-2019-2-60-66. (In Russian)

40. Zobnina O.A., Kamenskikh A.N., Tyurin S.F. Study of methods for increasing the security of trusted boot tools at informatization facilities through modernization of cryptographic devices. *Automated Control Systems and Information Technologies: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference* (Perm, June 09–11, 2021). In 2 vols. Vol. 2. Perm: PNRPU, 2021. Pp. 333–340. (In Russian)

41. Tkachenko N.A., Pankov K.N. Analysis of threats and requirements for low-resource encryption algorithms for RFID tags. *DSPA: Issues of Digital Signal Processing Application*. 2025. Vol. 15. No. 2. Pp. 26–33. (In Russian)

42. Cryptographic Engineering / ed. by Ç. K. Koç. New York: Springer Science & Business Media, 2008. XXII. 522 p. ISBN 978-0-387-71816-3

43. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Nagoev Z.V. Bionanorobotics: conceptualization, problems and research tasks. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 6(74). Pp. 11–17. EDN: XRUYRN. (In Russian)

44. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Zagazezheva O.Z. Interrepresentative networks (IRN) and representativeness of VR visualization of nanostructures and processes in nanoenvironment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 4(72). Pp. 5–9. EDN: WKDXXD. (In Russian)

45. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. Current methodological problems of interdisciplinary research in the field of bionanorobotics. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2019. No. 6(92). Pp. 10–20. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-6-92-10-20. (In Russian)

46. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. The problem of developing theoretical foundations for the design and prototyping of bionanorobotic devices and systems in cyberphysical systems and environments. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-28-38. (In Russian)

47. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. Information service for a decision support system in the process of designing bionanorobotic devices. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2017. No. 6-2(80). Pp. 9–12. EDN: YWNDNP. (In Russian)

48. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Search for methods and study of the possibilities of using modern technologies of virtual prototyping and design of bioengineering systems in the design of bionanodevices and bionanorobotic systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2020. No. 6(98). Pp. 34–42. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-34-42. (In Russian)

49. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Catalytic self-propelled nanomotors as the basis of the element base for designing nanomechatronic devices and systems for bionanomachines in bionanorobotics. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2018. No. 6-2(86). Pp. 149–156. EDN: YZKELR. (In Russian)

50. Abutalipov R.N. Possibility of using biogenic nanocrystals for bionanomachines in bionanorobotics by the example of magnetosome. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2018. No. 6-2(86). Pp. 5–9. EDN: YZKEEH. (In Russian)

51. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Search, research and development of bionanorobotics technologies for sustainable development of mountain territories in the era of the sixth technological order. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. Vol. 10. No. 3(37). Pp. 447–457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457. (In Russian)

52. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Chernyshev G.V. Search for theoretical approaches to the study of cyberphysical systems and environments with intelligent control. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 26–44. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-26-44. (In Russian)

53. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Bioengineering neurocomputer interfaces: an introductory review of technologies, clinical applications, and ethical and legal challenges. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 125–142. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-125-142. (In Russian)

54. Musk E. An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels. Neuralink. *Journal of Medical Internet Research*. 2019. Vol. 21. No. 10. P. e16194. DOI: 10.2196/16194

55. Hein A.M. Identification and Bridging of Semantic Gaps in the Context of Multi-Domain Engineering. *Abstracts of the 2010 Forum on Philosophy, Engineering & Technology*. Colorado: Colorado School of Mines, 2010. Pp. 57–58.

56. Kulikova A.A. Methods and tools for the formation and use of project ontologies in the process of designing automated systems: specialty 05.13.12 “Design Automation Systems (by industry)”: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2022. 207 p. EDN: JYNPB. (In Russian)

57. Libicki M.C. What Is Information Warfare? / *Center for Advanced Concepts and Technology, Institute for National Strategic Studies*, National Defense University. Washington, DC: The Center for Advanced Concepts and Technology, 1995. 104 p.: tables. (ACT Command Concepts and Technology). Text: unmediated.

58. Ren Y. et al. Semantic shilling attack against heterogeneous information network based recommend systems. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 2022. Vol. 105. No. 2. C. 289–299.

59. Haken H., Portugali J. Synergetics, Inter-representation networks and cognitive maps. *The Construction of Cognitive Maps* / ed. by J. Portugali. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. Pp. 45–67. (GeoJournal Library. Vol. 32). DOI: 10.1007/978-94-015-8686-3_6.

60. Portugali J. SIRN – Synergetic inter-representation networks. *Complexity, Cognition and the City*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. Pp. 155–174. (Understanding Complex Systems). DOI: 10.1007/978-3-642-19451-1_7

61. Portugali J. The seven basic propositions of SIRN (Synergetic Inter-Representation Networks). *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*. 2002. Vol. 5, No. 4. Pp. 428–444. URL: http://www.j-npcs.org/online/vol2002/v5no4/v5no4p428.pdf

62. Haken H., Portugali J. The face of the city is its information. *Journal of Environmental Psychology*. 2003. Vol. 23. No. 4. Pp. 385–408. DOI: 10.1016/S0272-4944(03)00003-3

63. Portugali J., Casakin H. SIRN (Synergetic Inter-Representation Networks): an approach to design, in Durling, D. and Shackleton, J. (eds.), *Common Ground – DRS International Conference 2002*, 5–7 September, London, United Kingdom. DOI: 10.21606/drs.2002.62

64. Portugali J. SIRN – Synergetic Inter-Representation Networks: an approach to urban planning and design with implications to visual reasoning and design creativity. *Studying Visual and Spatial Reasoning for Design Creativity* / ed. by J.S. Gero. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. Pp. 129–152. DOI: 10.1007/978-94-017-9297-4_8

65. Portugali J. Self-organized integration vs. self-organized disintegration: an unfinished study. *Frontiers in Network Physiology*. 2025. Vol. 5. Art. 1662127. DOI: 10.3389/fnetp.2025.1662127

66. Chernyshev G.V. Issues of typification of hierarchical information structures. *Nonlocal Boundary Value Problems and Related Problems of Mathematical Biology, Informatics and Physics: Proceedings of the VI International Scientific Conference*, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, December 05–09, 2021 / Institute of Applied Mathematics and Automation KBSC of RAS. Nalchik: Print Center, 2021. P. 200. EDN: HYOXOD. (In Russian)

67. Chernyshev G.V. On the functorial characterization of hierarchical structures. *Actual Problems of Applied Mathematics: Proceedings of the IV International Scientific Conference*, Nalchik–Elbrus, May 22–26, 2018. Nalchik–Elbrus: Institute of Applied Mathematics and Automation KBSC of RAS, 2018. P. 272. EDN: YLQKUP. (In Russian)

68. Zhozhikashvili A.V. Category-theoretic formalization of production systems of knowledge representation: report. *Constructive Knowledge-3: Formalization of Theories: workshop*, May 12, 2017. Moscow: Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences, 2017. 1 p. URL: http://philomatica.org/wp-content/uploads/2017/04/zhozhikashvili_abs.pdf. (In Russian)

69. Parasyuk I.N., Ershov S.V. Category-theoretic formalization in the design of fuzzy intelligent systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2009. Vol. 45, No. 6. Pp. 149–154. (In Russian)

70. Gribovskaya N.S., Virbitskaite I.B. Category-theoretic characterization of transition system semantics for prime event structures with cancellable events under preservation of causal dependence. *System Informatics*. 2025. No. 29. Pp. 55–90. DOI: 10.31144/si.2307-6410.2025.n29.p55-90. (In Russian)

71. *Transdistsiplinarnost' v filosofii i nauke: podkhody, problemy, perspektivy* [Transdisciplinarity in Philosophy and Science: Approaches, Problems, Prospects] / edited by V. Bazhanov, R.W. Scholz. Moscow: Navigator Publishing House, 2015. 564 p. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения темы НИР «Методы и модели коллаборативного проектирования и прототипирования биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов» (№ 125032604432-6).

Funding. This article was prepared as part of the research project “Methods and Models for Collaborative Design and Prototyping of Bioengineered Brain-Computer Interfaces” (No. 125032604432-6).

Информация об авторах

Абуталипов Ренат Надельшаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории «Бионаноробототехника и нейроинженерия» научно-инновационного центра «Биомедицинская инженерия», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

bnt_nat_2016@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0187-563X, SPIN-код: 6219-9432

Заммоев Аслан Узеирович, канд. техн. наук, зав. научно-инновационным центром «Биомедицинская инженерия», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

zammoev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7966-3557, SPIN-код: 6317-3115

Information about the authors

Renat N. Abutalipov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Bionanorobotics and Neuroengineering, Scientific-Innovation Center of Biomedical Engineering, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

bnt_nat_2016@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0187-563X, SPIN-code: 6219-9432

Aslan U. Zammoev, Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific-Innovation Center of Biomedical Engineering, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

zammoev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7966-3557, SPIN-code: 6317-3115

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 697.921.42 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-90-102
ECQZLU

Автоматизированная система управления дроссельной заслонкой для локальной вытяжной системы

Н. В. Агафонов✉, Л. Э. Шварцбург

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1

Аннотация. В статье представлена разработка автоматической системы управления дроссельной заслонкой для локальной вытяжной вентиляции. Система позволяет регулировать угол поворота заслонки в зависимости от концентрации взвешенных частиц PM2.5, измеряемой датчиком RS-PM-N01-2-EX. Управляющий сигнал формируется программируемым логическим контроллером (ПЛК) на основе осредненных показаний датчика. Разработана программа на языке FBD в среде ONI PLR Studio. Экспериментально подтверждена работоспособность системы на физическом макете. Обсуждаются ограничения предложенного подхода и перспективы его развития для создания энергоэффективных систем вентиляции с регулируемым расходом воздуха.

Цель исследования – разработка алгоритма и программы для автоматического управления положением дроссельной заслонки в локальной вытяжной системе на основе сигнала датчика качества воздуха, обеспечивающих адаптивное изменение расхода на отдельных ветвях с учетом реального уровня загрязнения.

Методы исследования включали анализ современных подходов к автоматизации вентиляции, разработку алгоритма обработки сигнала датчика (осреднение 15 последовательных измерений), программирование на языке FBD для ПЛК, создание экспериментального стенда (датчик, ПЛК, сервопривод, макет воздуховода с заслонкой) и проведение испытаний. Для оценки гидравлических эффектов использовались справочные данные по коэффициентам местных сопротивлений и характеристики вентилятора.

Результаты. Разработана и отлажена программа управления, реализованная в ONI PLR Studio. Экспериментально подтверждено, что при изменении концентрации PM2.5 в диапазоне 0–250 мкг/м³ сервопривод корректно поворачивает заслонку на углы от 0 до 90° в соответствии с заданными пороговыми уровнями. Показано, что предложенный алгоритм осреднения исключает ложные срабатывания при кратковременных выбросах. Обоснована необходимость совместного управления заслонками и частотой вращения вентилятора для достижения энергосберегающего эффекта.

Выводы. Предложенная система является основой для создания интеллектуальной локальной вентиляции, адаптирующейся к реальной загрязненности воздуха. Разработанная автоматическая система управления заслонкой является важным шагом на пути к созданию интеллектуальных, энергоэффективных местных вытяжных систем, адаптирующихся к изменяющимся условиям производства.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, автоматизация вентиляции, дроссельная заслонка, PM2.5, FBD, энергосбережение, аналоговый сигнал.

Поступила 29.05.2026, одобрена после рецензирования 20.07.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Агафонов Н. В., Шварцбург Л. Э. Автоматизированная система управления дроссельной заслонкой для локальной вытяжной системы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 90–102. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-90-102

© Агафонов Н. В., Шварцбург Л. Э., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T40 Original article

Automated throttle damper control system for local exhaust system

N.V. Agafonov✉, L.E. Shvartsburg

Moscow State University of Technology "STANKIN"
1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia

Abstract. This paper focuses on the development of an automated throttle valve control system for local exhaust ventilation. The system automatically controls the damper angle according to the PM2.5 concentration levels measured by the RS-PM-N01-2-EX sensor. A programmable logic controller (PLC) generates the control signal based on the averaged sensor readings. An FBD-based program was created using the ONI PLR Studio software. Experimental testing on a physical prototype confirmed the feasibility of the proposed system. The paper discusses the limitations of the proposed approach and prospects for its development to create energy-efficient variable air volume ventilation systems.

Aim. The research aims to develop a control algorithm and software for automated throttle valve positioning in a local exhaust system based on an air quality sensor signal, enabling adaptive flow rate regulation across individual branches according to actual pollution levels.

The research methods included the analysis of modern approaches to ventilation automation, the development of a sensor signal processing algorithm (averaging 15 consecutive measurements), FBD programming for the PLC, the construction of an experimental setup (comprising the sensor, PLC, servo actuator, and duct mockup with a damper), and subsequent testing. The evaluation of hydraulic effects relied on reference data for local resistance coefficients and fan performance characteristics.

Results. The averaging algorithm prevents false trips due to short-term spikes. The results indicate that the proposed averaging algorithm prevents false triggering caused by short-term outliers. The necessity of combined damper and fan speed control for energy efficiency is substantiated.

Conclusions. The proposed system serves as a basis for developing smart local ventilation systems capable of adapting to real-time air pollution. The developed automated damper control system represents a significant step toward creating intelligent, energy-efficient local exhaust ventilation systems that adapt to changing production environments.

Keywords: PLC control program, ventilation automation, throttle damper, PM2.5, FBD, energy saving, analog signal

Submitted 29.05.2026, approved after reviewing 20.07.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Agafonov N.V., Shvartsburg L.E. Automated throttle damper control system for local exhaust system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 90–102. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-90-102

Введение

Обеспечение безопасных условий труда в промышленности требует эффективного удаления вредных веществ из рабочей зоны. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [5] и ГОСТ 12.1.007-76 [6] концентрации загрязнителей не должны превышать предельно допустимых значений. Как отмечает А. С. Ким [7], пылевые частицы различных фракций вызывают заболевания дыхательных путей, поэтому системы местной вытяжной вентиляции являются критическим элементом защиты персонала.

© Agafonov N.V., Shvartsburg L.E., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

В последние годы активно развиваются методы автоматизации вентиляционных систем. В диссертации С. Г. Кондрашова [1] предложена система управления очисткой воздуха с учетом реального уровня загрязнений, что позволило повысить эффективность улавливания. Авторы [2, 3] исследовали перераспределение воздушных потоков в локальных системах и показали принципиальную возможность регулирования расходов на отдельных ветвях. В учебнике Н. И. Иванова и др. [4] обобщены требования безопасности, обосновывающие необходимость адаптивного управления вентиляцией.

Обзор современных подходов [9, 13, 14] показывает, что применение программируемых логических контроллеров (ПЛК) и частотно-регулируемых приводов позволяет существенно снизить энергопотребление – до 30–60 % – и повысить точность поддержания параметров. В работах [15, 16] обсуждаются методы управления и оптимизации работы вентиляционных сетей. Вместе с тем, как подчеркивается в [13, 17], гидравлическое сопротивление сети и характеристика вентилятора играют решающую роль при изменении положения заслонок: простое закрытие одной ветви при постоянной частоте вращения вентилятора ведет к росту сопротивления и снижению общего расхода, а не к автоматическому перераспределению его в другие ветви. Этот факт часто игнорируется в инженерных решениях, что приводит к неэффективному управлению.

Таким образом, анализ литературы показывает, что задача локального управления отдельными ветвями вытяжной системы с обратной связью по качеству воздуха остается недостаточно проработанной в части учета аэродинамических взаимодействий.

Цель настоящей работы – разработка алгоритма и программы для автоматического позиционирования дроссельной заслонки в локальной вытяжной системе на основе сигнала датчика PM2.5, а также оценка возможностей и ограничений такого подхода для последующего создания энергоэффективной системы с регулируемым приводом вентилятора.

Задачи исследования:

1. Проанализировать существующие методы автоматизации вентиляции и выявить их сильные и слабые стороны.
2. Разработать помехоустойчивый алгоритм обработки сигнала датчика с осреднением.
3. Реализовать программу управления в среде ONI PLR Studio на языке FBD.
4. Собрать экспериментальный стенд и проверить работоспособность системы.
5. На основе гидравлического анализа обосновать необходимость совместного управления заслонками и частотой вращения вентилятора.

Методы исследования

Оборудование и материалы. Для реализации системы использованы следующие компоненты: ПЛК HVAC-S-CPU23DRA48NNN00024, сервопривод BVM NM24-SR-10 (управление 0…10 В), датчик RS-PM-N01-2-EX (диапазон 0–1000 мкг/м³, выход 0…10 В), блок питания HDR-30-24 MEAN WELL, провода ПГВА 1,5 мм². Принципиальная схема соответствует трехуровневой архитектуре «сенсор – ПЛК – исполнительное устройство». Программирование выполнено в среде ONI PLR Studio [9], которая позволяет создавать визуальные программы из функциональных блоков на языке FBD. Данные комплектующие образуют систему, которая позволяет перемещать заслонку на определенный угол (рис. 1).

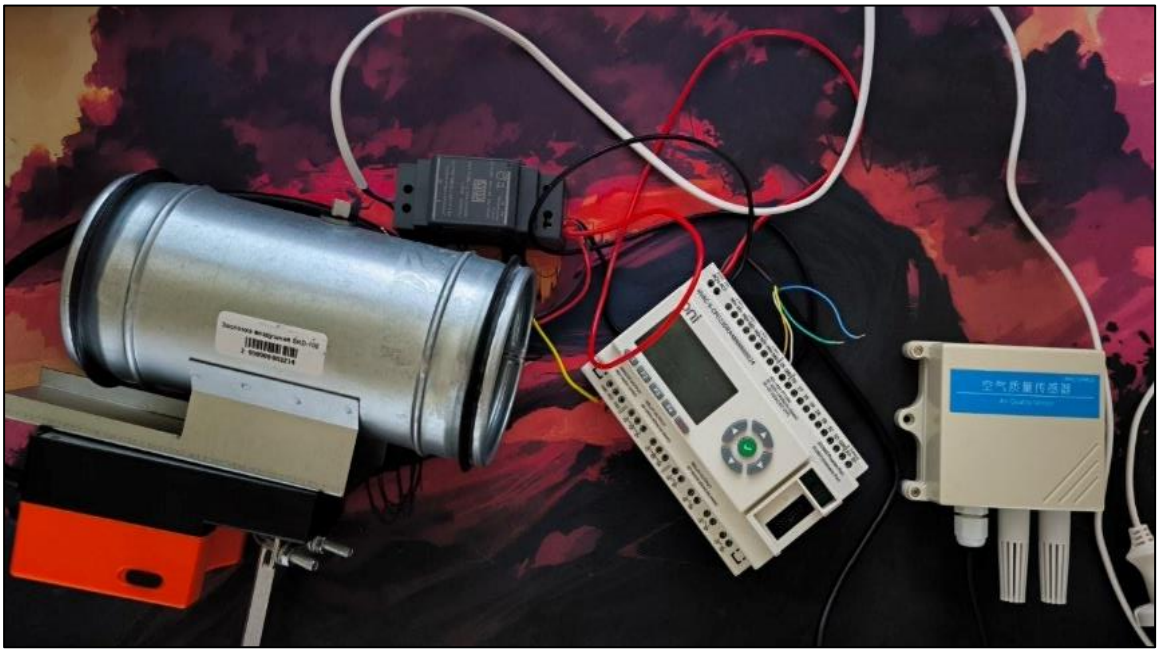


Рис. 1. *Автоматическая система регулирования дроссельной заслонки в сборе*

Fig. 1. *Automatic throttle damper control system assembly*

Алгоритм управления. Для исключения ложных срабатываний при кратковременных выбросах программа осредняет 15 последовательных значений датчика (период опроса 250 мс, обновление среднего каждые 4-5 с, для повышения скорости реагирования можно задать осреднение 10 последовательных значений датчика). Далее среднее значение сравнивается с порогами, соответствующими индексу качества воздуха AQI [10]. На основе этого задается одно из шести дискретных положений заслонки: 0° (закрыта), 18°, 36°, 54°, 72°, 90° (полностью открыта). Соответствие между концентрацией PM2.5 и углом приведено в таблице 1.

Таблица 1. Соответствие концентрации PM2.5 и угла поворота заслонки

Table 1. Correlation between PM2.5 concentration and damper angle

Концентрация PM2.5, мкг/м³	Качество воздуха (AQI) [10]	Угол заслонки, °
0,0 – 12,0	Отличное	0 (закрыта)
12,1 – 35,4	Хорошее	18
35,5 – 55,4	Слабое загрязнение	36
55,5 – 150,4	Умеренное загрязнение	54
150,5 – 250,4	Сильное загрязнение	72
>250,4	Очень сильное	90 (открыта полностью)

Программа построена с использованием блоков аналогового ввода, осреднения, сравнения, арифметических операций, RS-триггера и аналогового вывода. При увеличении числа ветвей добавляются соответствующие пары входов-выходов (рис. 2 и 3).

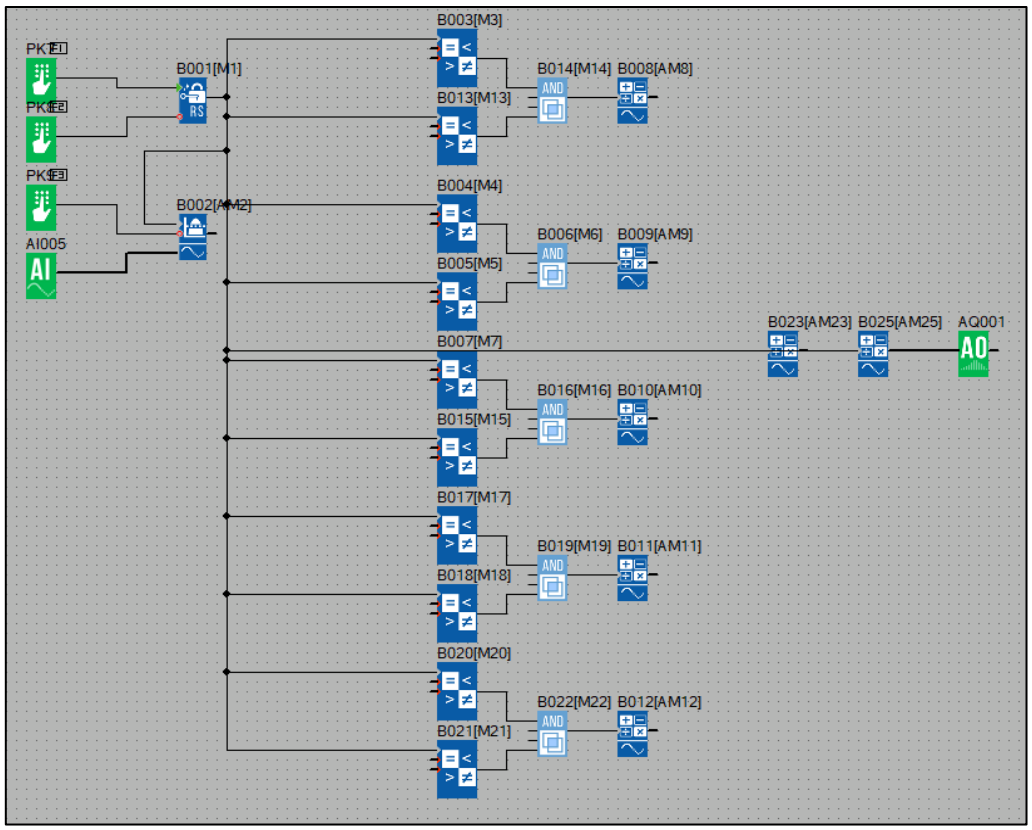


***Рис. 2**. Программа управления ПЛК для перемещения заслонки в локальном канале*

***Fig. 2**. PLC control program interface for local duct damper movement.*

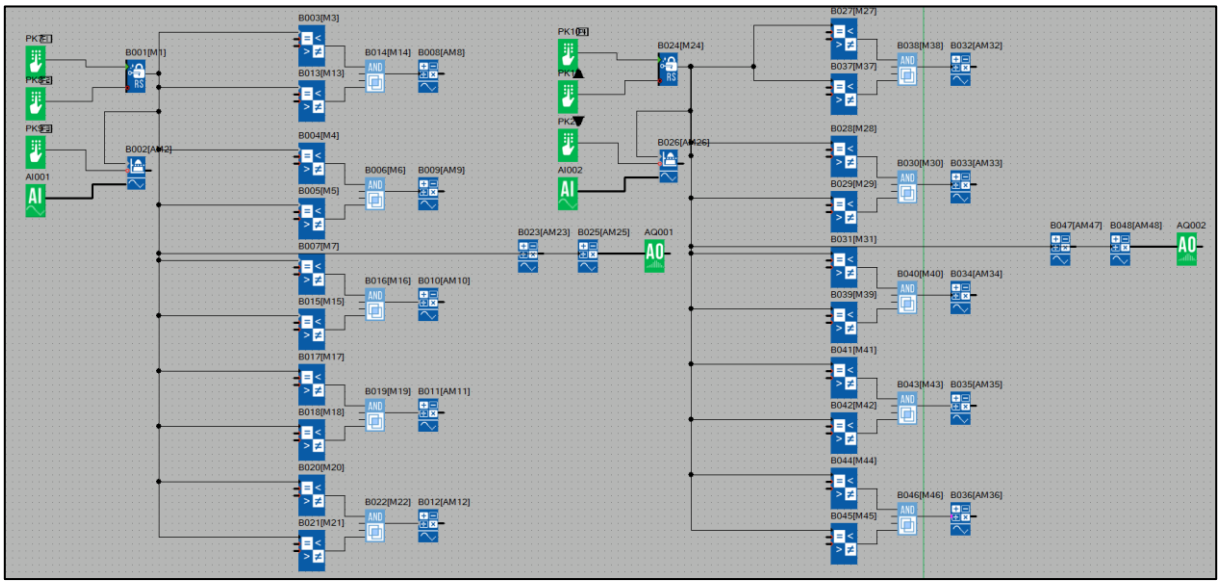


***Рис. 3**. Программа управления ПЛК для перемещения двух заслонок в локальных каналах*

***Fig. 3**. PLC control program for positioning two local duct dampers*

Для написания программы на языке FBD использовались блок-схемы:

1. Блок клавиш клавиатуры позволяет управлять клавишами на лицевой панели модуля ПЛК для ввода значений в программу (рис. 4).

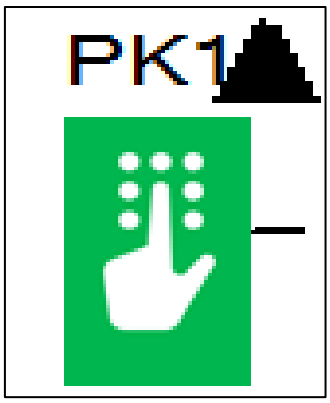


***Рис. 4**. Блок клавиш клавиатуры / **Fig. 4**. Keyboard block*

2. Блок «аналоговый вход» соответствует физическому аналоговому выходу модуля ПЛК или модуля расширения. Данный блок привязывается к физической клемме ПЛК и передает полученное значение на клемму (рис. 5).

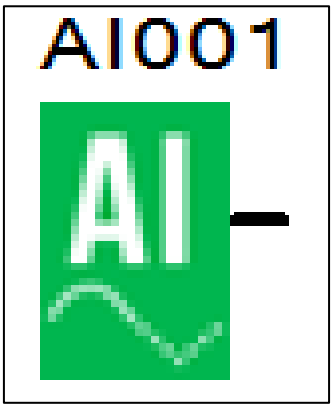


***Рис. 5**. Блок «аналоговый вход» / **Fig. 5**. Analog input block*

3. Блок «RS триггер». При поступлении логической единицы на вход «S» блока блок передает на выход логическую единицу до тех пор, пока на вход «R» блока не подана единица. Вход «R» блока имеет приоритет над входом «S» (рис. 6). Данный триггер требуется для реализации механизма «кнопка»: вся автоматическая система работает до тех пор, пока не нажмется определенная физическая кнопка на лицевой панели ПЛК, которая отключает все.

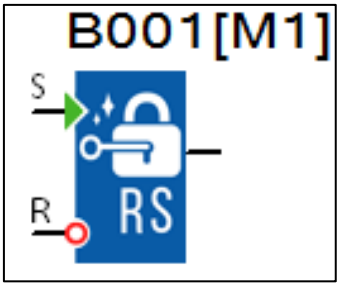


***Рис. 6**. Блок «RS триггер» / **Fig. 6**. RS flip-flop block*

4. Блок «среднего значения» требуется для усреднения значений датчика. Так как датчик передает замеряемые параметры постоянно, данный блок замеряет каждые 15 значений, получает одно среднее и передает его дальше по программе, чтобы исключить ложные, ошибочные значения (рис. 7).

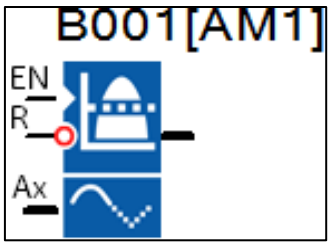


***Рис. 7**. Блок «среднего значения» / **Fig. 7**. Averaging block*

5. Блок сравнения двух переменных сравнивает два аналоговых значения при наличии разрешающего сигнала на входе «EN» (заданная константа), а после, в зависимости от результата, данный блок передает на выход единицу или ноль, то есть устанавливает или сбрасывает выходное значение. Данный блок участвует в реализации ограничения параметра датчика, требуется для реализации поворота заслонки только в 5 положениях (рис. 8).

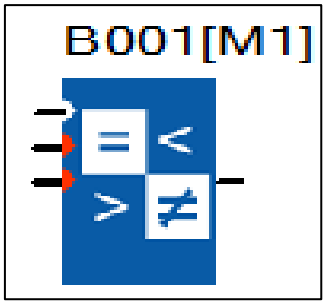


***Рис. 8**. Блок сравнения двух переменных / **Fig. 8**. Two-variable comparison block*

6. Выход блока «И» представляет собой логическое умножение двух и более значений на входе. При получении единицы на входе передается единица на выход при условии, что все значения на входе – единицы. Данный блок необходим для реализации ограничителя, так как требуется, чтобы заслонка перемещалась только в пяти положениях (рис. 9).

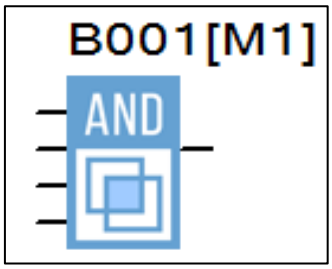


***Рис. 9**. Блок «И» / **Fig. 9**. AND block*

7. Блок арифметической операции рассчитывает значение выходного сигнала «AQ» по уравнению, сформированному из определенных пользователем операндов и операторов. Данный блок обрабатывает значение после сравнения и передает полученное новое значение на аналоговый выход (рис. 10).

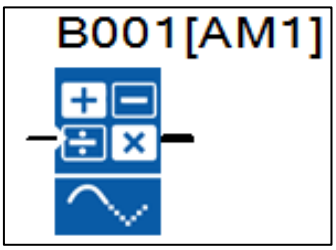


***Рис. 10**. Блок арифметической операции / **Fig. 10**. Arithmetic operation block*

8. Блок «аналоговый выход» соответствует физическому аналоговому выходу модуля ПЛК или модуля расширения. Данный блок привязывается к физической клемме ПЛК и передает полученное значение на клемму (рис. 11).

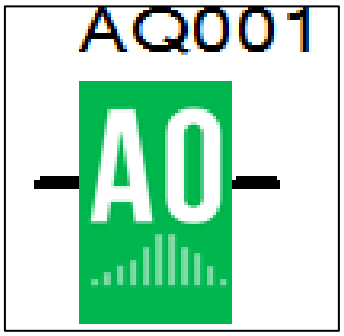


Рис. 11. *Блок «аналоговый выход»* / ***Fig. 11***. *Analog output block*

Данные блоки позволяют написать программу управления дроссельной заслонкой в зависимости от показания датчика. Требуется, чтобы заслонка имела 6 положений (от 0 до 90 градусов с шагом 18 градусов): при показании датчика значений 0.0 – 12.0 мкг/м^3 заслонка закрыта, при показании датчика значений 12.1 – 35.4 мкг/м^3 заслонка поворачивается на 18 градусов, при 35.5 – 55.4 мкг/м^3 заслонка поворачивается на 36 градусов, по аналогии и для последующих показаний; максимально заслонка открывается при показании датчика значения 250.4 мкг/м^3 – в данном случае заслонка открывается полностью.

Принцип работы программы представлен в блок-схеме (рис. 12).

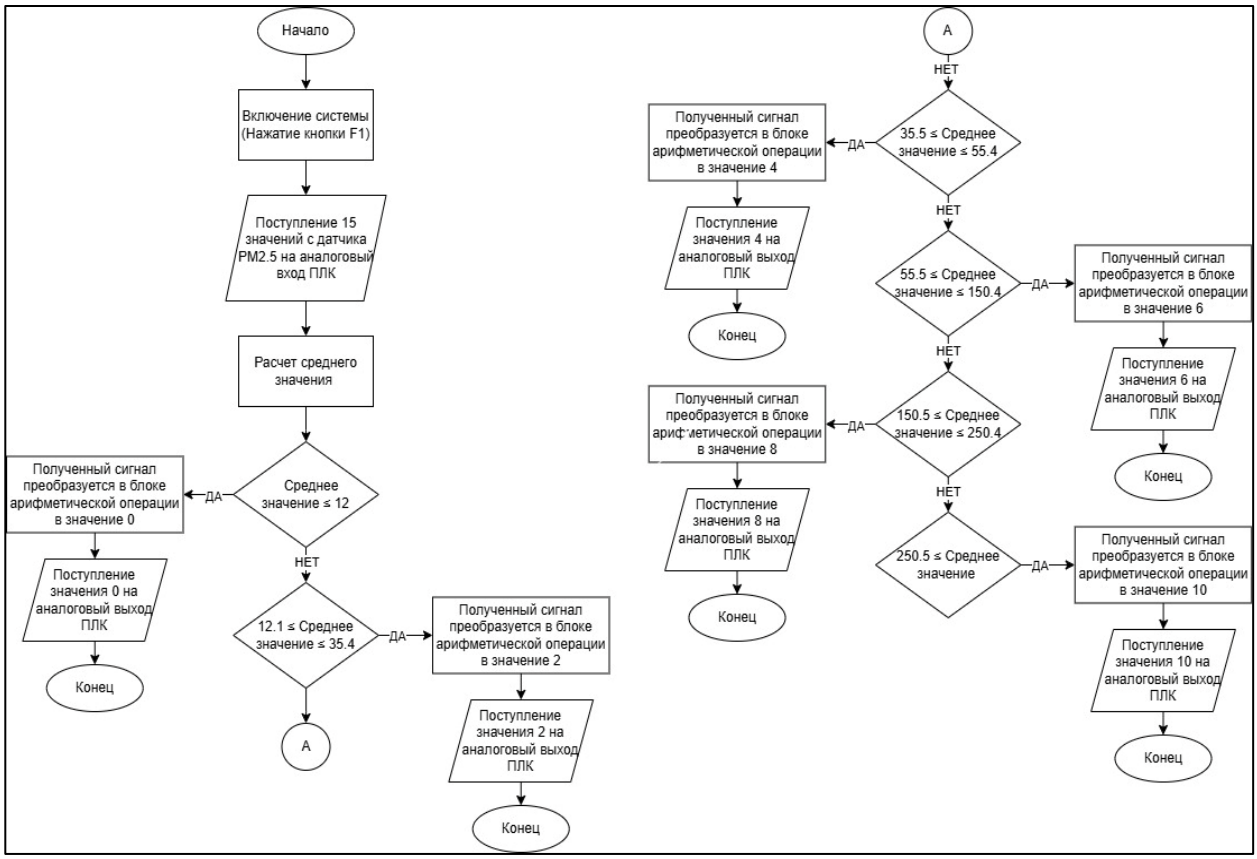


Рис. 12. *Блок-схема программы управления*

Fig. 12. *Control program flowchart*

Согласно блок-схеме программа получает значение с датчика и определяет его в конкретный сектор качества воздуха, вследствие этого происходит арифметическая операция, которая получает значение и передает на аналоговый выход, который ведет к сервоприводу. Так как передаваемое значение может варьироваться от 0 до 10 в зависимости от определения программой сектора, то и поступающее значение на сервопривод может варьироваться от 0 В до 10 В. В зависимости от поступающего напряжения сервопривод поворачивает дроссельную заслонку на определенный угол относительно Оси Y. Данные манипуляции с перемещениями заслонок на определенный угол позволяют изменять очистную производительность локального участка.

Блок-схема отображает основной принцип работы программы. Данная программа подходит для локальных вентиляций с любым количеством каналов; ограничение по количеству подключений может быть только из-за управляющего устройства, а именно – ПЛК, так как требуется столько же аналоговых входов и выходов, сколько и каналов вентиляции. Таким образом, данное ограничение можно обойти правильным подбором управляющего оборудования. В самой программе добавляются блоки аналоговых входов и выходов для датчика и сервопривода соответственно.

При увеличении количества локальных каналов увеличиваются такие показатели программы, как размер, вес, количество блоков; но основные изменения в программе затрагивают замену блоков «аналоговый вход и аналоговый выход». В данных блоках указывается номер разъема на ПЛК для подключения на вход датчика и на выход сервопривода для новых каналов локальной вентиляции.

Экспериментальная проверка. Испытания проведены на лабораторном стенде. Имитировалось изменение концентрации путем подачи калибровочного сигнала и с помощью реального аэрозоля (табачный дым). Фиксировались угол поворота заслонки, выходное напряжение ПЛК и время переходного процесса.

Разработанная программа загружена в ПЛК. Эксперименты показали, что заслонка занимает заданное положение с погрешностью ±1° при каждом изменении среднего значения концентрации. Осреднение 15 значений эффективно подавляет ложные срабатывания – одиночный выброс длительностью менее 2 с не вызывает перемещения заслонки. Время переходного процесса составило 4–5 с.

В настоящее время используются стандартные локальные вытяжные системы, которые не имеют такой гибкости, как автоматическая локальная вытяжная система. Стандартная локальная вытяжная система не имеет возможности управления скоростью потока воздуха на локальных участках: при включении локальной вытяжной вентиляции скорость потока воздуха на локальных участках постоянна и все локальные участки начинают всасывать воздух вне зависимости, есть ли загрязнение воздуха в зоне локальной вентиляции или нет, а автоматическая система позволяет убрать этот недостаток за счет перекрытия заслонок и изменения скорости вентилятора.

Был выполнен расчет скорости потока воздуха для трехканальной локальной системы вентиляции. Для расчета подобран вентилятор «Элком ВЦ 14-46 № 4 правое 0 с дв. 4/1500 03.02.000672» типа «улитка», имеющий максимальную мощность 4000 Вт, с максимальной производительностью 5450 м^3/ч и двигателем 3 кВт/ч [11].

Был подобран диаметр воздуховода, который равняется 315 мм. Зная производительность выбранного вентилятора, которая равняется 5450 м^3/ч, выполнили расчет скорости потока воздуха по формуле для круглой трубы:

$$V = \mathrm{L} * 4 * 1000000/(3600 * \pi * d^2),$$

где V – скорость потока, м/с; L – производительность вентилятора, м^3/ч; d – диаметр воздуховода, мм [12], подставив имеющиеся значения в формулу (1):

$$V = 5450 * 4 * 1000000/(3600 * 3{,}14 * 315^2) = 19{,}4.$$

Для трехканальной системы выполнен расчет скоростей (табл. 2). Расчет проведен с использованием справочных данных [12, 17] и уравнения неразрывности [8]. Представлены диапазоны скоростей, достижимые в каждой ветви при совместном регулировании заслонок и частоты вращения вентилятора. При постоянной частоте вращения общий расход снижается при закрытии заслонки, поэтому точное значение скорости в каждой ветви зависит от аэродинамической характеристики сети и вентилятора [13, 14].

Таблица 2. Расчет скорости потока воздуха в трехканальной локальной системе вентиляции

Table 2. Calculation of air flow velocity in a three-channel local ventilation system

Показатель	Стандартная локальная система вентиляции с круглым воздуховодом диаметром 315 мм	Автоматизированная локальная система вентиляции с круглым воздуховодом диаметром 315 мм
Скорость потока воздуха в общем канале, м/с	19,4	19,4
Производительность вентилятора, м^3/ч	5450	5450
Скорость потока в первом канале, м/с	6,47	0–19,4*
Скорость потока во втором канале, м/с	6,47	0–19,4*
Скорость потока в третьем канале, м/с	6,47	0–19,4*
Примечание:	Нет регулировки	Регулировка возможна при совместном управлении заслонками и частотой вращения вентилятора. Конкретные значения зависят от характеристики вентилятора и КМС сети [13, 17].

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают техническую реализуемость автоматического позиционирования заслонки по сигналу датчика PM2.5. Однако, как следует из анализа [13, 17], закрытие заслонки при постоянной частоте вращения вентилятора увеличивает гидравлическое сопротивление, что смещает рабочую точку вентилятора вниз по характеристике и снижает общий расход. Поэтому перераспределение потоков между ветвями невозможно без совместного управления заслонками и частотой вращения вентилятора.

Применение частотно-регулируемого привода, как показано в [14], позволяет не только перераспределять расходы, но и экономить энергию – снижение частоты на 10–20 % дает экономию 10–30 %, а на 30–50 % – до 60 %. В работах [15, 16] предложены методы управления, что открывает перспективы для создания полностью автоматизированных энергоэффективных вытяжных установок.

Выводы

В ходе работы достигнуты следующие результаты.

На основе анализа литературы [1–4, 7, 9, 13–16] выявлены основные подходы к автоматизации вентиляции и их ограничения.

Разработан помехоустойчивый алгоритм осреднения сигнала датчика, обеспечивающий время реакции 4–5 с.

Реализована программа управления в ONI PLR Studio [9], позволяющая управлять заслонкой в шести дискретных положениях согласно шкале AQI [10].

Экспериментально подтверждена работоспособность системы на макете.

На основе гидравлического анализа [8, 12, 17] обосновано, что для эффективного перераспределения расходов и энергосбережения необходимо совместное управление заслонками и частотой вращения вентилятора.

Предложенная система является основой для создания интеллектуальной локальной вентиляции, адаптирующейся к реальной загрязненности воздуха.

Таким образом, разработанная автоматическая система управления заслонкой является важным шагом на пути к созданию интеллектуальных, энергоэффективных местных вытяжных систем, адаптирующихся к изменяющимся условиям производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кондрашов С. Г.* Автоматизация управления системой очистки воздуха рабочей зоны технологического оборудования с учетом уровня реальных загрязнений: дис. … канд. техн. наук. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2017. 122 с.

2. *Агафонов Н. А., Шварцбург Л. Э.* Анализ воздушных потоков в локальной системе вентиляции // Техническое творчество молодежи. 2025. № 3(151). С. 53–57. EDN: EIPYXG

3. *Агафонов Н. А., Шварцбург Л. Э.* Практическое использование регулируемой вытяжной системы // Управление и инновационное развитие предприятия: материалы междунар. конф. 2025. Т. 1. С. 92–99.

4. *Иванов Н. И., Фадин И. М., Дроздова Л. Ф.* Безопасность технологических процессов и производств: учебник. М.: Логос, 2020. 612 с.

5. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М.: Издательство стандартов, 1988. 78 с.

6. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.

7. *Ким А. С.* Влияние пыли на организм человека. Екатеринбург: РГППУ, 2014. С. 37–41.

8. *Молчанов А. М.* Термодинамика и динамика жидкости и газа. Специальные главы. М., 2019. 152 с.

9. Системное руководство пользователя «Программируемые логические реле ONI PLR-S» / ООО «ИЭК ХОЛДИНГ». М., 2017. 177 с. URL: https://oni-system.com/... (дата обращения: 21.02.2026).

10. Title 40 – Protection of Environment, Part 58, Appendix G – Uniform Air Quality Index (AQI) and Daily Reporting. URL: https://www.ecfr.gov/... (дата обращения: 20.05.2026).

11. Вентиляторы радиальные среднего давления ВР 280-46 (ВЦ 14-46). Паспорт. ГК «ЭЛКОМ», Россия. 28 с.

12. *Щекин Р. В., Корнеевский С. М. и др.* Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Вентиляция и кондиционирование воздуха. 1968. 288 с.

13. *Каменев П. Н., Тертичник Е. И.* Вентиляция: учебное пособие. М.: АСВ, 2008. 624 с.

14. *Зайцев А. И., Лядов Ю. С.* Регулируемый электропривод и его роль в повышении энергоэффективности систем вентиляции // Энергосбережение. 2021. № 5. С. 28–35.

15. *Благодаров Д. А., Костин А. А., Сафонов Ю. М., Тарасов А. С.* Интеллектуальные методы управления в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // Вестник ИГЭУ. 2013. Вып. 6. С. 70–73.

16. *Цыганков А. В., Долговская О. В., Виноградский Д. В.* Канальные системы вентиляции и кондиционирования: учебно-методическое пособие. СПб: Университет ИТМО, 2022. 68 с.

17. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

REFERENCES

1. Kondrashov S.G. Automation of the air purification system control for the working zone of technological equipment considering actual pollution levels. PhD diss. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet «STANKIN, 2017. 122 p. (In Russian)

2. Agafonov N.A., Shvartsburg L.E. Analysis of air flows in a local ventilation system. *Technical Creativity of Youth*. 2025. No. 3. Pp. 53–57. (In Russian)

3. Agafonov N.A., Shvartsburg L.E. Practical use of an adjustable exhaust system. *In Proceedings of the International Conference on Enterprise Management and Innovative Development*. 2025. Vol. 1. Pp. 92–99. (In Russian)

4. Ivanov N.I., Fadin I.M., Drozdova L.F. *Bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv: uchebnik* [Safety of Technological Processes and Industries]. Textbook. Moscow: Logos, 2020. 612 p. (In Russian)

5. GOST 12.1.005-88. Occupational safety standards system. General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1988. 78 p. (In Russian)

6. GOST 12.1.007-76. Hazardous substances. Classification and general safety requirements. Moscow: Standartinform, 2007. 7 p. (In Russian)

7. Kim A.S. The effect of dust on the human body. Yekaterinburg: Russian State Vocational Pedagogical University, 2014. Pp. 37–41. (In Russian)

8. Molchanov A.M. *Termodinamika i dinamika zhidkosti i gaza. Spetsial'nyye glavy* [Thermodynamics and Fluid Dynamics. Special Chapters]. Moscow, 2019. 152 p. (In Russian)

9. IEC HOLDING LLC. *Sistemnoye rukovodstvo pol'zovatelya «Programmiruyemyye logicheskiye rele ONI PLR-S»* [System User Manual "Programmable Logic Relays ONI PLR-S"]. Moscow, 2017. 177 p. Accessed February 21, 2026. https://oni-system.com/... (In Russian)

10. Title 40 – Protection of Environment, Part 58, Appendix G – Uniform Air Quality Index (AQI) and Daily Reporting. Accessed May 20, 2026. https://www.ecfr.gov/... (In Russian)

11. ELCOM Group. Medium-Pressure Radial Fans VR 280-46 (VC 14-46). Data Sheet. Russia. 28 p. (In Russian)

12. Shchekin R.V., Korneevsky S.M. et al. *Spravochnik po teplosnabzheniyu i ventilyatsii. Ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozdukha* [Handbook on Heat Supply and Ventilation. Ventilation and Air Conditioning]. 1968. 288 p. (In Russian)

13. Kamenev P.N., Tertichnik E.I. *Ventilyatsiya: uchebnoye posobiye* [Ventilation]. Textbook. Moscow: ASV Publishing House, 2008. 624 p. (In Russian)

14. Zaitsev A.I., Lyadov Yu.S. Adjustable electric drive and its role in improving energy efficiency of ventilation systems. *Energy Saving*. 2021. No. 5. Pp. 28–35. (In Russian)

15. Blagodarov D.A., Kostin A.A., Safonov Yu.M., Tarasov A.S. Intelligent control methods in ventilation and air conditioning systems. *Bulletin of ISEU*. 2013. Issue 6. Pp. 70–73. (In Russian)

16. Tsygankov A.V., Dolgovskaya O.V., Vinogradsky D.V. *Kanal'nyye sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Duct systems for ventilation and air conditioning: teaching guide]. St. Petersburg: Universitet ITMO, 2022. 68 p. (In Russian)

17. Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of Hydraulic Resistance]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1992. 672 p. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Агафонов Н. В. – программная реализация, сборка автоматической системы, подготовка исходного варианта рукописи;

Шварцбург Л. Э. – разработка методологии;

все авторы – написание, рецензирование и редактирование рукописи. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Contribution of the authors:

Agafonov N.V. – software implementation, assembly of the automatic system, preparation of the original draft of the manuscript;

Shvartsburg L.E. – development of methodology;

all authors – writing, review, and editing of the manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Финансирование. Исследование проведено в рамках работ научной школы «Экологическая и производственная безопасность».

Funding. The study was conducted within the framework of the “Environmental and Industrial Safety” research program.

Информация об авторах

Агафонов Никита Валерьевич, аспирант 2-го курса, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1;

nik.agafonov.99@bk.ru

Шварцбург Леонид Эфраимович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности, Институт социально-технологического менеджмента, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский переулок, 1;

lesh@stankin.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8652-5737, SPIN-код: 6172-4665

Information about the authors

Nikita V. Agafonov, Postgraduate Student, Moscow State University of Technology “STANKIN”;

1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia;

nik.agafonov.99@bk.ru

Leonid E. Shvartsburg, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Ecology and Life Safety, Institute of Socio-Technological Management, Moscow State University of Technology “STANKIN”;

1, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, Russia;

lesh@stankin.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8652-5737, SPIN-code: 6172-4665

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 004.9:338.27 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-103-114
FWPLLS

Информационно-аналитическая система прогнозирования промышленных показателей России: интеграция адаптивного гибридного ансамбля и новостной аналитики

В. Р. Иксанов

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

Аннотация. Краткосрочное прогнозирование индексов промышленного производства остается одной из методически трудоемких задач прикладной информатики.

Цель исследования – описание архитектурных решений и методологических принципов ИАС, объединяющей адаптивный гибридный ансамбль с новостной аналитикой, а также представление результатов ее верификации на реальных данных Росстата за 2013–2025 годы.

Материалы и методы исследования. Эмпирической базой послужили квартальные данные Росстата за 2013–2025 годы, 48 наблюдений по шести отраслевым сегментам, включая сводный индекс промышленного производства. Архитектура ИАС объединяет три подсистемы: количественного прогнозирования МАГСП, новостной аналитики на основе агрегации восьми RSS-источников без обращения к внешним API и семантической сети из 67 отраслевых факторов, формирующей поправку СемП. Верификация проведена по схеме Walk-Forward с начальным окном 24 квартала, горизонтом расширения, управляемым последовательным критерием Вальда и детектированием структурных изломов CUSUM-статистикой с *YoY*-нормализацией, параметры подобраны на периоде 2013-2020 гг., протестированы вне выборки на 2021–2025 гг. Доверительные интервалы MAPE рассчитаны бутстрепом, значимость различий проверена тестом Диболда–Мариано.

Результаты. В статье описана авторская информационно-аналитическая система (ИАС) прогнозирования промышленных показателей Российской Федерации, реализующая разработанную методологию адаптивного гибридного сценарного прогнозирования (МАГСП). Отличительной чертой предложенного подхода является органичное включение новостной аналитики в количественный прогностический процесс. Восемь RSS-источников – РИА «Новости», ТАСС, Интерфакс, Банк России, МЭР РФ, РБК, «Коммерсантъ» и «Ведомости» – обрабатываются специализированным лексиконным сентимент-анализатором, результаты которого поступают в семантическую сеть отраслевых факторов. Семантическая сеть формирует поправочный коэффициент к квартальному прогнозу в диапазоне от -20 % до +20 %, не замещая статистическую оценку экспертным суждением, а дополняя ее качественными сигналами внешней среды. МАГСП реализована в виде десятиэтапного итерационного алгоритма с четырьмя формализованными точками принятия решений и двумя режимами работы: стабильным, опирающимся на адаптивный гибридный ансамбль с механизмом внимания к внешним факторам (АГАМВФ), и шоковым, использующим метод адаптивного переключения ансамбля при структурных изломах (АСПР). Апробация на квартальных данных Росстата за 2013–2025 годы показала снижение средней абсолютной процентной ошибки на 17–29 % относительно базового фиксированного ансамбля. Преимущество МАГСП статистически подтверждено тестом Диболда–Мариано при уровне значимости 0,05.

Заключение. Предложенная ИАС и реализующая ее методология МАГСП обеспечивают методологически согласованное решение задачи краткосрочного прогнозирования на коротких нестационарных рядах квартальной промышленной статистики России. Практическая значимость определяется тремя результатами: органичной интеграцией новостной аналитики через четырехкомпонентную семантическую поправку без подмены статистической оценки экспертным

© Иксанов В. Р., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

суждением; двухрежимным адаптивным ансамблем, переключающимся между attention-взвешиванием и структурной перекомпоновкой состава при структурных изломах; адаптацией последовательного критерия Вальда, сократившей вычислительную нагрузку примерно на треть без потери качества прогноза. Направления дальнейших исследований – расширение охвата до полного перечня разделов ОКВЭД, разработка нейросетевого компонента сентимент-анализа с сохранением автономности системы и адаптация SPRT для среднесрочных горизонтов прогнозирования.

Ключевые слова: прогнозирование промышленных показателей, ансамблевые методы, новостная аналитика, сентимент-анализ, семантическая сеть, адаптивные алгоритмы, машинное обучение, информационно-аналитическая система, сценарный прогноз, временные ряды

Поступила 07.05.2026, одобрена после рецензирования 22.05.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Иксанов В. Р. Информационно-аналитическая система прогнозирования промышленных показателей России: интеграция адаптивного гибридного ансамбля и новостной аналитики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 103–114. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-103-114

MSC: 68T35 Original article

Information-analytical system for forecasting Russian industrial indicators: integration of adaptive hybrid ensemble and news analytics

V.R. Iksanov

Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia

Abstract. Short-term forecasting of industrial production indices remains one of the methodologically challenging tasks in applied computer science.

Aim. This research outlines the architectural framework and methodological principles of the IAS, integrating an adaptive hybrid ensemble with news analytics, and demonstrates its validation on empirical Rosstat data for the 2013–2025 period.

Materials and methods. The empirical foundation for this study consists of quarterly Rosstat data for the 2013–2025 period, featuring 48 observations across six industrial sectors, including the aggregate industrial production index. The IAS architecture combines three key subsystems: MAGSP for quantitative forecasting; news analytics that aggregates eight RSS sources entirely without external API calls; and a semantic network composed of 67 industry-specific factors to calculate the SemP correction. The model was verified via a Walk-Forward scheme (24-quarter initial window) with an expansion horizon controlled by Wald's sequential test and structural breaks detected by YoY-normalized CUSUM statistics; parameters were calibrated on 2013–2020 data and tested out-of-sample for 2021–2025. Confidence intervals for MAPE were estimated via bootstrapping, and the statistical significance of predictive accuracy differences was confirmed using the Diebold–Mariano test.

Results. An original information and analytical system (IAS) for Russian industrial indicator forecasting is presented, implementing the proposed adaptive hybrid scenario forecasting methodology (MAGSP). A key distinctive feature of the proposed approach is the seamless integration of news analytics into the quantitative forecasting process. Eight RSS sources namely, RIA Novosti, TASS, Interfax, the Bank of Russia, the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, RBC, Kommersant, and Vedomosti are processed by a specialized lexicon-based sentiment analyzer, the results of which are fed into a semantic network of industrial factors. Instead of substituting the statistical estimate with expert judgment, the semantic network calculates a quarterly forecast correction factor ranging from –20% to +20% by enriching the quantitative data with qualitative environmental signals. MAGSP is implemented as a ten-stage iterative algorithm featuring four

© Iksanov V.R., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

formalized decision points and two operating modes: a stable mode, based on an adaptive hybrid ensemble with an attention mechanism for external factors (AGAMVVF), and a shock mode, utilizing an adaptive ensemble switching method during structural breaks (ASPR). Empirical evaluation using quarterly Rosstat data for the 2013–2025 period showed that the proposed method outperforms the baseline fixed ensemble, reducing the MAPE by 17–29%. The statistical superiority of MAGSP was verified by the Diebold–Mariano test at a significance level of 0.05.

Conclusion. The proposed IAS, powered by the MAGSP methodology, offers a methodologically sound approach to short-term forecasting that effectively handles short, non-stationary time series in Russian quarterly industrial statistics. The practical significance is determined by three main outcomes: the organic integration of news analytics via a four-component semantic correction without replacing the statistical estimate with expert judgment; a dual-mode adaptive ensemble that switches between attention-based weighting and structural composition realignment during structural breaks; and the adaptation of Wald's sequential probability ratio test, which reduced the computational load by approximately one-third without compromising forecasting quality. Future work will focus on extending the coverage to all sections of the OKVED classification, implementing a neural network-based sentiment analysis component without compromising system autonomy, and tailoring the SPRT for medium-term forecasting horizons.

Keywords: forecasting of industrial indicators, ensemble methods, news analytics, sentiment analysis, semantic network, adaptive algorithms, machine learning, information-analytical system, scenario-based forecasting, time series

Submitted 07.05.2026, approved after reviewing 22.05.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Iksanov V.R. Information-analytical system for forecasting Russian industrial indicators: integration of adaptive hybrid ensemble and news analytics. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 103–114. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-103-114

Введение

Краткосрочное прогнозирование индексов промышленного производства остается одной из методически трудоемких задач прикладной информатики. Квартальные ряды, которыми располагает исследователь при работе с данными Росстата, обладают тремя свойствами, существенно ограничивающими применение классических подходов. Во-первых, они коротки: по большинству отраслевых сегментов доступно не более 48–52 наблюдений. Во-вторых, они нестационарны в структурном смысле. Санкционные шоки 2014 и 2022 годов, пандемия 2020 года, периоды резкого изменения ключевой ставки ЦБ РФ формировали структурные изломы, идентификация которых стандартными тестами запаздывает на несколько кварталов. В-третьих, традиционные количественные методы игнорируют качественные сигналы внешней среды: решения ОПЕК+, изменения санкционного режима, объявления о национальных проектах отражаются в новостном пространстве заблаговременно, однако не попадают в статистические ряды вплоть до очередного официального релиза Росстата.

Именно разрыв между скоростью поступления новостной информации и скоростью ее отражения в официальной статистике обусловил разработку подхода, описываемого в настоящей статье. Предлагаемая информационно-аналитическая система прогнозирования промышленных показателей объединяет в единой архитектуре три взаимосвязанных компонента: количественный ансамблевый прогноз с адаптивным переключением режимов; новостную аналитику на основе RSS-агрегации; семантическую сеть отраслевых факторов как формализованный канал передачи качественных сигналов в прогностическую модель. Ключевое архитектурное решение состоит в том, что новостная аналитика не замещает статистический прогноз, а формирует поправочный коэффициент, поступающий в алгоритм как один из компонентов вектора внешних факторов. Это позволяет сохранить формальную верифицируемость прогноза: при нулевом новостном сигнале система ведет себя тождественно чисто количественной модели.

Работы, посвященные интеграции новостного сентимента и прогнозирования макроэкономических показателей, как правило, ограничиваются либо финансовыми рядами [1, 2], либо агрегированным ВВП [3], тогда как отраслевой уровень промышленности остается малоизученным. Адаптивные ансамблевые методы с переключением режимов рассмотрены концептуально в работах [4, 5], однако их реализация для нестационарных коротких рядов в условиях ограниченных данных не описывалась систематически. Настоящая статья восполняет этот пробел.

Цель работы – описание архитектурных решений и методологических принципов ИАС, объединяющей адаптивный гибридный ансамбль с новостной аналитикой, а также представление результатов ее верификации на реальных данных Росстата за 2013–2025 годы.

Обзор литературы

Задача ансамблевого прогнозирования временных рядов привлекает внимание исследователей с конца 1990-х годов. В основополагающей работе Breiman [6] показано, что комитеты базовых моделей устойчиво превосходят любой из своих компонентов на тестовых выборках. Систематические обзоры конкурсов M-серии [7] подтверждают этот вывод применительно к задачам экономического прогнозирования. Вместе с тем стандартные ансамбли предполагают стационарность весовых коэффициентов: составы и веса фиксируются по результатам кросс-валидации и не пересматриваются при изменении рыночного режима. Для российской промышленности, где структурные изломы имеют регулярный характер, это ограничение критично.

Методы детектирования структурных изломов – прежде всего CUSUM Пейджа [8] и тест Чоу [9] – широко применяются в эконометрике, однако их интеграция в процедуры адаптивного переключения ансамблей остается открытой задачей. Ряд авторов предлагали использовать последовательный тест отношения правдоподобия Вальда (SPRT) [10] для динамического управления горизонтом обучающей выборки, что позволяет снизить вычислительную нагрузку без ощутимого ухудшения качества прогноза. Тем не менее сочетание SPRT с ансамблевыми механизмами в единой реализации для промышленной статистики не рассматривалось [21, 22].

Параллельно развивается направление, связанное с включением текстовой информации в количественные прогностические модели. Baker, Bloom и Davis [11] предложили индекс экономической неопределенности на основе текстового анализа газетных публикаций, установив значимую корреляцию с инвестиционной активностью. Аналогичные подходы применялись для прогнозирования фондовых индексов [12] и инфляции [13], однако для отраслевых промышленных показателей систематические исследования не проводились. Отдельного внимания заслуживает модель Chronos-2 Ansari и соавторов [14], открывающая возможность формирования вероятностных диапазонных прогнозов без дополнительного обучения на целевом ряду. Механизмы внимания (attention), предложенные в архитектуре Transformer [15], нашли применение не только в языковых моделях, но и в задачах многомерного прогнозирования – динамическое перераспределение значимости входных переменных в зависимости от контекста открывает перспективы для взвешивания базовых моделей ансамбля.

Проведенный обзор показывает, что ни одна из существующих систем не реализует полный цикл: агрегирование новостного потока из нескольких источников – отраслевой сентимент-анализ на специализированном лексиконе – семантическая сеть факторов – поправка к адаптивному двухрежимному ансамблю. Настоящая работа предлагает методологию, закрывающую этот пробел [23, 24].

Архитектура ИАС и принципы интеграции компонентов

ИАС прогнозирования промышленных показателей реализована на языке Python в виде модульного приложения с функциональным разделением компонентов. Система работает с квартальными данными по девяти отраслевым сегментам: добыча топлива, нефтепереработка, химия, машиностроение, строительство, лесная промышленность, бумага и картон,

металлургия, а также сводный индекс промышленного производства. Входные данные загружаются из файла, формируемого на основе официальных релизов Росстата и ЕМиАС.

Архитектурно система состоит из трех взаимосвязанных подсистем. Первая подсистема количественного прогнозирования, реализующая МАГСП. Вторая подсистема новостной аналитики, агрегирующая RSS-потоки и вычисляющая отраслевые сентимент-индексы. Третья подсистема семантической сети факторов, преобразующая сентимент-оценки и экспертные веса в поправочный коэффициент δ_sem. Информационные потоки между подсистемами организованы следующим образом: новостная подсистема обновляется с еженедельной периодичностью, семантическая поправка пересчитывается при каждом квартальном прогоне, а МАГСП принимает δ_sem как экзогенный сигнал на этапе ансамблевого агрегирования.

Принципиально важен характер связи между новостной подсистемой и прогностической. Новостной сентимент обладает высокой частотой обновления и значительным шумом, тогда как квартальный прогноз требует сглаженных, верифицируемых сигналов. Поэтому в поправку δ_sem включаются не мгновенные сентимент-оценки, а стабильные компоненты: уровень исполнения национальных проектов, накопленное изменение граф-весов факторов и ручные экспертные оценки событийного характера. Сам новостной сентимент отображается пользователю как опережающий качественный индикатор, не входя напрямую в прогностическое уравнение. Такая двухуровневая архитектура предотвращает «замусоривание» прогноза краткосрочным новостным шумом.

Методология МАГСП

Общая структура

Методология адаптивного гибридного сценарного прогнозирования (МАГСП) представляет собой десятиэтапный итерационный алгоритм с четырьмя формализованными точками принятия решений. Формально методология описывается отображением

$$МАГСП: (D, X, \Theta) \rightarrow (Ybase, Ypess, Yopt, Q),$$

где $D = \{y_t\}_{t=1}^{T}$ – временной ряд промышленного показателя длиной T наблюдений; $X = \{X_t\}_{t=1}^{T}$ – матрица внешних факторов размерности $T \times d$, включающая поправку СемП; $\Theta = \{H, k, h, \alpha, \beta, Wq, Wk, Wv, u_i\}$ – вектор гиперпараметров (H – горизонт обучающей выборки; k, h – параметры CUSUM; α, β – ошибки I и II рода для SPRT; $Wq, Wk, Wv \in \mathbb{R}^{dxd}$ – обучаемые матрицы проекций АГАМВФ; u_i – вектор специализации i-й базовой модели); $Убаз, Упесс, Уопт$ – базовый, пессимистический и оптимистический сценарные прогнозы; $Q = \{MAE, MAPE, R^2, DM\text{-}статистика\}$ – вектор показателей качества.

Алгоритм последовательно проходит десять этапов. На первом этапе выполняются загрузка и паспортизация данных: проверяется временной диапазон, фиксируется перечень показателей, верифицируется наличие не менее 20 кварталов. Второй этап включает предобработку – удаление выбросов по правилу 3σ, линейную интерполяцию пропусков, z-нормировку – и проверку стационарности расширенным тестом Дики–Фуллера (ADF). При нестационарности ряда применяется дифференцирование первого порядка с повторным тестом. Третий этап управляет горизонтом обучающей выборки H посредством адаптированного критерия Вальда.

Управление горизонтом обучающей выборки (SPRT)

Первая точка принятия решений реализует последовательный тест отношения правдоподобия SPRT [10] для определения оптимального горизонта H. На каждой итерации вычисляется статистика Λ_k; если Λ_k не достигает установленной границы, горизонт расширяется на один квартал. Критерий позволяет прекратить расширение выборки, как только накоплено достаточно информации для надежной оценки параметров, избегая излишних

итераций. По результатам экспериментов применение SPRT сократило среднее число итераций при квартальных обновлениях данных Росстата на 34 % без статистически значимого ухудшения MAPE (тест Диболда–Мариано, p >0,05).

Детектирование структурных изломов и режимы работы

Вторая точка принятия решений реализует детектирование структурных изломов через CUSUM-статистику с *YoY*-нормализацией. Статистика рассчитывается как

$$S_t^+ = max(0,\ S_{t-1}^+ + e_t - k),\ S_t^- = min(0,\ S_{t-1}^- + e_t + k),$$

где σ_YoY – скользящее стандартное отклонение годовых приростов, $k = 0{,}5\sigma_e$ – допуск на нормальные флуктуации, $e_t = y_t - \hat{y}_{t-1}$ – ошибка прогноза на шаге t (фактическое значение минус прогноз предыдущего шага), S_t^+ *и* S_t^- – статистики для обнаружения смещения вверх и вниз. Структурный излом фиксируется в момент t^*, когда $S_t^* > h$ или $|S_t^*| > h$, где $h = 5\cdot\sigma_e$. Параметры k и h подобраны grid-search на ретроспективном периоде 2013–2020 гг. по критерию минимума MAPE; тестовый период 2021–2025 гг. к подбору не привлекался.

YoY-нормализация устраняет сезонную составляющую, типичную для квартальных промышленных рядов, и снижает число ложных срабатываний по сравнению с классическим CUSUM Пейджа [8]. При превышении статистикой порога $h = 5$ активируется шоковый режим.

В стабильном режиме функционирует метод адаптивного гибридного ансамбля с механизмом внимания к внешним факторам – АГАМВФ. Пусть задано M базовых моделей $\{f_1,\dots,f^M\}$, каждая из которых на шаге t формирует прогноз $\hat{y}_{it}$. Вектор внешних факторов $x_t \in \mathbb{R}^d$ описывает текущее макроэкономическое состояние. Механизм Q/K/V вычисляет адаптивные веса в четыре шага:

$$w_i^{(t)} = \frac{\exp\left(e_i^{(t)} * a_i^{(t)}\right)}{\sum_{J=1}^{K} exp\left(e_i^{(t)} * a_i^{(t)}\right)} Q = x_t \cdot Wq, \quad K = x_t \cdot Wk, \quad V = x_t \cdot Wv; \quad \alpha_t = softmax(Q \cdot K^T/\sqrt{d});$$

$$Z_t = \alpha_t \cdot V; \quad \tilde{w}_{it} = \sigma(Z_t \cdot u_i)\cdot(1-\varepsilon_{it}); \quad w_{it} = \tilde{w}_{it} / \Sigma_j\, \tilde{w}_{jt},$$

$e_i^{(t)} a_i^{(t)} w_i^{(t)} a_i^{(t)}$, где $Wq,\ Wk,\ Wv \in \mathbb{R}^{dxd}$ – обучаемые матрицы проекций; d – размерность пространства факторов; α_t – вектор нормализованных весов внимания; Z_t – контекстный вектор внешней среды в момент t; $\sigma(\cdot)$ – сигмоид-функция; u_i – обучаемый вектор специализации i-й модели (инициализируется равномерно, обновляется методом SGD после каждого квартала); $\varepsilon_{it} = MAE_i(t-k,\dots,t-1) / max_j\, MAE_j$ – нормализованная ошибка i-й модели за последние k шагов. Матрицы $Wq,\ Wk,\ Wv$ и векторы u_i обучаются на исторических данных минимизацией среднеквадратичной ошибки ансамблевых прогнозов. Итоговый прогноз: $\hat{y}_t = \Sigma_i\, w_{it}\cdot\hat{y}_{it}$. Применение АГАМВФ обеспечивает снижение MAE на 17–22 % в периоды умеренной волатильности по сравнению с равновзвешенным ансамблем.

В шоковом режиме активируется метод адаптивного переключения ансамбля при структурных изломах – АСПР. При обнаружении излома ($S_t^* > h$) метод немедленно перераспределяет веса ансамбля в пользу моделей, устойчивых к нестационарности: градиентный бустинг и LSTM получают повышенные веса (×1,3–1,5), линейные модели – пониженные (×0,5–0,6) с нормировкой

$$\sum_i W_{it}^{sh} = 1.$$

Обратный возврат к конфигурации АГАМВФ выполняется за 2–3 квартала после снятия CUSUM-сигнала. Изолированный вклад АСПР в снижение ошибки составил 5,1 п.п. по MAPE в переходных периодах 2022-Q2–2023-Q1.

Сценарный диапазонный прогноз (HICP)

Восьмой этап МАГСП формирует три сценарных прогноза посредством авторской методики HICP, интегрирующей интервальные нейронные сети и аппарат нечеткой логики [18]. Интервальная нейронная сеть задает гарантированные прогнозные границы Y_minus и Y_plus, не опирающиеся на байесовские допущения и сохраняющие устойчивость при зашумленных данных Росстата. Система нечеткой логики присваивает каждому из трех сценариев лингвистическую интерпретацию: пессимистический соответствует нижней границе при неблагоприятном сочетании факторов, оптимистический – верхней при благоприятном, базовый отражает наиболее вероятный исход при текущих условиях. Включение в состав ансамбля предобученной вероятностной модели Chronos-2 [14] позволяет получить независимую оценку прогнозного распределения, которая используется как дополнительная опорная точка при формировании диапазонных границ.

Подсистема новостной аналитики

Агрегация и фильтрация

Подсистема новостной аналитики функционирует в режиме RSS-агрегации без обращения к сторонним API и без использования предобученных языковых моделей, что обеспечивает автономность системы при работе в закрытых корпоративных сетях. Для каждого из восьми источников реализован резервный механизм: при недоступности RSS-ленты система переходит к кешированным данным предыдущего успешного сеанса, предотвращая прерывание прогнозного цикла.

Фильтрация новостей проходит в два этапа. На первом удаляются сообщения, содержащие стоп-слова нерелевантных тематик: спорт, культура, происшествия. Использование регулярных выражений с условиями опережения и отставания (lookahead/lookbehind) предотвращает ложное срабатывание на промышленно значимые термины, корни которых совпадают со стоп-словами, – «экспорт», «транспорт», «транспортировка». На втором этапе каждая прошедшая фильтр новость сопоставляется с тематическими кластерами отраслевых сегментов посредством набора из 120 ключевых слов и двухуровневых контекстных правил причинно-следственного характера.

Сентимент-анализ на отраслевом лексиконе

Сентиментная оценка каждой новости рассчитывается по взвешенному лексикону, включающему 47 позитивных и 52 негативные лексемы, характерные для промышленно-экономического дискурса. В отличие от универсальных словарей лексикон системы контекстуализирован по отрасли: термины «дорожает» и «дорожание» получают положительный знак при отнесении к товарам-экспортерам (нефть, металлы) и отрицательный – применительно к импортируемому сырью и комплектующим. Аналогично слово «санкции» в контексте введения новых ограничений получает отрицательный знак, тогда как в контексте их смягчения или обхода – положительный. Отраслевая контекстуализация реализована через таблицу контекстных правил, сопоставляющую ключевое слово с сегментом и направлением влияния. Лексикон верифицирован на размеченной выборке 200 сообщений: точность $P = 0{,}81$, полнота $R = 0{,}78$, $F1 = 0{,}79$. Сообщения с $SI \in [-0{,}10; 0{,}10]$ классифицируются как нейтральные.

Агрегированный сентимент-индекс для сегмента s за расчетный период определяется как

$$SI_s = \frac{\sum_{i \in N_s}(p_i * w_i)}{\sum_{i \in N_s} w_i} SI_s = \Sigma_n \in N_s \, (score_n \cdot \omega_n) \, / \, \Sigma_n \in N_s \, \omega_n, \quad SI_s \in [-1; +1],$$

$s\rho_i \in [-1;\ 1] i w_i$, где N_s – множество новостей сегмента s; $\text{score}_n \in [-1; +1]$ – тональный балл n-й новости по отраслевому лексикону; ω_n – вес, пропорциональный тематической реле-

вантности (число совпадений с ключевыми лексемами). Индекс SI_s интерпретируется по пятиуровневой шкале: $SI > 0{,}30$ – сильный рост; $0{,}10 < SI \le 0{,}30$ – умеренный рост; $-0{,}10 \le SI \le 0{,}10$ – нейтрально; $-0{,}30 \le SI < -0{,}10$ – умеренный спад; $SI < -0{,}30$ – сильный спад.

Семантическая сеть и формирование поправки СемП

Семантическая сеть факторов промышленности представляет собой взвешенный ориентированный граф $G = (V, E, W)$, вершинами которого служат 67 отраслевых факторов, сгруппированных по шести сегментам. Ребра графа отражают причинно-следственные связи между факторами; веса ребер задаются экспертно и корректируются по результатам ретроспективного корреляционного анализа. Межсегментные связи охватывают технологические цепочки: добыча топлива – нефтепереработка ($r = 0{,}85$), добыча топлива – химия ($r = 0{,}72$), лесная промышленность – бумага и картон ($r = 0{,}75$). Ранжирование узлов по значимости выполняется модифицированным алгоритмом PageRank без применения внешних библиотек.

Итоговая поправка к прогнозу складывается из четырех аддитивных компонентов:

$$СемП = ДП \cdot [0{,}04 \cdot \Sigma СБ + \Delta НП + 0{,}012 \cdot \Sigma РЭО + 0{,}002 \cdot \Delta СОВ],\ СемП \in [-0{,}20;\ +0{,}20],$$

где СемП – семантическая поправка к прогнозу (Δ_сем); ДП – диапазон поправки [−0,20; +0,20]; ΣСБ – сумма сентимент-баллов SI по отраслевым сегментам (каждый $SI \in [-1; +1]$); ΔНП – вклад исполнения национальных проектов (аналитик задает уровень выполнения каждого проекта ползунком 0–1); ΣРЭО – сумма ручных экспертных оценок конкретных событий, вводимых аналитиком; ΔСОВ – суммарное отклонение весов факторов в семантическом графе от базовых значений. Итоговый скорректированный прогноз:

$$УИтог = УБазовый \cdot (1 + СемП).$$

Верификация результатов

Апробация проводилась на квартальных данных Росстата за 2013–2025 годы (48 наблюдений по каждому из шести сегментов). Процедура Walk-Forward реализована с начальным обучающим окном $T_0 = 24$ квартала и шагом прогноза $h = 1$ квартал; расширение окна управляется SPRT ($\alpha = 0{,}05,\ \beta = 0{,}10$). Параметры CUSUM $k = 0{,}5\sigma_e$ и $h = 5\sigma_e$ подобраны grid-search на ретроспективном периоде 2013–2020 гг.; тестовый период 2021–2025 гг. к подбору не привлекался. Доверительные интервалы для MAPE рассчитаны бутстрепом ($B = 1\,000$ итераций); ширина 95%-интервала не превышает ±1,8 п.п. для всех сегментов.

Таблица 1. Снижение MAPE при применении МАГСП относительно базового ансамбля, %

Table 1. MAPE reduction using MAGSP relative to the baseline ensemble, %

Сегмент	Базовый ансамбль, MAPE	МАГСП, MAPE	Снижение
Добыча топлива	4,71	3,57	24,2
Нефтепереработка	3,89	3,22	17,2
Машиностроение	5,43	4,08	24,9
Химия	4,12	3,06	25,7
Строительство	6,87	4,92	28,4
ИПП (сводный)	2,94	2,44	17,0

Источник: составлено автором

Статистическая значимость превосходства МАГСП над базовым ансамблем проверялась тестом Диболда–Мариано [19] с функцией потерь на основе квадратичной ошибки. Нулевая гипотеза об одинаковой прогностической точности отвергается при $p < 0{,}05$ для всех шести сегментов, включая сводный ИПП. Наибольший эффект зафиксирован в строительстве (–28,4 %) и химии (–25,7 %) – отраслях с наибольшей чувствительностью к регуляторным решениям и ценовой конъюнктуре.

Расширенный ablation study проведен в четыре шага.

Шаг 1: отключение механизма внимания АГАМВФ (переход к равновзвешенному ансамблю) – MAPE в стабильных периодах выросла на 3,4 п.п.

Шаг 2: отключение шокового режима АСПР (только стабильный режим на всем горизонте) – MAPE в переходных периодах 2022-Q2–2023-Q1 выросла на 5,1 п.п.

Шаг 3: замена SPRT фиксированным окном $H = const = 24$ квартала – MAPE в среднем выросла на 1,9 п.п.

Шаг 4: отключение семантической поправки (СемП = 0) – MAPE выросла на 2,1–4,3 п.п. в сегментах с высокой чувствительностью к новостному фону. Наибольший изолированный вклад в снижение ошибки дает шоковый режим АСПР (5,1 п.п.).

Метод SPRT проверялся по критерию вычислительной экономии: сравнивалось среднее число итераций расширения обучающего горизонта при фиксированном шаге $H = H + 1$ и при управлении горизонтом через SPRT. При применении SPRT число итераций сократилось в среднем с 11,4 до 7,5 на квартальное обновление (снижение на 34,2 %) при $p = 0{,}032$ по тесту Вилкоксона для парных наблюдений.

Обсуждение и ограничения

Предложенная архитектура содержит ряд ограничений, требующих учета при практическом применении. Лексикон сентимент-анализа насчитывает 99 лексем и не распознает контекстно-инвертированные конструкции: двойное отрицание, иронию, косвенную речь. Переход к нейросетевым моделям тональности потребовал бы обеспечения доступа к внешним API либо встраивания предобученной модели, что противоречит принципу автономности системы. Это компромисс, осознанно принятый в пользу автономности.

МАГСП оптимизирована для горизонта прогнозирования в один квартал. Для среднесрочных горизонтов (восемь кварталов и более) потребуется пересмотр процедуры управления обучающим окном: критерий SPRT в его текущей параметризации не адаптирован к длинным горизонтам. Семантическая сеть охватывает шесть сегментов промышленности, что не исчерпывает ее структуры согласно ОКВЭД. Расширение до полного перечня разделов ОКВЭД потребует значительного роста числа узлов графа и пересмотра матрицы межсегментных корреляций.

Перечисленные ограничения не снижают практическую применимость системы для задачи краткосрочного прогнозирования в рамках горизонта одного квартала на данных Росстата. Они очерчивают область корректного использования результатов и задают конкретную исследовательскую повестку для дальнейшего развития методологии.

Архитектурные и вычислительные ограничения

Система работает в среде Python 3.10 на стандартном аналитическом рабочем месте (CPU 4 ядра, 8 ГБ RAM). Полный квартальный прогон по шести сегментам – 17 базовых моделей, Walk-Forward с SPRT, сентимент-анализ 50–200 новостей – занимает 3–5 минут. Подсистема новостного мониторинга использует RSS без внешних API, что обеспечивает совместимость с изолированными корпоративными сетями; при недоступности RSS она отключается автоматически без прерывания прогноза. При расширении до полного перечня ОКВЭД (около 90 сегментов) время прогона оценивается в 30–40 минут за счет параллельного обхода сегментов в отдельных потоках.

Заключение

В статье представлена информационно-аналитическая система прогнозирования промышленных показателей России, реализующая методологию адаптивного гибридного сценарного прогнозирования. Практическая значимость работы определяется тремя основными результатами.

Первое: разработан механизм органичной интеграции новостной аналитики в количественный прогностический процесс. Четырехкомпонентная поправка семантической сети СемП транслирует качественные сигналы новостного пространства в скалярную корректировку прогноза без подмены статистической оценки экспертным суждением. Ablation study подтвердил информационную ценность компонента для сегментов с высокой чувствительностью к регуляторным решениям.

Второе: предложен двухрежимный адаптивный ансамбль, переключающийся между attention-взвешиванием (АГАМВФ) в стабильных условиях и структурной перекомпоновкой состава (АСПР) при обнаружении шоков посредством CUSUM-критерия. По результатам Walk-Forward верификации на квартальных данных 2013–2025 годов MAPE снижается на 17–29 % относительно фиксированного ансамбля при статистически значимом превосходстве по тесту Диболда–Мариано.

Третье: адаптирован последовательный критерий Вальда для задачи динамического управления горизонтом обучающей выборки, что сокращает вычислительную нагрузку при квартальных обновлениях данных Росстата приблизительно на треть без значимого ухудшения качества прогноза.

Сочетание перечисленных решений формирует методологически согласованную систему, способную работать в автономном режиме на коротких нестационарных рядах квартальной промышленной статистики России. Направлениями дальнейших исследований являются: расширение охвата до полного перечня разделов ОКВЭД; разработка нейросетевого компонента сентимент-анализа с сохранением автономности системы; адаптация SPRT для среднесрочных горизонтов прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Якименко И. В.* Моделирование устойчивого развития региональной экономики и прогнозирование экономической динамики региона // Инновации и инвестиции. 2015. № 9. С. 108–112. EDN: WIRYYT

Yakimenko I.V. Modeling the sustainable development of a regional economy and forecasting regional economic dynamics. *Innovation & Investment.* 2015. No. 9. Pp. 108–112. EDN: WIRYYT. (In Russian)

2. *Комков Н. И., Ерошкин С. Ю.* Методические основы прогнозирования технологического развития // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2006. Т. 4. С. 176–206. EDN: KWODSH.

Komkov N.I., Eroshkin S.Yu. Methodical aspects of the technological development forecasting. *Scientific Proceedings: Institute of Economic Forecasting*. 2006. Vol. 4. Pp. 176–206. EDN: KWODSH. (In Russian)

3. *Березкин Д. В., Козлов И. А., Мартынюк П. А.* Гибридный подход к прогнозированию возникновения и развития новых направлений в научно-технической сфере // *Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы VI Всероссийской Поспеловской конф., Калининград, 27 июня, 01 июля 2022 г. Калининград: БФУ им. И. Канта*, 2022. С. 143–150. DOI: 10.5922/978-5-9971-0687-4-5. EDN EFKJME. (In Russian)

Berezkin D.V., Kozlov I.A., Martynyuk P.A. A hybrid approach to forecasting the emergence and development of new trends in the scientific and technical sphere. *Gibridnye i sinergeticheskie*

intellektual'nye sistemy [Hybrid and synergistic intelligent systems]: *in materialy VI Vserossijskoj Pospelovskoj konf.* 2022. Kaliningrad: BFU im. I. Kanta. (In Russian)

4. *Болсуновская М. В., Гинцяк А. М., Бурлуцкая Ж. В. и др.* Возможности применения гибридного подхода в моделировании социально-экономических и социотехнических систем // *Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии.* 2022. № 3. С. 73–86. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2022/3/73-86

Bolsunovskaya M.V., Gintciak A.M., Burlutskaya Z.V. et al. The opportunities of using a hybrid approach for modeling socio-economic and sociotechnical systems. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies.* 2022. No. 3. Pp. 73–86. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2022/3/73-86. (In Russian)

5. *Китова О. В., Савинова В. М.* Структура и информационно-логическая схема работы системы прогнозирования экономических временных рядов «СГМ Горизонт» // Modern Economy Success. 2020. № 5. *С. 190–197. EDN: JUVJEJ.*

Kitova O.V., Savinova V.M. Structure and information and logical scheme of the economic time series forecasting system “Sgm Horizon” *Modern Economy Success*. 2020. No. 5. Pp. 190–197. EDN: JUVJEJ. (In Russian)

6. Breiman L. Random forests. *Machine Learning.* 2001. Vol. 45. No. 1. Pp. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324

7. Makridakis S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. Statistical and Machine Learning forecasting methods: concerns and ways forward. *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13. No. 3. P. e0194889. DOI: 10.1371/journal.pone.0194889

8. Page E.S. Continuous inspection schemes. *Biometrika*. 1954. Vol. 41. No. 1/2. Pp. 100–115. DOI: 10.2307/2333009

9. Chow G.C. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*. 1960. Vol. 28. No. 3. Pp. 591–605. DOI: 10.2307/1910133

10. Wald A. Sequential tests of statistical hypotheses. *Annals of Mathematical Statistics*. 1945. Vol. 16. No. 2. Pp. 117–186. DOI: 10.1214/aoms/1177731118

11. Baker S.R., Bloom N., Davis S.J. Measuring economic policy uncertainty. *Quarterly Journal of Economics*. 2016. Vol. 131. No. 4. Pp. 1593–1636. DOI: 10.1093/qje/qjw024

12. Nassirtoussi A.K., Aghabozorgi S., Wah T.Y., Ngo D.C.L. Text mining for market prediction: a systematic review. *Expert Systems with Applications.* 2014. Vol. 41. No. 16. Pp. 7653–7670. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.06.009

13. Kalamara E., Turrell A., Redl C. et al. Making text count: economic forecasting using newspaper text. *Journal of Applied Econometrics*. 2022. Vol. 37. No. 5. Pp. 896–919. DOI: 10.1002/jae.2907

14. Ansari A.F., Stella L., Turkmen C. et al. Chronos: learning the language of time series. *Transactions on Machine Learning Research*. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2403.07815

15. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30. Pp. 5998–6008.

16. Chen T., Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. San Francisco, 2016. Pp. 785–794. DOI: 10.1145/2939672.2939785

17. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory. *Neural Computation*. 1997. Vol. 9. No. 8. Pp. 1735–1780. DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735

18. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965. Vol. 8. No. 3. Pp. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X

19. Diebold F.X., Mariano R.S. Comparing predictive accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics.* 1995. Vol. 13. No. 3. Pp. 253–263. DOI: 10.2307/1392185

20. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021. 442 p.

21. *Китова О. В., Дьяконова Л. П., Савинова В. М.* Комплекс гибридных моделей прогнозирования социально-экономических показателей Российской Федерации и их реализация в интеллектуальной системе «Горизонт» // *Экономика, предпринимательство и право*. 2023. Т. 13. № 4. С. 1057–1084. DOI: 10.18334/epp.13.4.117552.

Kitova O.V., Dyakonova L.P., Savinova V.M. A set of hybrid models for forecasting socio-economic indicators of the Russian Federation and their implementation in the intelligent horizon system. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 1057–1084. DOI: 10.18334/epp.13.4.117552. (In Russian)

22. *Аганбегян А. Г.* О новой роли банков в финансировании послекризисного социально-экономического развития России (субъективные заметки) // Деньги и кредит. 2011. № 1. С. 27–36. EDN: NDBOVR

Aganbegyan A.G. On the new role of banks in financing Russia's post-crisis socio-economic development (subjective observations). *Den'gi i Kredit*. 2011. No. 1. Pp. 27–36. EDN: NDBOVR. (In Russian)

23. Friedman J.H. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of Statistics*. 2001. Vol. 29. No. 5. Pp. 1189–1232. DOI: 10.1214/aos/1013203451

24. Dickey D.A., Fuller W.A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*. 1979. Vol. 74. No. 366. Pp. 427–431. DOI: 10.2307/2286348

Финансирование. Работа выполнена в рамках научной работы аспиранта.

Funding. The work was conducted within the framework of a postgraduate research project.

Информация об авторе

Иксанов Владислав Рашидович, аспирант кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;
vlad-iksanov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7810-3720, SPIN-код: 6750-3298

Information about the author

Vladislav R. Iksanov, Postgraduate Student, Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics;
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia;
vlad-iksanov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7810-3720, SPIN-code: 6750-3298

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 004.896:025.3 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-115-136
GXKPZT

Применение мультимодального алгоритма классификации для архивации и каталогизации

С. А. Палибза, Д. В. Гадасин✉, Л. А. Тремасова, Д. В. Игнатов

Московский технический университет связи и информатики
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А

Аннотация. Актуальность работы обусловлена трудоемкостью ручного библиографического описания и необходимостью учитывать разнородные данные документа: текст, структуру, таблицы, изображения и метаданные. В работе рассматриваются проблемы обработки документов при их архивации, а также варианты применения мультимодального алгоритма для классификации оцифрованных работ на этапе программно-технологической обработки документов.

Цель исследования – разработка и экспериментальная оценка мультимодального алгоритма автоматической тематико-структурной классификации оцифрованных документов для поддержки архивации и каталогизации.

Материалы и методы исследования. В работе используется корпус из 2084 научных статей и учебников из arXiv и OpenStax, размеченный по 13 меткам типов публикаций, предметных областей, структурных характеристик и качества носителя. Из PDF-документов извлекались текст, метаданные, структура, таблицы, формулы и иллюстрации. Алгоритм включает кодировщики DistilBERT, Vision Transformer и Table Transformer, конкатенацию эмбеддингов, снижение размерности методом главных компонент, модальное выравнивание на основе контрастивного обучения и взвешенное объединение решений классификаторов. Проведено абляционное сравнение конфигураций text-only, text+tabular и multimodal по метрикам micro-F1, macro-F1 и mAP.

Результаты. В качестве основных результатов отмечается, что наилучшие результаты показала конфигурация text+tabular: micro-F1 – 0,947, macro-F1 – 0,845, mAP – 0,867. Относительно базовой текстовой модели прирост micro-F1 составил 0,025, macro-F1 – 0,011, mAP – 0,021. На редких классах F1 для review_article увеличился с 0,447 до 0,662, для mathematics – с 0,587 до 0,712. Добавление визуальной модальности не обеспечило устойчивого улучшения метрик и увеличило время инференса примерно в 2,4 раза.

Заключение. Таким образом, мультимодальный подход целесообразен к применению в случае автоматической каталогизации оцифрованных документов; основной вклад обеспечивают текстовые, структурные и табличные признаки. Дальнейшая работа связана с проверкой модели на экспертно размеченном архивном корпусе с индексами УДК, ББК и ГРНТИ и реализацией сценария «человек + ИИ».

Ключевые слова: мультимодальное обучение, трансформеры, контрастивное обучение, автоматическая каталогизация, классификация документов, архивное описание, абляционный анализ.

Поступила 05.05.2026, одобрена после рецензирования 07.07.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Палибза С. А., Гадасин Д. В., Тремасова Л. А., Игнатов Д. В. Применение мультимодального алгоритма классификации для архивации и каталогизации // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 115–136. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-115-136

© Палибза С. А., Гадасин Д. В., Тремасова Л. А., Игнатов Д. В., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68M12 Original article

Applying a multimodal classification algorithm to archiving and cataloging

S.A. Palibza, D.V. Gadasin✉, L.A. Tremasova, D.V. Ignatov

Moscow Technical University of Communications and Informatics
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia

Abstract. The relevance of this work stems from the labor-intensive nature of manual bibliographic description and the need to consider diverse document data: text, structure, tables, images, and metadata. This study examines the issues of document processing during archiving and investigates how a multimodal algorithm can be applied to classify digitized works within the software-technological pipeline.

Aim. The objective of this study is to design and experimentally validate a multimodal algorithm for automated thematic and structural document classification, aimed at streamlining archiving and cataloging processes.

Materials and methods. The work employs a dataset of 2,084 research articles and textbooks from arXiv and OpenStax, annotated across 13 classes including publication types, subject domains, structural features, and media quality. The proposed approach extracts text, metadata, layout structure, tables, formulas, and figures from the PDF documents. The algorithm incorporates DistilBERT, Vision Transformer, and Table Transformer encoders, embedding concatenation, principal component analysis for dimensionality reduction, contrastive learning-based modal alignment, and weighted classifier ensemble. An ablation study was conducted to compare text-only, text+tabular, and multimodal configurations using micro-F1, macro-F1, and mAP metrics.

Results. As the main results, the text+tabular configuration demonstrated the highest accuracy, yielding micro-F1 = 0.947, macro-F1 = 0.845, and mAP = 0.867. Relative to the text-only baseline, the micro-F1 score increased by 0.025, macro-F1 by 0.011, and mAP by 0.021. On minority classes, the F1-score for review_article improved from 0.447 to 0.662, while for mathematics, it rose from 0.587 to 0.712. Incorporating the visual modality did not yield a stable increase in performance while increasing inference time by roughly 2.4x.

Conclusion. Consequently, the multimodal approach is highly recommended for automated digitized document cataloging, where textual, structural, and tabular features deliver the most significant contribution. Further research involves testing the model on an expertly labeled archival corpus using library classification codes (UDK, BBK, and GRNTI) and deploying a human-AI collaboration scenario.

Keywords: multimodal learning, transformers, contrastive learning, automatic cataloging, document classification, archival description, ablation analysis

Submitted 05.05.2026, approved after reviewing 07.07.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Palibza S.A., Gadasin D.V., Tremasova L.A., Ignatov D.V. Applying a multimodal classification algorithm to archiving and cataloging. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 115–136. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-115-136

Введение

В последние годы государственные архивы активно оцифровывают фонды, однако каталогизация сканов по-прежнему выполняется в основном вручную. Для каждого документа архивисту нужно прочитать текст, разобраться в содержании и присвоить ему индексы по ГОСТ Р 7.0.100–2018, УДК и ББК. По оценкам, которые приводятся в работах по

© Palibza S.A., Gadasin D.V., Tremasova L.A., Ignatov D.V., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

автоматизации библиотечно-информационных процессов, на описание одного документа уходит не менее двух минут работы специалиста; для архива объемом около миллиона единиц хранения это десятки человеко-лет. При текущем количестве квалифицированных каталогизаторов такие объемы обработать в разумные сроки практически невозможно [1–4].

Специалисты рассматривают инструменты с искусственным интеллектом как наиболее значимые драйверы изменений в библиотечной среде. Такие инструменты помогают с автоматическим предметным индексированием, классификацией и присвоением ключевых слов, сокращая объем ручной работы каталогизаторов и повышая согласованность метаданных в крупномасштабных цифровых коллекциях [3, 5].

Обзор стандартов и литературы

Нормативная база, регулирующая описание документов, одновременно задает высокую планку качества и усиливает нагрузку на специалистов. Национальный стандарт ГОСТ Р 7.0.100–2018 определяет библиографическую запись как формализованное описание информационного ресурса и устанавливает набор областей и элементов (область заглавия и сведений об ответственности, область издания, область публикации, область вида содержания и средства доступа и др.), а также их обязательность, последовательность и правила представления, включая предписанную пунктуацию. Этот стандарт является базовым документом для подготовки нормативно-методических материалов по библиографическому описанию всех видов информационных ресурсов и обязателен для государственных библиотек и учреждений, осуществляющих библиографирование и каталогизацию. В практических публикациях, посвященных внедрению ГОСТ Р 7.0.100–2018 в российских библиотеках, отмечаются как его методическая значимость, так и сложности, связанные с обновлением программного обеспечения, подготовкой специалистов и интеграцией описания различных объектов культуры в едином формате [6–8].

Параллельно с ГОСТами в российских и зарубежных библиотеках используется семейство форматов MARC, предназначенных для машиночитаемой каталогизации. Формат MARC 21 представляет собой комплекс специализированных форматов для библиографических, авторитетных и классификационных данных, поддерживает Unicode и фактически является международным стандартом обмена библиографической информацией. Российские автоматизированные библиотечно-информационные системы, такие как модули каталогизации в ряде АБИС, реализуют поддержку MARC21 и RUSMARC, обеспечивая ввод, редактирование и выгрузку библиографических записей в этих форматах, а также многоуровневую структуру связанных записей. Однако аналитика развития компьютерных библиотечных технологий в России указывает, что одновременное использование нескольких марк-форматов (MARC21, UNIMARC, RUSMARC) и ведомственная разобщенность библиотек осложняют корпоративную каталогизацию и обмен записями, что приводит к дублированию труда и неоднородности метаданных [9, 10].

Вопросы цифровой трансформации библиотек и архивов, автоматизации описания и систематизации документов, а также использования методов искусственного интеллекта для каталогизации подробно обсуждаются в современной литературе. Кратко остановимся на работах, в которых затрагиваются именно цифровые архивы, автоматическая классификация и требования стандартов описания.

В статье «AI-supported cataloger: a deep dive into intelligent document classification» Йи-Шуай Сюй, А.М.К. Янти Идая и соавторы [11] рассматривают применение методов машинного обучения и обработки естественного языка для автоматического присвоения рубрик и ключевых слов. Авторы приходят к выводу, что ИИ-подходы существенно повышают эффективность каталогизации, но при этом сталкиваются с дефицитом размеченных данных, проблемами интероперабельности между различными стандартами описания и вопросами интерпретируемости результатов для библиотечных специалистов.

В статье Ю. Заславского и Б. Маршака «Building information resources of VAK archival documents» [5] рассматриваются концепция и опыт создания архива документов Высшей аттестационной комиссии. Авторы подчеркивают особую сложность и трудоемкость этапов отбора, систематизации и приведения метаданных к единым требованиям. Схожая тема обсуждается и в статье Е. М. Зайцева «Проблемы создания электронных архивов. (Опыт формирования электронного архива документов ВАК)» [12]. В частности, там выделяется проблема классификации документов и необходимость предусмотреть возможности и технологию пополнения набора метаданных и значений каждого вида метаданных.

Обобщенно работу с документами в процессе архивации можно описать пятью шагами, которые представлены на рис. 1.

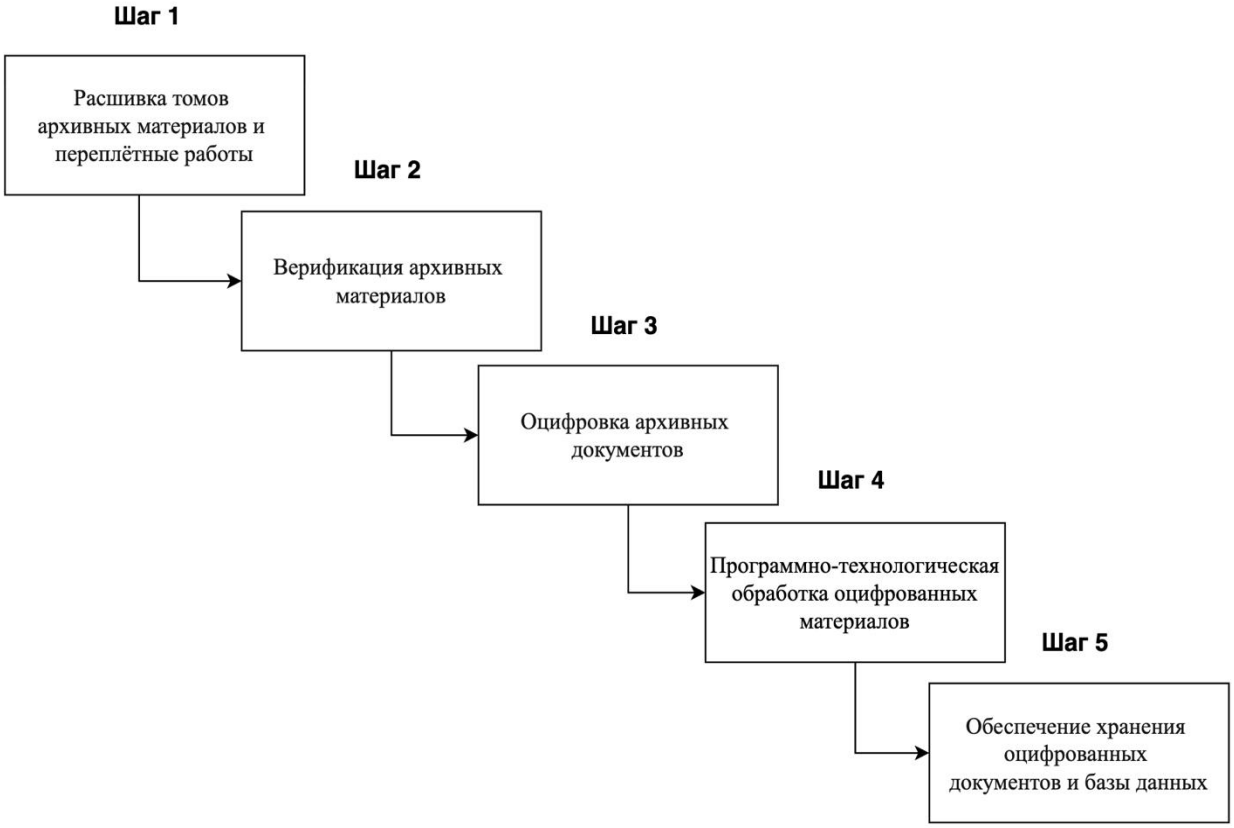


***Рис. 1**. Обобщенный процесс работы с документами при архивации*

***Fig. 1**. Overview of the document processing framework in archiving*

Каждый из этих шагов является значимым, но в этой работе предлагается рассмотреть четвертый пункт с программно-технической обработкой и сосредоточиться на автоматизации процесса классификации уже оцифрованных документов.

Для классификации документа необходимо извлечь из него информацию в структурированном виде. Например, для этого можно использовать открытую систему GROBID, предназначенную для этой цели. Эта система используется издателями, агрегаторами, библиотеками и научными архивами. Извлекаются отдельно текст, изображения, формулы, структура секций, источники и др. На основе этой информации алгоритм может классифицировать работу, присвоив ей классификационный код согласно ГОСТ 7.0.100-2018, ББК и УДК. Тогда четвертый шаг с цифровой обработкой можно представить так, как изображено на рис. 2.

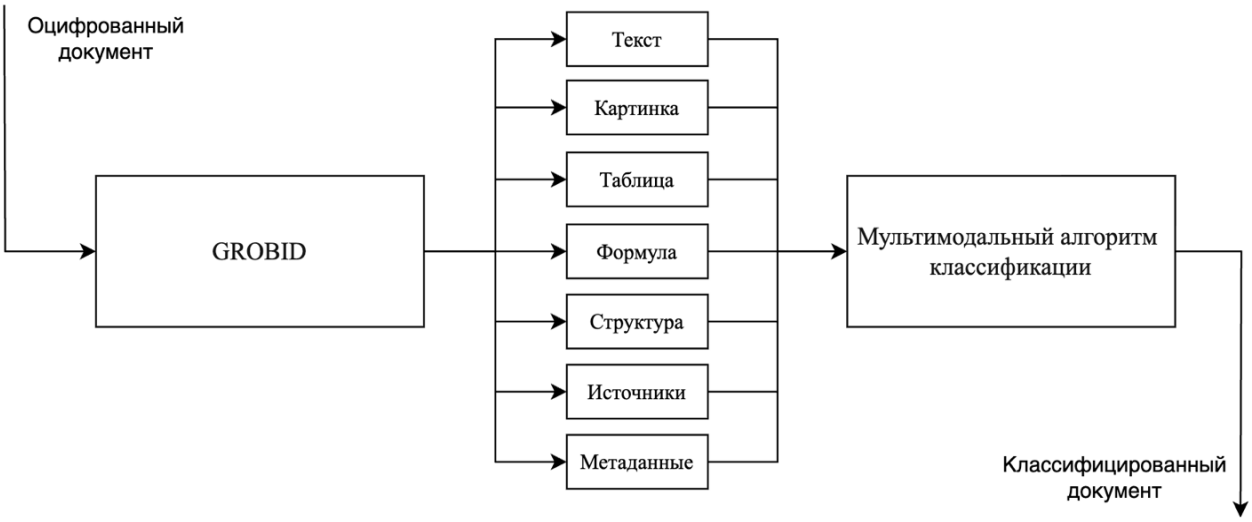


***Рис. 2**. Расширенный вариант четвертого шага*

***Fig. 2**. Extended version of the fourth step*

Мультимодальный алгоритм классификации

Мультимодальная модель должна анализировать информацию по каждой из модальностей и предоставлять результат классификации на выходе обработки.

На первом шаге для каждой модальности создается векторное представление (эмбеддинг) при помощи специализированных алгоритмов. Текстовое векторное представление создается при помощи алгоритма DistilBERT, для изображений используется ViT, для таблиц используется Table Transformer и т.д. На выходе получается набор векторных представлений разной размерности. Обозначим множество модальностей M.

$$\mathrm{M} = \{\text{text}, \text{image}, \text{formula}, \text{structure}, \text{references}, \text{metadata}\}.$$

Каждая модальность $m \in M$ имеет свои входные данные x_m (текст, картинка, таблица и т.д.) и свой специализированный экстрактор f_m (нейросеть), выдающий вектор длины d_m. Тогда эмбеддинг для модальности m записывается так: $e_m = f_m(x_m),\ e_m \in \mathbb{R}^{d_m}$. На рис. 3 показано наглядное представление работы первого шага.

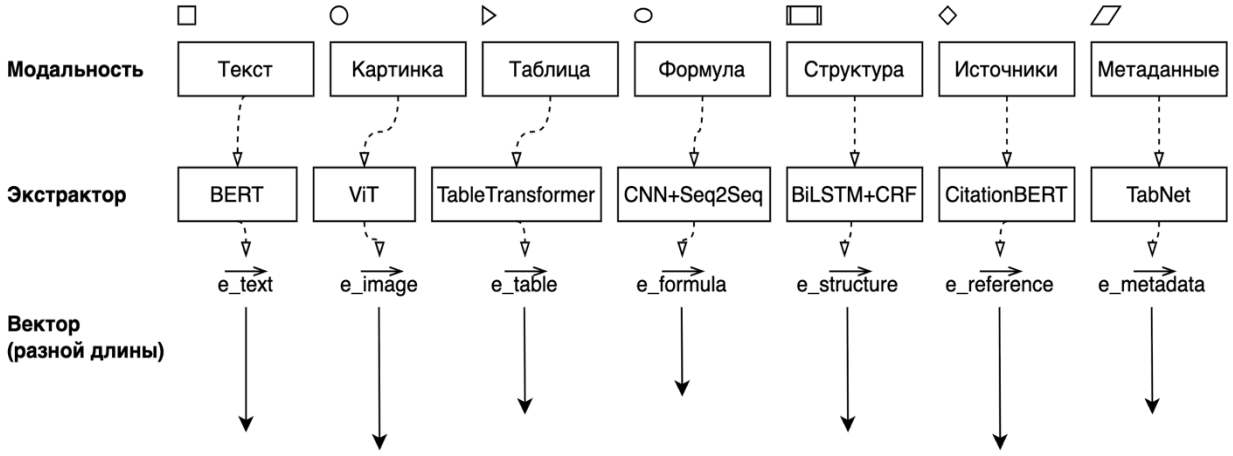


***Рис. 3**. Первый шаг алгоритма / **Fig. 3**. The first step of the algorithm*

На втором шаге необходимо объединить все эмбеддинги в единый вектор с последующим снижением размерности методом главных компонент. Допустим, на выходе первого шага были получены следующие эмбеддинги: $e_{text} \in R^{768}$, $e_{image} \in R^{768}$, $e_{table} \in R^{512}$, $e_{formula} \in R^{256}$, $e_{structure} \in R^{384}$, $e_{references} \in R^{768}$, $e_{metadata} \in R^{256}$. Тогда после конкатенации получится следующий вектор: $e_{concat} = [e_{text}, e_{image}, e_{table}, e_{formula}, e_{structure}, e_{references}, e_{metadata}] \in R^{3702}$.

Таким образом мы получаем универсальное представление объекта, которое учитывает все модальности. Такой вектор сохраняет всю исходную информацию, но в очень длинной форме (3702 признака). Поэтому после конкатенации необходимо сжать этот вектор методом главных компонент (PCA). PCA позволяет найти векторы, вдоль которых данные изменяются сильнее всего (имеют наибольшую дисперсию). Это происходит в несколько подшагов. Сначала происходит стандартизация данных, чтобы признаки с разными масштабами не исказили результат:

$$X' = X - \mu,\ \mu = \frac{1}{B}\sum_{i=1}^{B} X_i\,.$$

Затем строится ковариационная матрица, чтобы определить зависимости между признаками:

$$C = \frac{1}{B-1}(X')^T, \quad X' \in \mathbb{R}^{3702\text{x}3702}\ .$$

По ковариационной матрице ищутся собственные значения и векторы. Это такие векторы v_j, которые при умножении на матрицу C не меняют своего направления, а только растягиваются на число λ_j. Это число является собственным значением и показывает, насколько сильно данные растянуты вдоль вектора. Иначе говоря, насколько данный вектор объясняет вариацию данных:

$$Cv_j = \lambda_j v_j.$$

Далее происходит сортировка по убыванию дисперсии, чтобы взять из нее только первые компоненты, лучше всего объясняющие изменчивость данных. Остальные компоненты содержат в основном шум или незначительные детали:

$$V_k = [V_1, V_2, \ldots, V_{512}] \in \mathbb{R}^{3702\text{x}512}.$$

В конце происходит проекция данных на найденные главные компоненты V_k, что и позволяет снизить размерность:

$$Z = X'V_k \in \mathbb{R}^{B\text{x}512}\ .$$

Каждая строка в Z теперь – это тот же объект, но выраженный через новые оси признаков. На рис. 4 наглядно показана работа второго шага алгоритма.

На третьем шаге на вход поступает единый вектор признаков $X \in R^{Bx512}$. Но часть координат в нем больше отражают текст, часть – картинку, часть – таблицу. Проблема в том, что после PCA между модальностями может быть разрыв (modality gap). Например, вектор для текста и вектор для изображения, описывающих одно и то же понятие, могут находиться далеко друг от друга в пространстве. Необходимо выровнять представления на нескольких подшагах. Здесь данные уже не просто объединяются, а помещаются в общее пространство. Для этого используются три инструмента: контрастивное обучение (Contrastive Learning), регуляризация модального разрыва (Modality Gap Regularization), нейронный слой выравнивания (Alignment Layer).

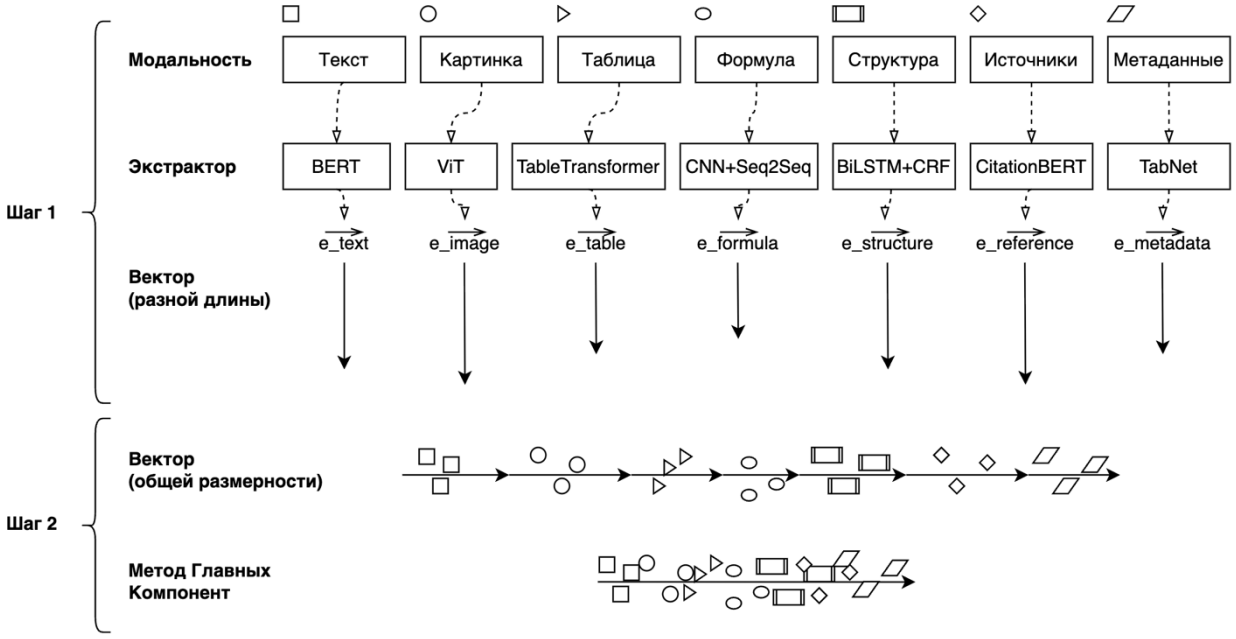


***Рис. 4**. Второй шаг алгоритма / **Fig. 4**. The second step of the algorithm*

Contrastive Learning заставляет похожие объекты быть ближе. Modality Gap Regularization делает модальные распределения более равномерными. Alignment Layer – обучаемое преобразование, которое уточняет структуру признаков.

Контрастивное обучение сближает векторы схожих объектов в латентном пространстве и отдаляет векторы различающихся объектов. Формула функции потерь выглядит следующим образом:

$$L_{constrastive} = -\frac{1}{B}\sum_{i=1}^{B}\log\frac{\sum_{j} 1[y_i = y_j]\exp\left(\frac{e_i e_j}{\tau}\right)}{\sum k\exp\left(\frac{e_i e_j}{\tau}\right)},$$

где:

e_i – вектор эмбеддинга i-го объекта;

y_i – метка этого объекта (например, к какой статье или классу он относится);

τ-*temperature* – коэффициент масштабирования, контролирующий «резкость» распределения;

$e_i \cdot e_j$ – скалярное произведение или же сходство между двумя объектами;

$1[y_i=y_j]$ – индикатор, равный 1, если объекты принадлежат одному классу, и 0 – если нет.

Благодаря этому действию модель понимает, что два объекта, относящихся к одному понятию, должны иметь в пространстве близкие друг к другу векторы.

Регуляризация модального разрыва сглаживает различия между модальностями, делая распределение более равномерным. Формула выглядит следующим образом:

$$L_{gap} = \frac{1}{d}\sum_{j=1}^{d}\mathrm{Std}\left(\frac{e_j}{\tau}\right),$$

где:

e_j – j-й столбец матрицы эмбеддингов (все значения j-го признака по батчу);

Std – стандартное отклонение.

Это позволяет нормализовать эмбеддинги по температуре. Берется среднее значение разброса по каждой координате. Чем оно больше, тем сильнее модальности отличаются друг от друга. Данная функция поощряет уменьшение этого разброса.

Далее идет слой выравнивания, который позволяет PCA-векторам разных модальностей лучше наложиться друг на друга. Его можно представить следующим образом:

$$Z = f_{\text{align}}(X) = W_2\sigma\big(BN(W_1X + b_1)\big) + b_2 \ ,$$

где:

$X \in R^{Bx512}$ – вход из PCA;

W_1, W_2 – обучаемые веса линейных слоев;

σ – функция ReLU (нелинейность);

BN – batch normalization;

Z – скорректированные признаки (aligned features).

На выходе получается вектор, где эмбеддинги из разных модальностей, описывающих один объект, расположены близко, а общее пространство стало семантически согласованным. Итоговая функция потерь получается следующей:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{contastive}} + \alpha L_{\text{gap}} \ ,$$

где α – вес, регулирующий вклад регуляризации.

На рис. 5 наглядно показана работа третьего шага алгоритма.

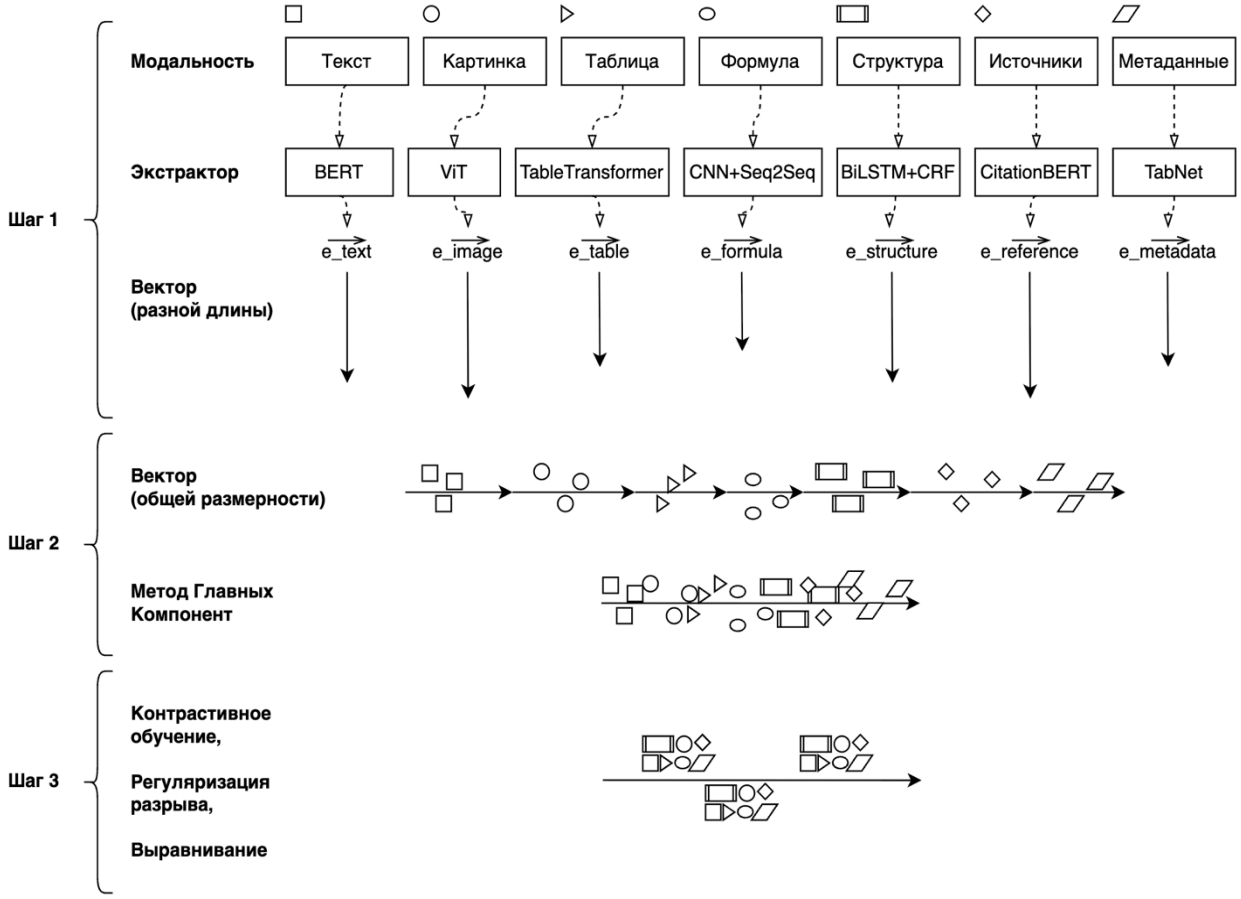


***Рис. 5**. Третий шаг алгоритма / **Fig. 5**. The third step of the algorithm*

На четвертом шаге происходит объединение результатов работы нескольких моделей таким образом, чтобы итоговое решение было статистически наиболее вероятным (decision fusion). Для этого используется метод наибольшего правдоподобия.

Каждый классификатор смотрит на одни и те же признаки, но обучен выявлять разные аспекты, такие как текст, изображения, структуру и т.д. Формально классификатор – это линейная модель:

$$log\,its_k = ZW_k + b_k,$$

где:

$Z \in R^{Bx512}$ – выровненные признаки с шага 3;

$k \in \{1, 2, 3, 4\}$ – номер классификатора;

$W_k \in R^{Cx512}$;

C – количество классов.

Вероятностное предсказание классификатора тогда будет иметь следующий вид:

$$P_k(y = c|Z) = \frac{\exp(log\ its_{k,c})}{\sum_{j=1}^{c} \exp\,(log\ its_{k,j})}.$$

Для того чтобы классификатор с наибольшим правдоподобием получил наибольший вес, необходимо сформировать матрицу правдоподобия. В случае, если модель обучается, т.е. известны метки y_i, правдоподобие получается по формуле

$$l_{ik} = P_k(y_i|Z_i).$$

Если же модель работает в режиме инференса, правдоподобие получается по формуле

$$l_{ik} = \max_c \mathrm{P}_k(y = c|Z_i),$$

где

l_{ik} – правдоподобие классификатора k на объекте i.

Затем формируется матрица L:

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1K} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2K} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ l_{B1} & l_{B2} & \dots & l_{BK} \end{bmatrix}.$$

После этого она нормализуется через softmax:

$$\mathrm{w}_{\mathrm{ik}} = \frac{\exp(\mathrm{l}_{\mathrm{ik}})}{\sum_{\mathrm{j=1}}^{\mathrm{K}} \exp(\mathrm{l}_{\mathrm{ij}})}.$$

Таким образом, финальное распределение вероятностей для объекта будет следующим:

$$P_{\mathrm{final}}(\mathrm{y} = c|Z_i) = \sum_{k=1}^{K} \mathrm{w}_{ik} \cdot \mathrm{P}_k(\mathrm{y} = c|Z_i).$$

На этом шаге каждый классификатор имеет свой вес, влияющий на итоговое решение. Каждый классификатор делает независимое предсказание. Для каждого классификатора вычисляется правдоподобие, которое через Softmax превращается в веса. Decision Fusion выбирает те веса, которые максимизируют правдоподобие решения.

На рис. 6 наглядно показана работа четвертого шага алгоритма.

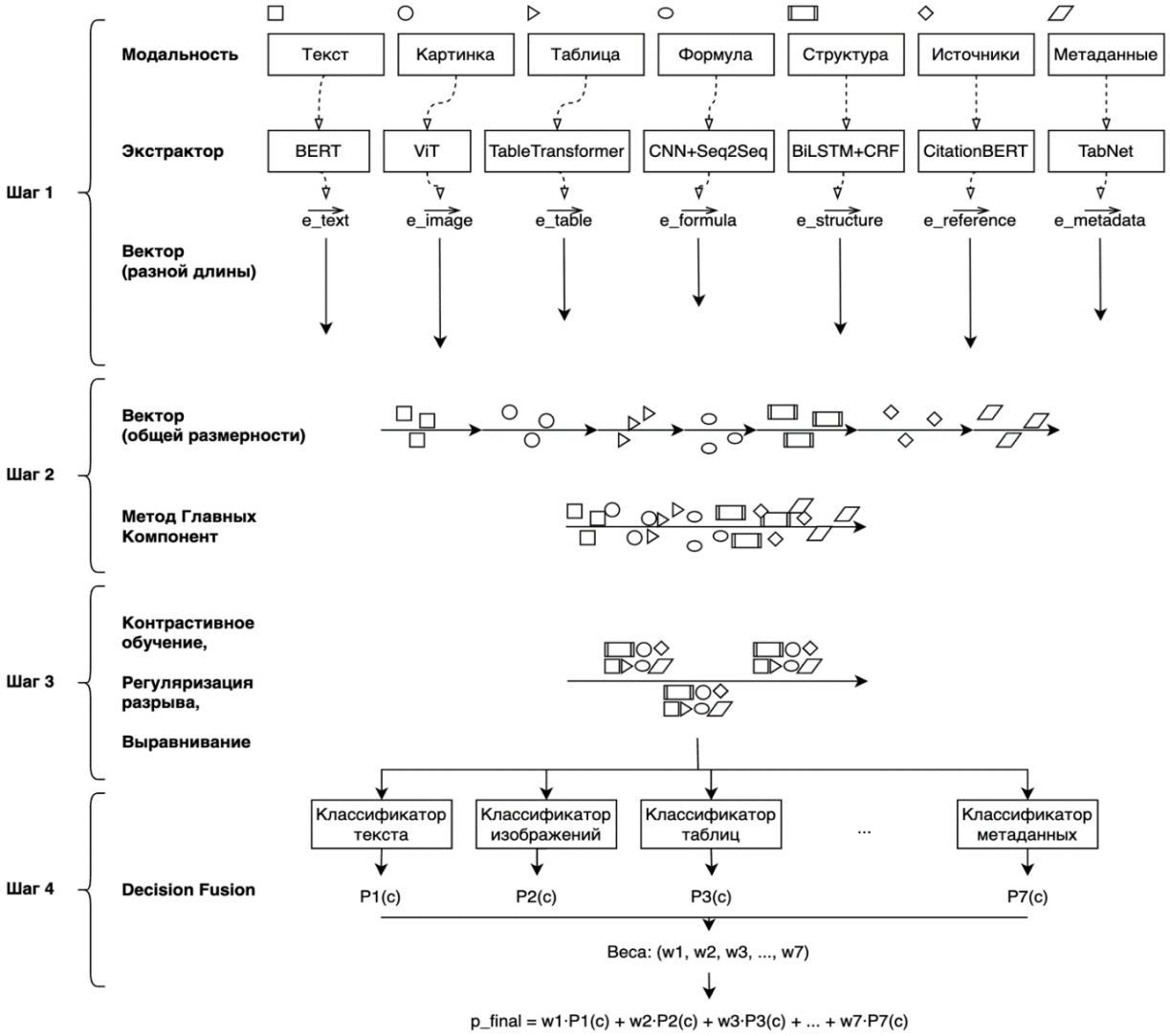


***Рис. 6**. Четвертый шаг алгоритма / **Fig. 6**. The fourth step of the algorithm*

Экспериментальная проверка алгоритма

Опишем алгоритм на уровне формальной постановки. Для подтверждения его применимости к задаче автоматической каталогизации необходима количественная экспериментальная оценка. В данном разделе приводятся характеристики использованного корпуса и схемы разметки, методика эксперимента и метрики, результаты сравнения с базовой моделью, анализ вклада отдельных компонентов, поведение на редких классах и оценка вычислительной эффективности.

Корпус документов и схема разметки

Готовый размеченный корпус, полностью соответствующий задаче, подобрать затруднительно: требуются оцифрованные научные статьи, книги и учебники в формате PDF, а также отдельный слой документов с OCR-шумом, имитирующий артефакты распознавания исторических и низкокачественных сканов. В качестве потенциальных источников рассматривались arXiv, S2ORC, PubMed Central и Open Textbook Library, а также синтетически

зашумленный OCR-корпус (S2ORC, ACL Anthology). Из соображений ограниченного времени в настоящем эксперименте использованы два источника – arXiv (научные статьи) и OpenStax (учебники), что обеспечило корпус из 2084 документов. Из каждого документа с помощью системы структурного парсинга GROBID извлекались текст, логическая структура (заголовки, аннотация, разделы, список литературы, подписи), таблицы, формулы и метаданные (GROBID). Каждая запись нормализовалась к единому виду, включающему идентификатор, извлеченные модальности и набор меток.

Разметка выполнена многослойно: документу одновременно присваивается несколько меток, относящихся к различным аспектам – типу публикации (например, scientific_article, review_article, textbook), предметному домену (computer_science, mathematics, physics и др.), формально-структурным характеристикам (has_references, richly_formatted, contains_figures, contains_tables) и качеству/носителю (в том числе пометка OCR-шумных версий). Такая схема естественным образом приводит задачу к постановке многометочной (multi-label) классификации, при которой метки не являются взаимоисключающими.

Принципиально важно обосновать, почему именно эта четырехслойная схема использована как прокси-онтология для проверки алгоритма, ориентированного в перспективе на индексы УДК, ББК и ГРНТИ. Многоуровневое библиотечно-архивное индексирование по своему характеру представляет собой иерархическое многометочное присвоение тематических и типовых индексов: одному документу одновременно ставятся в соответствие предметный индекс (УДК/ББК), отраслевой код (ГРНТИ), а также характеристики типа и формы документа согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018. Используемая в эксперименте схема воспроизводит ровно эти свойства: слой домена функционально аналогичен предметному индексу, слой типа публикации – типовой характеристике документа, а формально-структурный слой отражает признаки оформления, существенные при описании. Иными словами, с точки зрения машинного обучения обе задачи относятся к одному классу – иерархической многометочной тематико-структурной классификации – и различаются прежде всего номенклатурой и мощностью пространства меток, а не природой решаемой задачи.

Такой выбор продиктован стремлением проверить выдвинутые исследовательские гипотезы меньшими усилиями: разметка многих тысяч архивных единиц по полным классификаторам УДК/ББК/ГРНТИ силами квалифицированных каталогизаторов сама по себе является трудоемким проектом и не могла быть выполнена в рамках исследования. Использование доступного корпуса с прокси-онтологией позволяет на репрезентативном материале получить количественные оценки качества, абляционный анализ вклада модальностей и поведение модели на редких классах, не подменяя при этом постановку задачи. Соответствие слоев прокси-схемы целевым классификационным системам приведено в табл. 1.

***Таблица 1**. Соответствие слоев прокси-онтологии целевым системам индексирования*

***Table 1**. Alignment between proxy ontology layers and target indexing systems*

Слой прокси-схемы	Примеры меток	Функциональный аналог при каталогизации
Предметный домен	computer_science, mathematics, physics	Предметный индекс УДК / ББК; отраслевой код ГРНТИ.
Тип публикации	scientific_article, review_article, textbook	Вид содержания и тип документа по ГОСТ Р 7.0.100–2018.
Формально-структурный	has_references, richly_formatted, contains_figures, contains_tables	Признаки оформления и наличия аппарата, учитываемые в библиографическом описании.
Качество / носитель	OCR-шумные версии, тип носителя	Сведения о физической форме и состоянии оцифрованной единицы.

Методика эксперимента и метрики

Корпус разделен на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 70/15/15. Сравнивались три конфигурации модели: text-only, использующая только текстовые признаки; text+tabular, дополнительно использующая структуру документа, метаданные и агрегированные характеристики наличия формул, таблиц и рисунков; multimodal, дополнительно учитывающая визуальные представления страниц или обложки. Все три конфигурации обучались с одинаковыми гиперпараметрами (3 эпохи, скорость обучения $2 \cdot 10^{-5}$), что обеспечивает сопоставимость: наблюдаемые различия связаны прежде всего с составом входных признаков, а не с режимом оптимизации. Конфигурация text-only выступает в роли базовой текстовой модели (baseline) на основе DistilBERT, относительно которой оценивается прирост от добавления остальных модальностей.

Для оценки качества многометочной классификации использовались стандартные метрики: micro-F1, macro-F1 и samples-F1, средняя точность ранжирования mAP (mean average precision), а также усредненные по меткам macro-precision и macro-recall. Micro-F1 и samples-F1 характеризуют среднее качество по совокупности предсказаний и по документам, macro-F1 – сбалансированное качество по всем меткам с равным весом каждого класса, что особенно важно при наличии редких меток. Поскольку пороги принятия решения в задаче multi-label существенно различаются между метками, для каждой метки порог подбирался отдельно по валидационной выборке; анализ показал, что оптимальные пороги распределены в широком диапазоне (от 0,1–0,2 до 0,6–0,8), что подтверждает обоснованность поклассовой настройки и невозможность использования единого глобального порога.

Целью настоящего исследования является количественная оценка вклада отдельных модальностей (текст, табличные признаки, изображение) в качество классификации, а не сопоставление различных семейств классификаторов между собой. Поэтому эксперимент построен по схеме контролируемого абляционного исследования (ablation study): архитектура кодировщиков, голова классификатора, функция потерь, стратегия оптимизации и все гиперпараметры фиксируются, а варьируется только набор подключенных модальностей – текст (text-only), текст + табличные признаки (text+tabular) и полная мультимодальная конфигурация (multimodal). Такой дизайн является необходимым условием интерпретируемости результата: любое различие в метриках между конфигурациями может быть отнесено к вкладу добавленной модальности, а не к смене архитектуры. Если бы в качестве точек сравнения использовались методы с принципиально иной архитектурой (например, SVM на TF-IDF без модального выравнивания или самостоятельный одноканальный DistilBERT-классификатор с собственной настройкой), различие в метриках оказалось бы совместным эффектом двух факторов – модальности и архитектуры, – и разделить их вклад стало бы невозможно. По этой причине конфигурация text-only в данной работе одновременно выполняет роль текстового базового метода (single-channel текстовый классификатор в рамках той же архитектуры), что обеспечивает корректную и «честную» точку отсчета для оценки прироста от табличной и визуальной модальностей.

Для обеспечения воспроизводимости ниже приведены точные версии предобученных моделей, гиперпараметры и вычислительные затраты.

Архитектура и версии предобученных моделей.

- Текстовый кодировщик – distilbert-base-uncased (модель DistilBERT).
- Кодировщик изображений – google/vit-base-patch16-224-in21k (Vision Transformer, ViT-Base, патч 16×16, вход 224×224).

• Обработка табличной/структурной составляющей PDF – Table Transformer.

Гиперпараметры обучения. Оптимизатор – AdamW; скорость обучения (learning rate) $2*10^{-5}$; число эпох – 3; размер батча – 8. Признаки модальностей после конкатенации имеют размерность 3702 и понижаются методом PCA до 512 компонент. Функция потерь: BCEWithLogitsLoss с pos_weight (компенсация дисбаланса) + контрастивный член выравнивания модальностей + gap-регуляризатор. Гиперпараметры функции потерь: температура контрастивного члена $\tau = 0{,}1$; вес контрастивного члена $\alpha_contrast = 0{,}05$; вес gap-члена $\alpha_gap = 0{,}05$. Пороги принятия решения подбирались индивидуально для каждой метки на валидационной выборке (диапазон 0,10–0,90).

Данные. Корпус – 2084 документа (arXiv и OpenStax), 13 меток; разбиение train/val/test в пропорции 70/15/15, тестовая выборка – 313 документов.

Вычислительные затраты. Все эксперименты выполнялись на CPU (DEVICE = cpu). Время инференса на тестовой выборке (end-to-end, включая токенизацию, предобработку изображений и прямой проход), усредненное по повторным прогонам после разогрева, составило:

• text-only – ≈ 73,8 мс/документ (≈ 13,6 док./с);
• text+tabular – ≈ 74–78 мс/документ (≈ 12,9–13,7 док./с);
• multimodal – ≈ 175–181 мс/документ (≈ 5,5–5,7 док./с).

Подключение визуальной модальности увеличивает время инференса примерно в 2,4 раза по сравнению с текстовыми конфигурациями, что необходимо учитывать при выборе конфигурации для промышленного развертывания.

Сравнение конфигураций с базовой моделью

Все три конфигурации обучились корректно: на валидации наблюдается устойчивое снижение функции потерь при одновременном росте macro-F1 и mAP без признаков переобучения, что делает тестовые результаты содержательными. Сводные тестовые метрики приведены в табл. 2.

***Таблица 2**. Тестовые метрики трех конфигураций модели*

***Table 2**. Test metrics for three model configurations*

Метрика	text-only	text+tabular	multimodal
micro-F1	0,922	0,947	0,926
macro-F1	0,834	0,845	0,825
samples-F1	0,920	0,946	0,924
mAP	0,846	0,867	0,848
macro-precision	0,822	0,851	0,798
macro-recall	0,879	0,852	0,880

Базовая текстовая модель обеспечивает высокий исходный уровень (micro-F1 = 0,922, macro-F1 = 0,834), однако ее точность ниже полноты примерно на 0,057: модель склонна захватывать релевантные метки ценой большего числа ложноположительных решений. Добавление структурно-табличных признаков (конфигурация text+tabular) дает прирост практически по всем интегральным метрикам: micro-F1 увеличивается на 0,025, macro-F1 – на 0,011, samples-F1 – на 0,026, mAP – на 0,021, macro-precision – на 0,029. При этом точность и полнота выравниваются (0,851 против 0,852), то есть модель становится не только

точнее, но и сбалансированнее в своих решениях. Полная мультимодальная конфигурация по совокупности метрик не превосходит text+tabular, уступая ей по всем интегральным показателям, кроме незначительно более высокого macro-recall. Это означает, что в рамках данного корпуса и архитектуры основной классификационный сигнал содержится в тексте, структуре и метаданных, тогда как визуальный канал дает лишь ограниченный дополнительный вклад и усложняет оптимизацию.

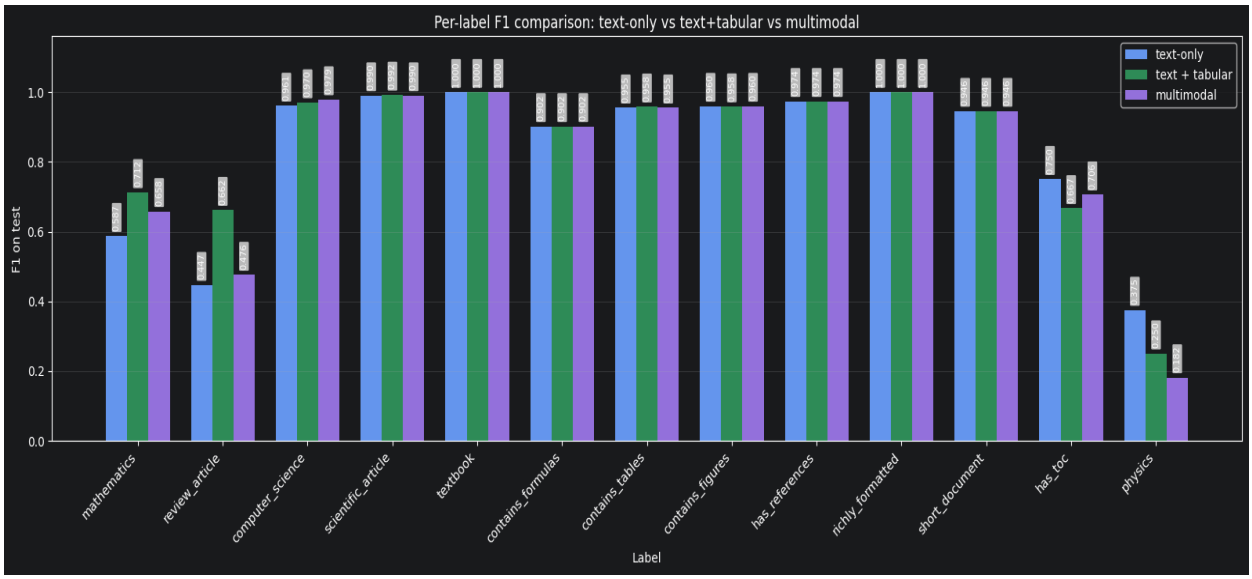


***Рис. 7**. Тестовые метрики по конфигурациям*

***Fig. 7**. Evaluation metrics by configuration*

Для каждой конфигурации фиксировалась динамика функции потерь и метрик по эпохам на обучающей и валидационной выборках (рис. 7). В табл. 3 приведены значения валидационной функции потерь и macro-F1 по эпохам.

***Таблица 3**. Метрики обучения трех конфигураций модели*

***Table 3**. Training metrics of three model configurations*

Эпоха	text-only (val_loss / macro-F1)	text+tabular (val_loss / macro-F1)	multimodal (val_loss / macro-F1)
1	0,401 / 0,806	0,416 / 0,823	0,423 / 0,823
2	0,373 / 0,832	0,367 / 0,860	0,362 / 0,847
3	0,357 / 0,844	0,314 / 0,873	0,344 / 0,845

Анализ кривых показывает, что у мультимодальной конфигурации валидационная функция потерь монотонно убывает на всех трех эпохах, а валидационный macro-F1 достигает максимума на 2-й эпохе (0,847) и практически не меняется к 3-й (0,845). Отсутствие переобучения (train- и val-потери снижаются согласованно, разрыв между ними невелик) и продолжающееся снижение val-loss указывают на то, что визуальный канал к моменту остановки обучения (3 эпохи) еще не вышел на насыщение и потенциально способен к дальнейшему улучшению при увеличении объема данных и/или числа эпох. Это согласуется с предположением о недостаточности объема корпуса для полного раскрытия визуальной модальности.

Анализ вклада компонентов

Для проверки необходимости каждого этапа алгоритма выполнен абляционный анализ, в котором последовательно наращивается состав признаков и механизмов. Конфигурация text-only соответствует одноканальной (только текстовой) модели. Конфигурация text+tabular соответствует объединению разнородных источников информации о документе – фактически частично мультимодальной модели, использующей структуру, метаданные и агрегированные табличные признаки. Полная конфигурация multimodal дополнительно вводит визуальный канал. Важно отметить, что объединение модальностей в предложенном алгоритме не сводится к простой конкатенации эмбеддингов: промежуточное состояние «конкатенация без выравнивания» соответствует выходу второго шага (PCA) до применения третьего шага (контрастивное обучение, регуляризация модального разрыва, слой выравнивания). Именно третий шаг устраняет модальный разрыв и приводит представления к семантически согласованному пространству, без чего объединенный вектор содержит несопоставимые по масштабу подпространства разных модальностей.

Результаты абляции показывают, что переход от одноканальной модели к объединению со структурно-табличными признаками является методологически значимым и не сводится к улучшению единичной метрики: прирост наблюдается одновременно в micro-F1, macro-F1, samples-F1, mAP и в поведении на отдельных сложных метках. Следовательно, структурные признаки, метаданные и агрегированные характеристики документа несут дополнительную информацию, не выводимую из одного лишь текста. В то же время добавление визуального канала в данной конфигурации не дает систематического прироста, что указывает на зависимость полезности этой модальности от масштаба и характера корпуса. Таким образом, абляция подтверждает необходимость этапа объединения разнородных признаков и этапа модального выравнивания, одновременно очерчивая условия, при которых визуальный канал становится оправданным.

Поведение на редких классах

Отдельный интерес представляет поведение моделей на редких метках, поскольку именно низкочастотные классы наиболее проблемны при автоматической каталогизации. Для анализа использовались поклассовые значения F1 и average precision. Из рассмотрения была исключена метка textbook: несмотря на низкую частоту, по ней наблюдалось почти идеальное качество у всех моделей вследствие утечки через специфичные для источника маркеры на первых страницах (логотип и оформление OpenStax, боковые штампы и колонтитулы arXiv), что делало ее непоказательной. В качестве показательных редких классов выбраны review_article и mathematics.

Результаты подтверждают, что расширение состава признаков повышает качество на редких классах. Для review_article F1 возрастает с 0,447 у базовой модели до 0,662 у text+tabular (прирост 0,215), для mathematics – с 0,587 до 0,712 (прирост 0,126) (рис. 8 и 9). Мультимодальная модель также превосходит базовую (0,476 и 0,658 соответственно), но уступает text+tabular. Аналогичная картина наблюдается по average precision. Основной прирост на редких классах обеспечивается не визуальным каналом, а добавлением структуры, метаданных и агрегированных характеристик документа.

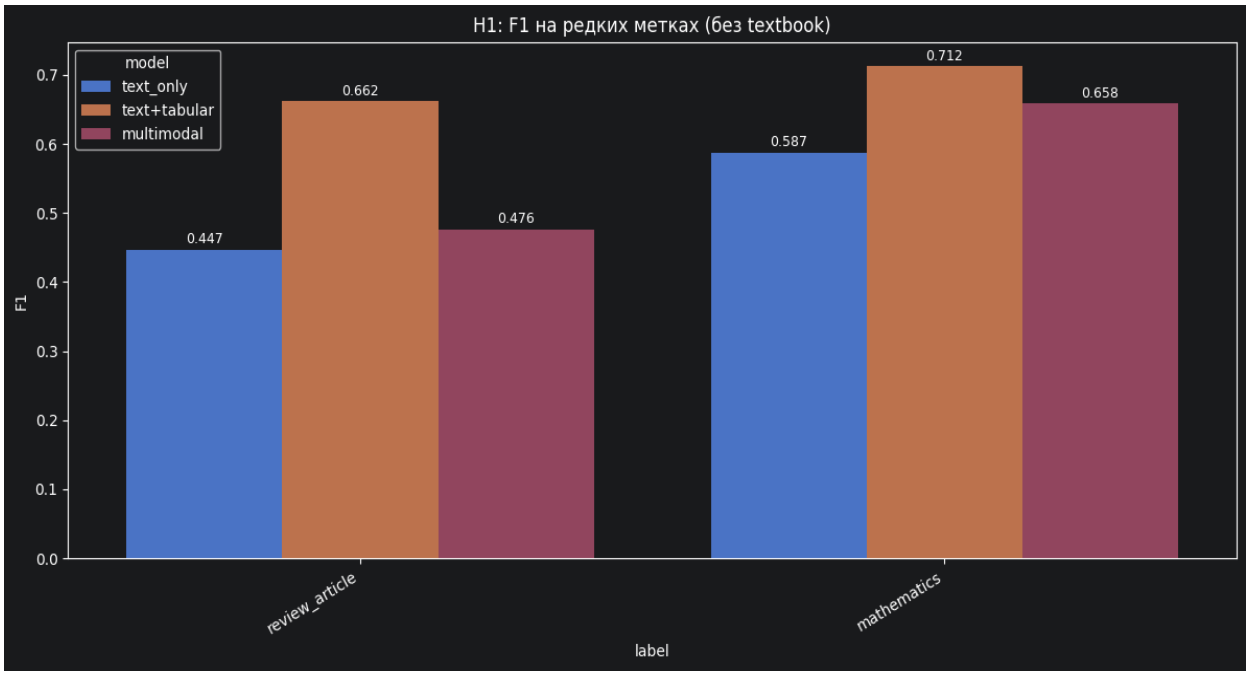


Рис. 8. *Per-label F1 на редких метках*

Fig. 8. *Per-label F1-score for rare labels*

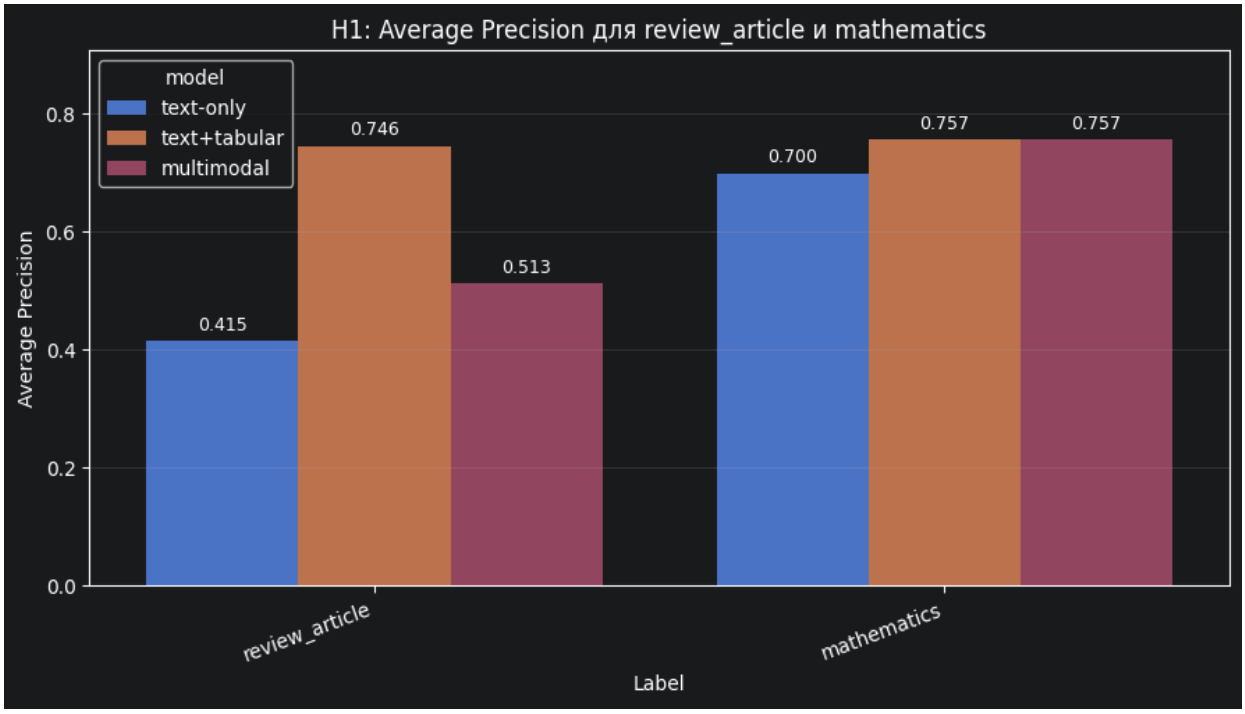


Рис. 9. *Average Precision на редких метках*

Fig. 9. *Average Precision for rare labels*

Дополнительно проанализирована способность расширенных моделей исправлять ошибки базовой текстовой модели. Из 257 ошибок базовой модели конфигурация text+tabular исправляет 96 (около 37 %) при 23 регрессиях, давая чистый выигрыш в 73 случаях; на классе review_article она исправляет 165 ошибок из 176 (рис. 10 и 11). Это показывает, что прирост качества имеет содержательный, а не формальный характер.

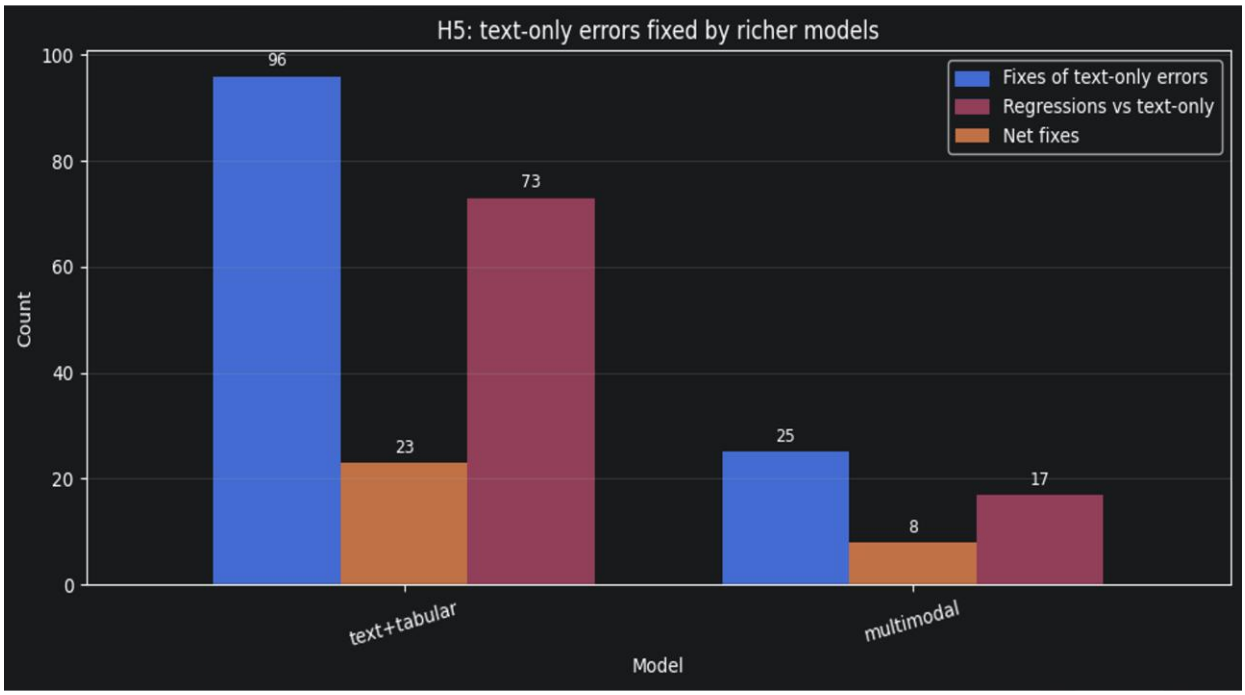


Рис. 10. *Исправление ошибок text-only модели более богатыми моделями*

Fig. 10. *Rectifying errors of the text-only baseline using comprehensive multimodal models*

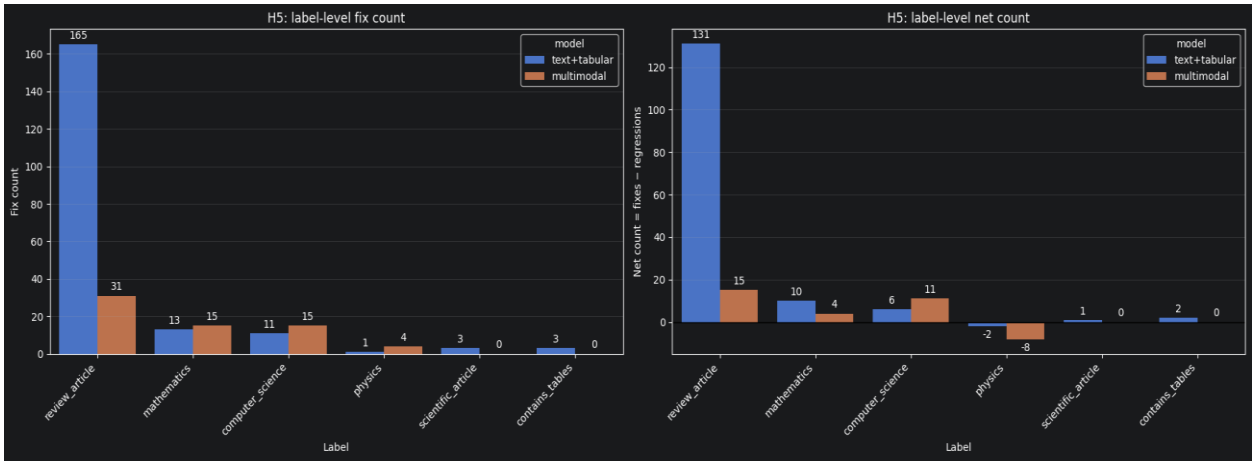


Рис. 11. *Исправление ошибок по редким меткам*

Fig. 11. *Rectifying classification errors on minority labels*

Иллюстративный пример обработки архивной единицы

Для наглядности рассмотрим условную архивную монографию 1912 года по теории электрических цепей, хранящуюся в виде набора TIFF-изображений и производного PDF. OCR восстанавливает текст с учетом дореформенной орфографии, GROBID выделяет структуру, таблицы, формулы и метаданные. После формирования эмбеддингов, их объединения, снижения размерности и модального выравнивания специализированные классификаторы присваивают набор индексов: основной индекс УДК (например, 621.3 «Электротехника»), соответствующий индекс ББК, код ГРНТИ, тип документа «монография» и язык «русский (дореформенный)». Для базовых индексов УДК и ББК ожидается более высокая уверенность, для кода ГРНТИ – более низкая из-за устаревшей терминологии.

Тот же механизм без изменения архитектуры применим и к современным единицам – например, к PDF-статье по компьютерным наукам с присвоением УДК 004.8 и ГРНТИ 28.23.23. Этот пример иллюстрирует целевой режим работы алгоритма, тогда как количественная оценка его качества приведена в разделах выше.

Ограничения, возможные отказы и гибридный сценарий

Проведенный эксперимент имеет ряд ограничений, которые определяют направления дальнейшей работы. Главное ограничение связано со схемой разметки: проверка выполнена на прокси-онтологии тематико-структурной классификации, а не на полных классификаторах УДК, ББК и ГРНТИ. Хотя по природе задачи обе схемы относятся к иерархической многометочной классификации, целевые системы индексирования обладают существенно большей мощностью пространства меток и более тонкой иерархией. Поэтому полноценная разметка репрезентативной выборки архивных единиц (объемом в несколько тысяч документов) по УДК/ББК/ГРНТИ силами квалифицированных каталогизаторов и повторная оценка модели на ней рассматриваются как следующий, обязательный этап исследования. Второе ограничение – состав корпуса: использованы два источника (arXiv и OpenStax), тогда как реальные архивы содержат более разнородные материалы, включая рукописные и исторические документы с естественным OCR-шумом. Третье ограничение – ограниченный вклад визуального канала, который, вероятно, обусловлен размером выборки и требует проверки на большем корпусе.

Отдельного внимания требуют редкие классификационные коды. Полные системы УДК/ББК/ГРНТИ содержат значительное число низкочастотных рубрик, по которым обучающих примеров заведомо мало. Эксперимент показал, что качество на редких классах, действительно, ниже, чем на частых, поэтому для них целесообразно применять методы обучения при дефиците данных: few-shot-подходы, опирающиеся на контрастивное представление, уже заложенное в архитектуру, а также активное обучение (active learning), при котором модель отбирает наиболее неопределенные документы для приоритетной ручной разметки. Такой подход позволяет наращивать покрытие редких рубрик с минимальными затратами экспертного труда.

Возможны и сценарии отказа, которые система должна обрабатывать корректно. К ним относятся: документы с сильно деградированным OCR, где текстовая модальность ненадежна; материалы редких или смешанных предметных областей, отсутствующих в обучающем корпусе; документы нетипичной структуры, для которых структурный парсинг дает неполный результат. В этих случаях модель оценивает степень доверия к присвоенным индексам, и при низкой уверенности единица направляется на ручную проверку, а не классифицируется автоматически. Тем самым автоматическая классификация не блокирует процесс описания, а лишь снижает его трудоемкость.

Это, естественно, приводит к гибридному сценарию «человек + ИИ», в котором мультимодальная модель выполняет предварительную классификацию и формирует набор рекомендованных индексов с оценками уверенности, а специалист-каталогизатор осуществляет выборочную проверку и валидацию. Практическая ценность такого сценария поддается оценке. По имеющимся оценкам трудозатрат, ручное описание одного документа занимает не менее двух минут работы специалиста; для архива объемом порядка миллиона единиц хранения это эквивалентно десяткам человеко-лет [1]. Если автоматическая предварительная классификация позволяет каталогизатору перейти от составления описания «с нуля» к проверке и корректировке предложенных индексов, среднее время обработки одной единицы сокращается ориентировочно с двух минут до 30–40 секунд, то есть в 3–4 раза.

В пересчете на миллион единиц это означает экономию порядка десятков тысяч человеко-часов, при этом высвобождаемый ресурс может быть направлен на наиболее сложные и нестандартные единицы, требующие экспертного решения.

Переход от прокси-онтологии к иерархическим рубрикаторам

Использованная в работе четырехуровневая схема разметки является прокси-онтологией, функционально эквивалентной иерархической многоуровневой классификации по промышленным рубрикаторам (УДК, ББК, ГРНТИ): она воспроизводит ключевые свойства целевой задачи – многометочность, разную частотность классов и наличие семантически близких (перекрывающихся) рубрик, но оперирует управляемым числом меток, что оправдано пилотным характером эксперимента (корпус из 2084 документов). Перенос подхода на полные таблицы УДК/ББК, где число классов на порядки больше, а иерархия является жесткой и содержит перекрывающиеся ветви, требует отдельного теоретического и инженерного обоснования по двум направлениям: адаптация функции потерь и план перехода от прокси-онтологии к реальным классификаторам.

В пилотном эксперименте использовалась многометочная бинарная кросс-энтропия (BCE с pos_weight для компенсации дисбаланса классов), дополненная контрастивным членом модального выравнивания. Эта функция потерь рассматривает метки как независимые и не учитывает отношения «родитель – потомок». При переходе к жесткой иерархии реальных рубрикаторов ее необходимо заменить на иерархически-осознанный вариант. Возможные направления: (1) маскированный/иерархический BCE, при котором функция потерь и предсказание на дочернем узле активны только при активации родительского узла, что обеспечивает согласованность предсказаний по дереву рубрик; (2) добавление штрафа за нарушение иерархии (hierarchy-violation penalty), увеличивающего потери при предсказании потомка без предка; (3) учет перекрытия и семантической близости классов через мягкие целевые метки или иерархическую метрику расстояния в дереве, чтобы ошибка на близких рубриках штрафовалась мягче, чем на далеких. Контрастивный член модального выравнивания при этом сохраняется, но целевые пары «положительный/отрицательный» переопределяются с учетом иерархической близости, а не только совпадения меток.

Практическое внедрение предполагает двухэтапную схему. На первом этапе обученная на прокси-онтологии модель используется как предобученный кодировщик модальностей (backbone), поскольку задача выравнивания текста, таблиц и изображений слабо зависит от конкретной таксономии. На втором этапе выполняется дообучение (fine-tuning) на экспертно размеченном корпусе с реальными кодами УДК/ББК/ГРНТИ: заменяется голова классификатора (под фактическое число рубрик и структуру дерева), включается иерархически-осознанная функция потерь, а разметка формируется при участии специалистов-библиографов. Ожидается, что предварительное обучение модального выравнивания на прокси-задаче сократит объем дорогой экспертной разметки, необходимой для достижения приемлемого качества на реальном рубрикаторе. Экспериментальная проверка этой гипотезы на корпусе объемом в тысячи единиц с реальными кодами УДК/ББК является основным направлением дальнейшей работы.

Заключение

В работе предложен и экспериментально проверен мультимодальный алгоритм автоматической тематико-структурной классификации оцифрованных архивных и библиотечных документов, объединяющий текстовые, структурные, табличные и визуальные признаки в

единое векторное представление с последующим снижением размерности, модальным выравниванием и взвешенным объединением решений. В отличие от предыдущей версии работы, носившей концептуальный характер, алгоритм проверен количественно на корпусе из 2084 документов с прокси-онтологией, функционально эквивалентной многоуровневому индексированию.

Эксперименты показали, что наилучшее качество обеспечивает конфигурация «текст + структурно-табличные признаки» (micro-F1 = 0,947, macro-F1 = 0,845, mAP = 0,867), превосходящая базовую текстовую модель на основе DistilBERT по всем интегральным метрикам и демонстрирующая наибольший прирост на редких классах (для review_article F1 возрастает с 0,447 до 0,662). Абляционный анализ подтвердил необходимость этапов объединения разнородных признаков и модального выравнивания, а также показал, что в рамках данного корпуса визуальный канал дает ограниченный дополнительный вклад.

Сформулированы ограничения подхода, главным из которых является использование прокси-онтологии вместо полных классификаторов УДК/ББК/ГРНТИ, и предложен гибридный сценарий «человек + ИИ» с оценкой сокращения трудозатрат каталогизаторов в 3–4 раза. Дальнейшее развитие работы предполагает разметку репрезентативной выборки архивных единиц по УДК/ББК/ГРНТИ, повторную оценку модели на ней, расширение и балансировку корпуса, усиление визуальной модальности, а также применение few-shot и active learning для редких рубрик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стукалова А. А.* Проблемы взаимоиспользования библиографических записей электронного каталога библиотеки // Научные и технические библиотеки. 2020. № 4. С. 66–71. DOI: 10.20913/2618-7575-2020-4-66-71

2. *Сукиасян Э. Р.* Развитие автоматизированных библиотечных технологий в России: мысли об ожидаемом, но неосуществленном // Научные и технические библиотеки. 2017. № 4. С. 34–43. EDN: YJWYUZ

3. *Xu Y.-S., Yanti Idaya A. M. K., Kassim M. S. S.* AI-supported cataloger: a deep dive into intelligent document classification // Library Hi Tech News. 2025. Vol. 42. No. 7. DOI: 10.1108/LHTN-05-2025-0081

4. *German L., Ijeoma A., Emeka C.* Modernizing library services in the digital era: new trends and user-centric challenges // Journal of Applied Information Science and Technology. 2025. Vol. 18. No. 1. DOI: 10.70118/jaist.202501801.18

5. *Бродовский А. И., Зайцева Е. М., Заславский Ю. И., Маршак Б. И.* Формирование информационных ресурсов архивных документов ВАК // Научные и технические библиотеки. 2018. № 12. С. 49–63. DOI: 10.33186/1027-3689-2018-12-49-63

6. *Стегаева М. В.* Каталогизация в условиях цифровой среды: опыт Президентской библиотеки // Университетская книга. 2020. № 4. С. 66–69. EDN: KSLBBQ

7. *Стегаева М. В.* Каталогизация в цифровую эпоху: практика Президентской библиотеки им. Б. Н. Ельцина // Научные и технические библиотеки. 2020. № 2. С. 24–38. DOI: 10.33186/1027-3689-2020-2-24-38

8. ГОСТ Р 7.0.100–2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. М.: Стандартинформ, 2018.

9. АИБС МегаПро. Документация автоматизированной интегрированной библиотечной системы «МегаПро». URL: https://megapro-web.ru/ (дата обращения: 25.02.2026).

10. *Сукиасян Э. Р.* Автоматизированные технологии и системы // Научные и технические библиотеки. 2017. № 4. С. 34–43. EDN: YJWYUZ

11. *Xu Y.-S., Yanti Idaya A. M. K., Kassim M. S. S.* AI-supported cataloger: a deep dive into intelligent document classification // Library Hi Tech News. 2025. Vol. 42. No. 7. DOI: 10.1108/LHTN-05-2025-0081

12. *Зайцева Е. М.* Проблемы создания электронных архивов. (Опыт формирования электронного архива документов ВАК) // Научные и технические библиотеки. 2019. № 11. С. 63–74. DOI: 10.33186/1027-3689-2019-11-63-74

REFERENCES

1. Stukalova A. A. Problems of mutual use of bibliographic records of an electronic library catalog. *Scientific and Technical Libraries*. 2020. No. 4. Pp. 66–71. DOI: 10.20913/2618-7575-2020-4-66-71. (In Russian)

2. Sukiasyan E.R. Development of automated library technologies in Russia: thoughts on the expected but unrealized. *Scientific and Technical Libraries*. 2017. No. 4. Pp. 34–43. EDN: YJWYUZ. (In Russian)

3. Xu Y.-S., Yanti Idaya A.M.K., Kassim M.S.S. AI-supported cataloger: a deep dive into intelligent document classification. *Library Hi Tech News*. 2025. Vol. 42. No. 7. DOI: 10.1108/LHTN-05-2025-0081

4. German L., Ijeoma A., Emeka C. Modernizing library services in the digital era: new trends and user-centric challenges. *Journal of Applied Information Science and Technology*. 2025. Vol. 18. No. 1. DOI: 10.70118/jaist.202501801.18

5. Brodovsky A.I., Zaitseva E.M., Zaslavsky Yu.I., Marshak B.I. Formation of information resources of VAK archival documents. *Scientific and Technical Libraries*. 2018. No. 12. Pp. 49–63. DOI: 10.33186/1027-3689-2018-12-49-63. (In Russian)

6. Stegaeva M.V. Cataloguing in the digital environment: the experience of the Presidential Library. *Universitetskaya Kniga*. 2020. No. 4. Pp. 66–69. EDN: KSLBBQ. (In Russian)

7. Stegaeva M.V. Cataloguing in the digital age: the practice of the B.N. Yeltsin Presidential Library. *Scientific and Technical Libraries*. 2020. No. 2. Pp. 24–38. DOI: 10.33186/1027-3689-2020-2-24-38. (In Russian)

8. GOST R 7.0.100–2018. Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and rules of compilation. Moscow: Standartinform, 2018. (In Russian)

9. MEGAPRO automated integrated library system. Documentation. URL: https://megapro-web.ru/ (accessed: 25.02.2026). (In Russian)

10. Sukiasyan E. R. Automated technologies and systems. *Scientific and Technical Libraries*. 2017. No. 4. Pp. 34–43. EDN: YJWYUZ. (In Russian)

11. Xu Y.-S., Yanti Idaya A.M.K., Kassim M.S.S. AI-supported cataloger: a deep dive into intelligent document classification. *Library Hi Tech News*. 2025. Vol. 42. Issue 7. DOI: 10.1108/LHTN-05-2025-0081

12. Zaitseva E.M. Problems of creating electronic archives. (Experience of forming the electronic archive of VAK documents). *Scientific and Technical Libraries*. 2019. No. 11. Pp. 63–74. DOI: 10.33186/1027-3689-2019-11-63-74. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках научной работы аспирантов и руководителя, и написания диссертаций.

Funding. This work was carried out within the framework of joint research between postgraduate students and their academic supervisor, contributing to their doctoral theses.

Информация об авторах

Палибза Святослав Александрович, студент группы М092401(75), Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
svyatpalibza.9@gmail.com
Гадасин Денис Вадимович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сетевые информационные технологии и сервисы», Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
d.v.gadasin@mtuci.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5601-7798, SPIN-код: 8652-7558
Тремасова Лилия Андреевна, ассистент кафедры «Сетевые информационные технологии и сервисы», Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
l.a.tremasova@mtuci.ru
Игнатов Данила Васильевич, студент группы АИТ2501(1), Московский технический университет связи и информатики;
111024, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, 8А;
dan53375@bk.ru

Information about the authors

Svyatoslav A. Palibza, Student, Group M092401(75), Moscow Technical University of Communications and Informatics;
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
svyatpalibza.9@gmail.com
Denis V. Gadasin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Network Information Technologies and Services, Moscow Technical University of Communications and Informatics;
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
d.v.gadasin@mtuci.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5601-7798, SPIN-code: 8652-7558
Liliya A. Tremasova, Assistant, Department of Network Information Technologies and Services, Moscow Technical University of Communications and Informatics;
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
l.a.tremasova@mtuci.ru
Danila V. Ignatov, Student, Group AIT2501(1), Moscow Technical University of Communications and Informatics;
8A, Aviamotornaya street, Moscow, 111024, Russia;
dan53375@bk.ru

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 004.733 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-137-153
HNKRFB

Формализация механизмов самоорганизации семантических связей в СУБД на основе модели Physarum polycephalum

Д. А. Рыбаков

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

Аннотация. Рост объема и неоднородности данных в информационных системах усложняет автоматическое выявление и поддержание семантических связей, а детерминированные методы и подходы машинного обучения часто требуют предварительной разметки данных.

Цель исследования – разработка биоинспирированного метода семантической самоорганизации данных в СУБД на основе принципов поведения миксомицета Physarum polycephalum.

Материалы и методы исследования. Метод основан на принципах поведения миксомицета Physarum polycephalum и включает три ключевых механизма: инициализацию связей на основе нечеткого сравнения атрибутов, усиление востребованных связей через положительную обратную связь и испарение неиспользуемых связей с экспоненциальным затуханием весов.

Результаты. Предложен семантический слой для колоночной СУБД ClickHouse, включающий таблицу семантических связей, журнал активаций и фоновые процессы. Разработанное решение формирует и обновляет интерпретируемые семантические связи без размеченных обучающих выборок, устраняя проблему «холодного старта» и поддерживая адаптацию к изменяющимся данным.

Заключение. Метод может применяться для интеграции гетерогенных данных в городских информационных системах и построения семантических графов.

Ключевые слова: семантическая интеграция, самоорганизация данных, биоинспирированные алгоритмы, Physarum polycephalum, ClickHouse, семантический граф, городские информационные системы, связанные данные

Поступила 30.03.2026, одобрена после рецензирования 18.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Рыбаков Д. А. Формализация механизмов самоорганизации семантических связей в СУБД на основе модели Physarum polycephalum // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 137–153. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-137-153

© Рыбаков Д. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 90C26 Original article

Formalizing semantic relationship self-organization inside DBMS using a Physarum polycephalum model

D.A. Rybakov

Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia

Abstract. Increasing data volume and complexity within information systems hinder automated discovery and maintenance of semantic relationships, whereas deterministic techniques and traditional machine learning methods typically rely on prior data labeling.

Aim. This research aims to design a bio-inspired semantic data self-organization technique within DBMS, leveraging the behavioral mechanisms of the slime mold Physarum polycephalum.

Materials and methods. Leveraging the behavioral mechanics of the Physarum polycephalum slime mold, the proposed method consists of three key components: fuzzy attribute matching for link initialization, positive feedback-driven reinforcement of active links, and exponential weight decay for link evaporation.

Results. A semantic layer for the ClickHouse columnar DBMS is proposed, incorporating a semantic link table, an activation log, and background processes. The proposed solution generates and updates interpretable semantic relationships in an unsupervised manner, mitigating the cold-start problem and enabling dynamic adaptation to evolving data.

Conclusion. The method can be applied to the integration of heterogeneous data in urban information systems and the construction of semantic graphs. The proposed technique is suitable for heterogeneous data integration within smart city information platforms and for building semantic graphs.

Keywords: semantic integration, data self-organization, bioinspired algorithms, Physarum polycephalum, ClickHouse, semantic graph, urban information systems, linked data

Submitted 30.03.2026, approved after reviewing 18.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Rybakov D.A. Formalizing semantic relationship self-organization inside DBMS using a Physarum polycephalum model. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 137–153. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-137-153

Введение

Цифровая трансформация государственного управления и активное внедрение концепции «Умного города» сформировали сложную распределенную среду ведомственных информационных систем. Проблема заключается в том, что каждый отдельно взятый элемент муниципального управления имеет различный уровень и формат автоматизации. Не существует единого согласованного стандарта обмена данными.

Как следствие – данные об одном и том же объекте, например об организации, находятся в разных источниках данных. Это касается форматов данных, идентификаторов, в отдельных случаях достоверности, когда несколько сущностей описывают один и тот же объект и некоторые атрибуты могут отличаться.

Для того чтобы обеспечить целостную сеть связанных атрибутов, касающихся конкретного объекта, требуется решить задачу семантической композиции – найти смысловые со-

© Rybakov D.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

ответствия атрибутов между разрозненными источниками данных. На первый взгляд может показаться, что существует множество решений в рамках вопроса интеграции данных. Детерминированные правила или вероятностные модели для связывания записей, а также методы машинного обучения могут быть использованы для решения задачи. К сожалению, каждый из них в рамках функционирования городских информационных систем сталкивается с ограничениями, о которых стоит упомянуть.

Если говорить о детерминированных методах, то высокую точность нивелирует невысокая полнота выборки и практически полное отсутствие гибкости. У вероятностных моделей есть потребность в наличии размеченных обучающих выборок, создание которых в условиях объема данных является труднореализуемой задачей. В реальности расхождения встречаются довольно часто. Методы машинного обучения показывают достаточно высокую точность, но очень зависимы от размеченных данных, потребляют много расчетно-вычислительных мощностей, а также теряют качество при малейшем изменении структуры или качества входных данных. Стоит упомянуть еще об одной детали: подавляющее количество таких моделей существуют как внешние сервисы связывания записей. Из-за этого происходят сетевые задержки и могут появляться случаи отказа.

Неожиданное решение пришло из области, далекой от информационных технологий. В 2010 году группа японских исследователей под руководством Тосиюки Накагаки провела эксперимент, который сложно назвать иначе как удивительным. Слизевик *Physarum polycephalum* – организм без мозга и сколько-нибудь развитой нервной системы – был помещен в чашку Петри, моделирующую карту Токийского залива. Источники пищи расположили в точках, соответствующих железнодорожным станциям. Результат поразил даже самих авторов: протоплазматическая сеть, сформированная слизевиком, почти в точности воспроизвела конфигурацию реальной транспортной системы региона – причем с лучшим балансом эффективности, протяженности и устойчивости к повреждениям.

С тех пор биологические модели все чаще привлекают внимание инженеров. Механизмы, позволяющие такому примитивному существу прокладывать оптимальные маршруты в условиях неопределенности, оказались применимы и к управлению данными. Ключевые принципы – исследование пространства без жестких априорных правил, положительная обратная связь для закрепления успешных паттернов и отрицательная («забывание») для отсечения устаревших связей – открывают путь к созданию адаптивной, самоорганизующейся системы семантической композиции. И что немаловажно, такая система могла бы работать прямо внутри СУБД. Однако концептуальные описания, сколь бы вдохновляющими они ни были, оставляют открытыми главные вопросы. Как формализовать эти механизмы? Как встроить их в реальную архитектуру? И, самое главное, работоспособно ли это на практике?

В данной работе ставится цель перевести метафору на язык строгих математических и инженерных решений. Для этого предлагается:

1) формальная модель инициализации, усиления и испарения семантических связей;

2) архитектура семантического слоя, реализованного штатными средствами реляционной СУБД (таблицы, индексы, фоновые процессы);

3) алгоритмы обработки запросов, интегрирующие семантическую информацию непосредственно в ядро СУБД;

4) план экспериментальной апробации на данных, приближенных к реальным городским системам.

Отличие предлагаемого подхода от существующих – не в очередном «биоинспирированном» эскизе. Речь идет о переходе от метафорического описания к формальному определению, которое позволяет рассматривать самоорганизацию данных как полноценную, интерпретируемую альтернативу традиционным методам. Такой подход сочетает адаптивность живых систем с надежностью и предсказуемостью реляционных технологий.

Формальная постановка задачи

Прежде чем переходить к описанию биоинспирированного метода семантической композиции, необходимо строго определить объекты, над которыми он оперирует, и сформулировать цель его функционирования в терминах теории графов и теории баз данных. Такая формализация позволит в дальнейшем корректно задать правила инициализации, усиления и испарения связей, а также оценивать качество работы метода.

Пусть имеется конечное множество ведомственных информационных систем (источников данных) $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$, каждая из которых поставляет данные в общую среду городской информационной системы. Каждый источник S_i представляет собой реляционную схему, содержащую множество записей $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in_i}\}$. Записи из разных источников не имеют единого сквозного идентификатора, а их атрибуты могут различаться синтаксически, структурно и семантически. Обозначим через $R = \bigcup_{i=1}^{m} R_i$ универсум всех записей, доступных для интеграции. Для каждой записи $r \in R$ определен уникальный внутренний идентификатор id(r), который используется исключительно в рамках системы и не предполагает наличия какого-либо внешнего смысла.

Центральным понятием является *семантическая связь* – бинарное отношение между двумя записями, указывающее на то, что они с некоторой степенью уверенности описывают один и тот же объект реального мира (гражданина, организацию, земельный участок и т.п.). В отличие от классических подходов, где такое отношение трактуется как бинарная метка (связаны / не связаны), в предлагаемой модели каждой связи приписывается *вес* – действительное число, отражающее текущую степень доверия к этой связи. Введение непрерывной шкалы необходимо для реализации механизмов самоорганизации: связи могут усиливаться при подтверждении практикой использования и ослабевать при отсутствии востребованности.

Формально введем *семантический граф*

$$G = (V, E, w),$$

где:

1) $V = R$ – множество вершин, соответствующих всем записям;

2) $E \subseteq R \times R$ – множество ребер, причем для любой пары (r_a, r_b) ребро включается в E, если между записями установлена потенциальная семантическая связь (независимо от ее веса);

3) $w: E \to [0,1]$ – функция веса, ставящая в соответствие каждому ребру действительное число в интервале от нуля до единицы, где значение, близкое к единице, интерпретируется как высокая достоверность связи, а близкое к нулю – как низкая.

Граф G является динамическим: его множество ребер и значения весов изменяются во времени под воздействием двух противоположных процессов – усиления связей, востребованных в реальных запросах, и ослабления (испарения) связей, которые длительное время не использовались. В начальный момент времени граф может быть пустым или содержать лишь небольшое количество ребер, созданных на основе простых эвристик.

Задача семантической композиции в рамках предлагаемого подхода формулируется следующим образом: необходимо организовать такой процесс эволюции графа G, который в отсутствие априорной размеченной обучающей выборки и без централизованного управления приводит к формированию структуры, где для каждого реального объекта O из предметной области существует связная компонента (или, в идеале, клика), объединяющая все записи, относящиеся к O, причем веса ребер внутри этой компоненты достигают значений, близких к единице, в то время как ложные связи (соединяющие записи, относящиеся к разным объектам) со временем ослабевают и удаляются из графа.

Для количественной оценки качества работы метода введем ряд обозначений, связанных с истинной (неизвестной системе) семантической структурой. Пусть O – множество реальных объектов, о которых хранятся данные в системе. Существует идеальное отношение эквивалентности $\sim$ на R, где $r_a \sim r_b$ тогда и только тогда, когда записи r_a и r_b описывают один и тот же объект из O. В классической теории связывания записей это отношение называют *истинным соответствием*. Множество всех истинных связей обозначим через $E_{true} = \{ (r_a, r_b) \mid r_a \sim r_b, r_a \neq r_b \}$. Соответственно, ложные связи – это пары записей, относящихся к разным объектам: $E_{false} = (R \times R) \setminus (E_{true} \cup \{ (r, r) \mid r \in R \})$.

В процессе работы системы множество ребер $E(t)$ и веса $w(t)$ изменяются дискретно во времени $t \in N$. Желаемое состояние характеризуется следующими свойствами:

1. Полнота: для каждой истинной пары $(r_a, r_b) \in E_{true}$ должно существовать ребро в $E(t)$ с весом, превышающим некоторый порог θ_{high} (например, $w > 0{,}8$).

2. *Точность:* для любой ложной пары $(r_a, r_b) \in E_{false}$ вес ребра, если оно присутствует в графе, должен быть ниже порога θ_{low} (например, $w < 0{,}2$), а в идеале ребро должно быть удалено.

3. *Адаптивность:* при изменении данных (исправление ошибок, появление новых записей, изменение форматов) граф должен эволюционировать к новому устойчивому состоянию без внешнего вмешательства.

Поскольку истинное отношение $\sim$ неизвестно системе, процесс самоорганизации должен опираться исключительно на локальную информацию, доступную в процессе выполнения запросов. Каждый запрос q, поступающий в систему, обращается к некоторому подмножеству записей $R_q \subseteq R$. Если в ходе выполнения запроса система использует семантическую связь между двумя записями (например, для объединения данных из разных источников в единый профиль), это событие рассматривается как подтверждение полезности данной связи. Формально введем функцию активации $a: E \times Q \to \{0{,}1\}$, где $a(e, q) = 1$, если при обработке запроса q связь e была использована, и 0 в противном случае. Совокупность всех запросов за период времени формирует поток активаций, который служит единственным источником обучающего сигнала для системы.

Таким образом, задача сводится к построению динамической системы, определяемой тремя операторами:

1. *Оператор инициализации* Φ_{init}, который по новой записи r_{new} и текущему состоянию графа $G(t)$ создает начальные ребра с малыми весами, основываясь на функциях нечеткого сравнения атрибутов.

2. *Оператор усиления* Φ_{inc}, который при активации связи увеличивает ее вес в соответствии с некоторым законом, зависящим от текущего веса, частоты активаций и, возможно, контекста.

3. *Оператор испарения* Φ_{evap}, который периодически уменьшает веса всех ребер пропорционально времени, прошедшему с момента последней активации, и удаляет ребра, вес которых опустился ниже заданного порога.

Требуется найти такие параметрические семейства операторов, чтобы для широкого класса реальных городских данных и потоков запросов траектория $G(t)$ сходилась к состоянию, близкому к идеальному, в смысле введенных выше метрик полноты и точности, причем скорость сходимости и устойчивость к шумам должны быть достаточными для практического применения. Математически эволюцию графа можно описать как дискретный процесс во времени. Пусть t – номер такта (например, суточный цикл), а $t_{last}(e)$ – время последней активации ребра e. Тогда изменение веса можно представить в общем виде:

$$w_{t+1}(e) = f\left(w_t(e), \Delta_{inc}(e,t), \Delta_{evap}(e,t)\right),$$

где Δ_{inc} – приращение, обусловленное активациями в течение такта, Δ_{evap} – убыль, обусловленная испарением. При этом для вновь созданных ребер начальный вес задается функцией Φ_{init}, зависящей от степени семантического сходства записей.

Биоинспирированный метод: формализация механизмов

Предлагаемый метод семантической композиции данных, если разбираться, базируется на трех фундаментальных механизмах. Они наблюдаются в поведении миксомицета Physarum polycephalum. Речь идет об исследовании пространства с формированием начальных протоплазматических трубочек, затем – усилении каналов, которые активно транспортируют питательные вещества, и, наконец, об атрофии неиспользуемых соединений. Каждый из этих механизмов, надо сказать, получает строгую математическую интерпретацию, но в терминах динамики семантического графа. Это, в свою очередь, позволяет реализовать их в рамках обычной реляционной СУБД с использованием стандартных средств хранения и обработки данных. По крайней мере, так предполагается.

Первым делом, конечно, стоит рассмотреть инициализацию семантических связей – а именно механизм исследования. Аналогия с биологическим прототипом начинается вот с чего: слизевик, помещенный в чашку Петри, не обладает априорным знанием о расположении источников пищи. Он начинает равномерно расползаться во все стороны, формируя сеть временных протоплазматических выростов. Если переносить это на задачу интеграции данных, то здесь это соответствует отсутствию заранее заданных правил сопоставления записей и соответственно необходимости самостоятельно обнаруживать потенциальные семантические соответствия между записями из разных источников без учителя.

Рассмотрим конкретную ситуацию. В систему поступает новая запись $r_{new} \in R$ – скажем, свидетельство о рождении гражданина, зарегистрированное в системе ЗАГС. Для такой записи требуется инициировать процесс исследования. Суть его, если говорить коротко, сводится к тому, чтобы установить множество кандидатов среди уже существующих записей. Речь идет о записях из других ведомственных систем, с которыми r_{new} может быть семантически связана. Причем заранее неизвестно – может быть, связана, а может, и нет.

Детерминированные подходы, как известно, требуют точного совпадения идентификаторов. Методы машинного обучения, в свою очередь, нуждаются в размеченной выборке, что на практике часто бывает проблемой. Предлагаемый же механизм работает иначе: он опирается на семейство функций нечеткого сравнения. Каждая из таких функций оценивает сходство, но по определенному атрибуту или их комбинации. Тут, кстати, есть один нюанс: функции могут давать противоречивые результаты, но это уже детали реализации.

Введем для пары записей r_a, r_b вектор признаков сходства:

$$\boldsymbol{s}(r_a, r_b) = \langle s_1, s_2, \dots, s_p \rangle,$$

где $s_k \in [0,1]$ – результат применения k-й метрики сравнения. В качестве инструментов сравнения, как правило, применяется целый набор метрик. Причем каждая из них ориентирована на определенный тип данных – это важно понимать. Для строковых полей, таких как фамилия, имя, отчество или наименование организации, удобно использовать нормированное расстояние Левенштейна. Но есть нюанс. Там, где важна устойчивость к перестановкам слов или, скажем, опечаткам, лучше работает коэффициент Жаккара, но только для биграммных представлений.

Отдельного внимания заслуживает метрика Джаро–Винклера. Она специально устроена так, чтобы «подсвечивать» совпадение первых символов и длину общего префикса. Для имен

и названий это часто оказывается решающим фактором, что подтверждается практикой. Фонетические коды, в свою очередь, вводятся как своего рода компенсаторный механизм: они позволяют находить соответствия даже при искажениях транскрипции или вариативности написания. А для дат, адресов и числовых идентификаторов, используются уже специализированные метрики.

Интересно, что все эти показатели устроены довольно единообразно. Значение близко к единице, когда сходство высоко, и стремится к нулю, если соответствия практически нет.

Интегральная оценка семантического сходства между записями задается взвешенной суммой:

$$sim(r_a, r_b) = \sum_{k=1}^{p} \alpha_k \cdot s_k(r_a, r_b),$$

где $\alpha_k \geq 0$ – весовые коэффициенты, удовлетворяющие условию $\sum_{k=1}^{p} \alpha_k = 1$. На начальном этапе веса всех коэффициентов принимаются равными. Но в этом, собственно, и кроется слабость статического подхода – реальные данные редко бывают столь «демократичны». Поэтому далее предусмотрена адаптация: система, опираясь на обратную связь от процесса усиления связей (это процесс такой), самостоятельно выявляет, какие атрибуты для данного типа объектов действительно информативны, а какие, наоборот, только создают шум. Если говорить об инициализации, то она запускается для каждой вновь поступившей записи. И еще для каждой существующей записи из другого источника (при необходимости – и из того же самого, если внутри него допускаются дубликаты).

Без дополнительных мер предосторожности такой подход довольно быстро привел бы к комбинаторному взрыву. Тут как раз на помощь приходит блокирование – предварительное «огрубление» пространства поиска, о котором стоит сказать подробнее. Множество записей разбивается на блоки по какому-нибудь простому признаку: например, по первой букве фамилии, году рождения или коду региона. Внутри блока сравнения выполняются уже попарно, а межблочные соответственно отсекаются. Вычислительная сложность снижается кардинально, причем без существенной потери качества, если блокирующий признак выбран разумно.

Обозначим через $C_{r_{new}} \subseteq R$ множество кандидатов, которое получается в результате применения блокирующей функции (как результат). Для каждого $r_c \in C_{r_{new}}$ вычисляется значение $sim(r_{new},\ r_c)$. Если это значение превышает порог инициализации θ_init, между записями, соответственно, создается ребро семантического графа.

Начальный вес ребра задается как функция от достигнутого сходства:

$$w_{\text{init}}(r_{\text{new}}, r_c) = \min\left(1,\ \frac{sim(r_{\text{new}}, r_c)}{\theta_{\text{init}}} \cdot w_{\min}\right),$$

где w_{min} – минимальный ненулевой вес, например 0,1. Нормировка устроена так, чтобы создать своего рода «канал доверия»: связь, которая лишь чуть-чуть превысила порог, получает очень малый начальный вес. Если же сходство высокое – вес оказывается близким к w_{min}, но все же не достигает его. Он оставляет пространство для последующего усиления: если связь подтвердится, она сможет расти, а если нет – ее будет легче «испарить». Стоит подчеркнуть: созданное ребро – это еще не признание связи как достоверной. Это, скорее, приглашение к проверке. Дальнейшая судьба ребра решается уже на следующем этапе, в механизме положительной обратной связи.

Здесь модель обращается к логике, подмеченной у *Physarum polycephalum*. В биологической системе каналы, по которым питательные вещества транспортируются активнее всего, со временем укрепляются и расширяются. Классический эффект положительной обратной связи: чем интенсивнее поток, тем шире канал, а широкий канал притягивает еще

больший поток. В описываемой модели этот принцип работает аналогично. Соответствия между данными, которые устойчиво «подтверждают друг друга», начинают усиливаться. Те же, что остаются изолированными или противоречивыми, постепенно затухают.

В предлагаемом методе аналогом потока питательных веществ выступают собственно запросы к системе. Именно они, обращаясь к семантическим связям (этим самым связям), позволяют объединять данные из разных ведомственных источников. Принцип в общем-то простой: если в ходе выполнения пользовательского запроса или, скажем, автоматического предоставления услуги система фактически обращается к связи между двумя записями – значит, эта связь приносит пользу. Каждое такое обращение как бы подкрепляет ее, увеличивая вес.

Для формализации вводится понятие активации связи. Рассматриваются некоторый временной интервал и множество запросов Q, которые за это время были обработаны. Каждый запрос $q \in Q$ работает со своим подмножеством записей $R_q \subseteq R$. Связь $e = (r_a, r_b)$ считается активированной, если система реально использует ее при формировании ответа: например, включает оба идентификатора в результат объединения или строит транзитивное замыкание через цепочку связей. Иными словами (и это важно), активация – это индикатор востребованности. Чем чаще связь оказывается полезной, тем быстрее она набирает этот самый «вес», а значит, и влияние на последующие решения системы.

Обозначается, допустим, $A(t, e)$ – это количество активаций связи e в момент времени t. Тогда функция усиления задает приращение веса связи, и приращение это пропорционально частоте ее использования. Тут стоит добавить, что без такого механизма веса оставались бы статичными, что, конечно, неприемлемо для динамических данных.

Предлагается следующее правило динамики веса при усилении:

$$w_{t+1}(e) = min\Big(1, w_t(e) + \beta \cdot \big(1 - w_t(e)\big) \cdot A(t, e)\Big),$$

где $\beta \in (0,1)$ – параметр, определяющий скорость усиления. Заложенная в этой формуле логика опирается на принцип, который интуитивно понятен: чем ближе текущий вес к нулю, тем активнее он растет. Но как только он приближается к единице, прирост, наоборот, начинает замедляться. С одной стороны, предотвращает нежелательное завышение весов – то есть система не «перегревается». А с другой – обеспечивает плавный выход на насыщение, без резких скачков, что тоже немаловажно.

Дополнительную страховку дает множитель $1 - w_{te}$. Он, по сути, играет роль ограничителя: принципиально не позволяет весу перешагнуть единицу. И это в практических реализациях, что важно, избавляет от необходимости вручную отслеживать выход значений за допустимые границы. Говоря о простейшем случае – когда за один такт происходит не более одной активации, – допустимо перейти к дискретному шагу:

$$w_{t+1}(e) = min(1, w_t(e) + \Delta_{inc}),$$

где Δ_{inc} – фиксированное приращение, например $0{,}05$. Однако предпочтительнее более гибкая форма, которая учитывала бы интенсивность использования. Потому что активация связи, вообще говоря, может происходить двумя способами. Первый – это прямой: запрос обращается к ней непосредственно, а второй – косвенный, через транзитивные связи. Например: если в графе уже есть связи $r_1 - r_2$ и $r_2 - r_3$, а запрос обращается к r_1 и r_3 как к семантически связанным, то усиление получают обе связи – они оказываются включены в единую связную компоненту. И тут надо заметить, что подобный механизм находит прямую биологическую аналогию в работе сети слизевика Physarum polycephalum. Там, как известно, все каналы, которые образуют активный транспортный путь, подвергаются синхронному усилению; а изолированные ветви, не участвующие в доставке питательных веществ, постепенно редуцируются.

Теперь о втором ключевом элементе – это механизм отрицательной обратной связи, который обеспечивает так называемое «испарение» соответствий. В биологических прототипах неиспользуемые протоплазматические трубки со временем атрофируются и исчезают, высвобождая ресурсы для более эффективных маршрутов. Без такого механизма адаптивность оказывается под угрозой: граф рискует «засориться» ложными или устаревшими связями, что со временем сведет на нет все преимущества самоорганизации.

В предлагаемом методе испарение реализовано через периодическое уменьшение весов ребер, которые не получали активации в течение заданного интервала времени. Такой подход, на наш взгляд, позволяет автоматически отсекать случайные или утратившие актуальность соответствия, удерживая структуру семантических связей в «рабочем» состоянии и без ручного сопровождения, что важно.

Обозначим через τ(e) время, которое прошло с момента последней активации связи e. Тогда функция испарения уменьшает вес ребра экспоненциально, и это уменьшение зависит от длительности его неиспользования:

$$w_{t+1}(e) = w_t(e) \cdot e^{-\lambda \cdot \tau(e)},$$

где $\lambda > 0$ – параметр скорости испарения. Если после применения операции усиления вес связи опускается ниже установленного порога отсечения θ_{evap}, то такая связь удаляется из графа. Порог это не произвольная величина – он задает, по сути, границу, ниже которой связь считается уже незначимой для дальнейшей работы, и это важно.

Выбор экспоненциальной модели испарения не случаен. Она, во-первых, напрямую заимствована из наблюдений за биологическими и физическими системами, где скорость распада, как известно, пропорциональна текущему состоянию. Плюс к тому у нее есть удобное свойство: вес никогда не становится отрицательным, а убывает монотонно.

Говоря о дискретной реализации, когда испарение применяется через фиксированные интервалы, удобно, оперировать следующим правилом. Обозначим, Δt как интервал между последовательными применениями оператора испарения, а τ – количество таких интервалов, которые прошли с момента последней активации связи. Тогда изменение веса подчиняется простому рекуррентному соотношению, и оно не требует никакого непрерывного интегрирования:

$$w_{new}(e) = w_{old}(e) \cdot \gamma^{\tau},$$

где $\gamma = e^{-\lambda \Delta t}$ – фактор затухания за один интервал. Значение параметра γ выбирается близким к единице. Благодаря этому испарение идет постепенно: связи, которые востребованы редко, но все же не утратили актуальности, сохраняются достаточно долго – система не торопится их отбрасывать. Оператор испарения применяется ко всем ребрам графа независимо от их текущего веса. Тем самым создается постоянное «давление забывания»: любая связь, если она перестает подтверждаться запросами, постепенно угасает.

С другой стороны, ребра, которые активируются регулярно, успевают усилиться до значений, близких к единице. Испарение просто не успевает сколько-нибудь существенно снизить их вес. В итоге в системе устанавливается динамическое равновесие. Сохраняются лишь те связи, чья полезность подтверждена практикой использования – все остальное со временем отсекается.

Три описанных механизма действуют не изолированно, а образуют единую систему, управляющую эволюцией семантического графа. В начальный момент граф может быть пустым или содержать минимальное количество ребер, созданных на основе простейших эвристик. По мере поступления новых записей и выполнения пользовательских запросов граф начинает самоорганизовываться. Процесс исследования поставляет в граф новые

ребра, каждое из которых получает малый начальный вес. Такие ребра представляют собой гипотезы о возможных семантических соответствиях. Усиление выступает в роли фильтра: увеличивается вес тех гипотез, которые оказываются полезными в реальных запросах. Испарение, напротив, ослабляет и в конечном счете удаляет гипотезы, не находящие практического подтверждения. Совместное действие усиления и испарения создает эффект конкурентного роста. Ребра, активируемые часто, постепенно «выигрывают» у тех, что используются редко; их вес приближается к единице, тогда как невостребованные ребра деградируют.

Важно, что все три механизма опираются исключительно на локальную информацию: для инициализации – это сходство атрибутов пары записей; для усиления – факт активации в запросе; для испарения – время, прошедшее с момента последней активации. Ни один из механизмов не требует глобального знания о структуре графа или о семантике предметной области. Тем не менее многократное применение этих локальных правил приводит к формированию глобально согласованной структуры. В ней связные компоненты графа с высокой вероятностью соответствуют реальным объектам предметной области.

Для количественного описания совместной динамики удобно ввести *интенсивность использования* связи e за такт t как $I_t(e) = A(t, e)$. Тогда полное изменение веса можно записать в виде одного уравнения:

$$w_{t+1}(e) = \begin{cases} \min\big(1,\ w_t(e) + \beta(1 - w_t(e))I_t(e)\big) \cdot e^{-\lambda\tau(e)}, & \text{если } e \in E(t) \\ w_{\text{init}}(r_a, r_b), & \text{если } e \in /E(t) \text{ и } \text{sim}(ra,rb) > \theta\text{init}, \end{cases}$$

где $\tau(e)$ – число тактов без активации, то есть сколько шагов связь простояла без дела. Достаточно связи оставаться неактивной несколько тактов – и ее вес экспоненциально убывает. А если уж использование отсутствует длительное время, то связь и вовсе удаляется.

Предложенная формализация позволяет взглянуть на семантический граф как на адаптивную систему. Настройке, конечно, подлежат ее параметры – пороги и скорости, но выбор этих параметров уже определяется характеристиками конкретной городской информационной системы. Реализация этой математической модели в виде структур данных и процессов внутри реляционной СУБД демонстрируется уже в следующем разделе. И в целом предложенное решение обеспечивает и требуемую производительность, и масштабируемость – что, собственно, от него и ожидалось.

Описанные выше три механизма обеспечивают непрерывную эволюцию семантического графа. Однако при масштабировании системы на гетерогенные городские данные возникает фундаментальная проблема, известная как *семантический коллапс*. Она проявляется при попытке транзитивного замыкания связей.

Если запись r_a имеет сильную семантическую связь с записью r_b, а запись r_b, в свою очередь, связана с записью r_c, то наивное транзитивное замыкание постулирует эквивалентность r_a и r_c. В реальных ведомственных системах это часто приводит к катастрофическим ошибкам: например, из-за локальной опечатки оператора или омонимии система может ошибочно объединить медицинские и налоговые данные двух разных граждан.

Для формализации этой проблемы введем понятие **треугольного противоречия**. Треугольник вершин (r_i, r_k, r_j) считается противоречивым, если выполняется условие

$$w_{ik} \geq \theta_{ver} \wedge w_{kj} \geq \theta_{ver} \wedge w_{ij} < \theta_{reject},$$

где w_{ij} – вес прямой связи между r_i и r_j, θ_{ver} – порог верификации, а θ_{reject} – порог отклонения гипотезы от прямой эквивалентности.

Для предотвращения лавинообразного распространения ошибок матчинга в предлагаемый метод интегрирован механизм **разрыва слабейшего звена**. Вместо глобального транзитивного замыкания, порождающего монолитные кластеры, система формирует *доверительные кластеры* с обязательным ограничением диаметра.

При обнаружении противоречивого треугольника алгоритм идентифицирует ребро с минимальным весом и применяет к нему штрафную мутацию. Вес слабейшего звена принудительно обнуляется по правилу экспоненциального затухания:

$$w_{weak}(t+1) = w_{weak}(t) \cdot exp\left(-\lambda_{penalty} \cdot \Delta\tau_{penalty}\right),$$

где штрафной временной эквивалент $\Delta\tau_{penalty}$ пропорционален степени противоречия: $\Delta\tau_{penalty} = \alpha \cdot \frac{w_{ik}+w_{kj}}{w_{ij}+\epsilon}$, где α – коэффициент чувствительности, а ϵ – константа для предотвращения деления на ноль.

Чем сильнее косвенные свидетельства эквивалентности и слабее прямое опровержение, тем агрессивнее система разрывает подозрительную связь. Если прямая связь отсутствует, система блокирует транзитивное замыкание и подвергает штрафному испарению одно из косвенных ребер, предотвращая ошибочное слияние профилей.

Этот механизм наделяет систему свойством *семантической осторожности*. Он гарантирует, что адаптивность биоинспирированного метода не приведет к деградации точности из-за накопления транзитивных ошибок, что критически важно для интерпретируемости и прохождения аудита в системах государственного управления.

Архитектура семантического слоя в СУБД

Реализация предложенного биоинспирированного метода невозможна без создания специализированного семантического слоя внутри системы управления базами данных. Выбор платформы для такого слоя – одна из ключевых задач. Требования к ней жесткие: высокая производительность при обработке больших объемов (для городских информационных систем это критически важно), эффективные механизмы индексации для быстрого поиска семантических связей, а также средства для реализации фоновых процессов – инициализации, усиления и испарения.

В качестве целевой СУБД в данной работе выбрана ClickHouse – колоночная аналитическая система. Почему именно она? ClickHouse способна работать с сотнями миллионов записей, поддерживать сложные аналитические запросы с низкой задержкой и обеспечивать высокую степень сжатия данных. Последнее свойство особенно важно: таблица семантических связей может насчитывать десятки или даже сотни миллионов записей, и эффективное сжатие здесь – не просто приятное дополнение, а необходимость. Семантический слой в ClickHouse представляет собой совокупность физических таблиц, материализованных представлений и фоновых процессов, которые совместно реализуют описанные выше механизмы. Центральный элемент этого слоя – таблица семантических связей. Именно в ней хранятся все установленные ребра графа и их веса.

Стоит обратить внимание на принципиальное отличие от реляционных систем с традиционной архитектурой. В ClickHouse ключевой принцип проектирования – правильный выбор ключа сортировки и ключа партиционирования. Именно они определяют физическое расположение данных на диске, а следовательно – производительность запросов. Для таблицы семантических связей предлагается следующая структура логического слоя данных:

Таблица 1. Структура таблицы семантических связей semantic_links

Table 1. Structure of the semantic_links table

Поле	Тип данных	Назначение
link_id	UInt64	Уникальный идентификатор связи, автогенерируемый
record_source_a	String	Название таблицы первого источника
record_id_a	UInt64	Внутренний идентификатор первой записи в источнике
record_source_b	String	Название таблицы второго источника
record_id_b	UInt64	Внутренний идентификатор второй записи в источнике
link_strength	Float32	Вес семантической связи в диапазоне [0, 1]
first_created	DateTime	Дата и время создания связи
last_accessed	DateTime	Дата и время последнего использования связи в запросе
access_count	UInt64	Счетчик суммарного числа обращений к связи
sim_hash	UInt64	64-битный хеш от ключевых атрибутов для быстрого блокирования

Для каждой новой записи r_{new} процесс-исследователь формирует множество кандидатов $C_{r_{new}}$ с использованием блокирования по полю sim_hash. В ClickHouse эта операция может быть реализована с помощью подзапроса:

```
WITH new_records AS (SELECT * FROM incoming_data WHERE processed = 0)
SELECT
    nr.source AS source_a, nr.id AS id_a,
    er.source AS source_b, er.id AS id_b,
    similarity(nr, er) AS sim_value
FROM new_records nr
GLOBAL JOIN existing_records er ON nr.sim_hash = er.sim_hash
WHERE nr.source != er.source AND similarity(nr, er) > threshold
```

Здесь similarity – пользовательская функция, реализующая взвешенную сумму метрик сходства, описанную ранее. Важно отметить использование GLOBAL JOIN, которое необходимо в распределенной среде ClickHouse для корректной передачи данных между узлами кластера. Для каждой пары, удовлетворяющей условию $sim(r_{new}, r_c) > \theta_{init}$, в таблицу semantic_links вставляется запись с начальным весом, вычисляемым по формуле $w_{init} = min(1, (sim/\theta_{init}) \cdot w_{min})$. Вставка выполняется с использованием оператора INSERT INTO semantic_links ... ON CONFLICT (или его аналога ALTER TABLE ... UPDATE в ClickHouse), чтобы избежать дублирования связей.

Процесс-усилитель интегрирован непосредственно в логику выполнения запросов к системе. При обращении к записи r (например, при формировании единого профиля гражданина для предоставления государственной услуги) система сначала извлекает все записи, семантически связанные с r, используя следующий запрос:

```
SELECT
    record_source_b AS source,
    record_id_b AS id,
    link_strength
FROM semantic_links
WHERE record_source_a = :source AND record_id_a = :id
```

```
  AND link_strength > :min_strength
UNION ALL
SELECT
    record_source_a AS source,
    record_id_a AS id,
    link_strength
FROM semantic_links
WHERE record_source_b = :source AND record_id_b = :id
  AND link_strength > :min_strength
```

После того как семантически связанные записи извлечены и использованы для формирования ответа, необходимо обновить веса использованных связей. Для обеспечения высокой производительности в ClickHouse, который не поддерживает традиционные триггеры и операции построчного обновления в реальном времени, предлагается использовать подход с асинхронным накоплением активаций. Каждый запрос, использующий семантические связи, записывает факты активаций в специальную таблицу-журнал activation_log:

```
CREATE TABLE activation_log
(
    link_id UInt64,
    activation_time DateTime,
    query_id String
)
ENGINE = MergeTree()
PARTITION BY toYYYYMM(activation_time)
ORDER BY (link_id, activation_time);
```

Фоновый процесс-агрегатор периодически (например, каждые 5 минут) собирает активации из журнала и обновляет веса связей в основной таблице. Обновление веса выполняется согласно формуле усиления, адаптированной для пакетной обработки. Пусть для связи e за период накоплено A активаций. Тогда новое значение веса вычисляется как:

$$w_{new} = min(1, w_{old} + \beta \cdot (1 - w_{old}) \cdot A/A_{max}),$$

где A_{max} – параметр, определяющий насыщение при большом количестве активаций (например, 100). В ClickHouse такое обновление реализуется через оператор ALTER TABLE semantic_links UPDATE ... WHERE .... Однако при работе с большими объемами данных предпочтительнее оказывается подход, основанный на перезаписи затронутых партиций. Логика здесь следующая: сначала извлекаются все связи, получившие активации, затем вычисляются новые веса, после чего обновленные записи загружаются обратно через INSERT INTO semantic_links.... Поскольку в ClickHouse обновления носят асинхронный характер и не блокируют чтение, такая схема позволяет поддерживать высокую пропускную способность даже в условиях интенсивного потока запросов.

Процесс-испаритель организован в виде фонового задания с суточной периодичностью. Его назначение – снижать веса связей, которые длительное время не использовались, и удалять те из них, чей вес опустился ниже порога θ_{evap}. Испарение подчиняется экспоненциальной модели: для связи ее с временем последней активации t_{last} и текущим весом w_{old} новый вес вычисляется по формуле

$$w_{new} = w_{old} \cdot \gamma^{\Delta t},$$

где Δt − количество суток, прошедших с момента последней активации, а γ − фактор затухания за сутки. В ClickHouse такая операция реализуется одним запросом, который обновляет все записи, удовлетворяющие условию now() − last_accessed > threshold. Однако количество таких записей может быть значительным, поэтому обновление целесообразно выполнять порционно, сопровождая каждую порцию вызовом OPTIMIZE TABLE ... FINAL. Удаление связей, чей вес опустился ниже порога, выполняется оператором ALTER TABLE semantic_links DELETE WHERE link_strength <0,05. Важная особенность ClickHouse: операторы DELETE и UPDATE действуют не мгновенно. Они порождают мутации, которые применяются асинхронно, в фоновом режиме. Такое поведение хорошо согласуется с природой процесса испарения − он не требует немедленной согласованности данных и может выполняться с задержкой.

Задача заключается в том, что при масштабировании на кластер из нескольких узлов требуется обеспечить высокую производительность. Для этого в рамках функционирования системы используется распределенная таблица semantic_links_distributed. Она выполняет маршрутизацию запросов на основе ключа шардирования, в качестве которого целесообразно использовать выражение cityHash64(record_source_a, record_id_a). Как следствие, все связи, исходящие из одной записи, оказываются на отдельно взятом узле. Это касается критически важного условия для эффективного выполнения запросов, когда извлечение всех связей записи не требует межузловой координации. Внутри каждого шарда данные партиционируются по месяцу создания, что позволяет решить вопрос управления жизненным циклом данных и удалять устаревшие связи без блокировок.

Если говорить о среде ClickHouse, то предложенная архитектура семантического слоя реализует формализованные механизмы биоинспирированного метода. Колоночный движок MergeTree в сочетании с ключами сортировки и партиционирования обеспечивает высокую производительность операций чтения. В реальной эксплуатации именно они являются доминирующими.

И еще стоит упомянуть об одной детали: асинхронный характер обновлений и использование промежуточных таблиц для накопления активаций позволяют достичь необходимой пропускной способности. Это касается интенсивного потока запросов, характерного для городских информационных систем с миллионной аудиторией.

Заключение

В рамках решения задачи интеграции данных предлагается биоинспирированный метод семантической самоорганизации, который встраивается непосредственно в контур системы управления базами данных. Проблема заключается в том, что архитектурное решение предполагает отказ от внешних сервисов связывания: управляющие механизмы размещаются там, где данные уже хранятся и обрабатываются. Это касается принципиального момента, так как позволяет избежать сетевых задержек. В основе подхода лежит эволюция семантического графа. Процесс описывается через три ключевых механизма: инициализацию связей на базе нечеткого сравнения атрибутов, усиление востребованных узлов через положительную обратную связь и испарение неиспользуемых связей с экспоненциальным затуханием весов. Важно отметить, что все три компонента работают в цикле, образуя саморегулируемую систему.

Касательно практической реализации, архитектура семантического слоя для ClickHouse демонстрирует возможность функционирования в условиях, типичных для городских информационных систем. Имеются в виду жесткие требования к производительности, масштабируемости и надежности. Основной результат работы касается математической формализации процессов самоорганизации. Благодаря такой формализации эволюция графа может рас-

сматриваться как управляемая динамическая система. В отличие от детерминированных методов, где правила сопоставления жестко заданы заранее и требуют ручной настройки, предложенный подход адаптируется к изменяющимся данным без участия администратора. Если говорить о методах машинного обучения, то они нуждаются в размеченных обучающих выборках и периодическом переобучении, тогда как данный метод использует поток реальных запросов как единственный источник сигнала. Это принципиально снимает проблему «холодного старта», когда размеченных данных просто нет.

Практическая значимость работы заключается в архитектуре семантического слоя, реализованной средствами колоночной СУБД. Предложенные структуры таблиц с оптимизированными ключами сортировки и механизмы асинхронного накопления активаций образуют целостное решение. Касательно интерпретируемости: вес семантической связи здесь имеет четкий смысл, что особенно важно для систем государственного управления, где предъявляются повышенные требования к обоснованности. Дальнейшие исследования предполагают экспериментальную апробацию метода на реальных данных городских ведомственных систем. В планах − оценка полноты и точности в сравнении с вероятностным подходом Феллеги–Сантера и методами машинного обучения. Отдельное внимание будет уделено устойчивости метода к зашумленным данным. Перспективным направлением видится развитие метода в сторону адаптивной настройки весов атрибутов. Таким образом, разработанный метод предлагает подход к решению проблемы интеграции гетерогенных данных, сочетая адаптивность с надежностью реляционных технологий хранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Даниленко О. И.* Теоретико-множественная модель интеграции гетерогенных информационных систем университета в условиях цифровой трансформации // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 4. С. 67–76. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.4.77100

2. *Курейчик В. В., Заруба Д. В.* Биоинспирированный алгоритм приобретения новых знаний на основе классификации информационных ресурсов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. № 5. С. 15–26. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-2-15-26

3. *Нурутдинов А. Р., Латыпов Р. Х.* Перспективы биоинспирированного подхода в разработке систем искусственного интеллекта (обзор тенденций) // Ученые записки Казанского университета. Серия: физико-математические науки. 2022. Т. 164. № 2-3. С. 244–265. DOI: 10.26907/2541-7746.2022.2-3.244-265

4. *Ганчерёнок И. И., Горбачев Н. Н.* «Умный город» как объект управления информационными ресурсами // Механика и технология. 2021, Т. 67. № 2. С. 89–96.

5. *Бурый А. С., Ловцов Д. А.* Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-4-15-26

6. *Раченко О. Л., Кириченко Е. А., Гаязова Е. Э.* Цифровая трансформация городского управления // Вестник Академии знаний. 2021. № 45(4). С. 252–256. DOI: 10.24412/2304-6139-2021-11368

7. *Wei Y., Othman Z., Daud K.M. et al.* Advances in slime mould algorithm: a comprehensive survey // Biomimetics. 2024. Vol. 9. No. 1. p. 31. DOI: 10.3390/biomimetics9010031

8. *Yang J., Zhang Y., Jin T.* Maximum Lyapunov exponent-based multiple chaotic slime mold algorithm for real-world optimization // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. No. 1. DOI: 10.1038/s41598-023-40080-1

9. *Qiu F., Heidari A., Chen Y.* Advancing forensic-based investigation incorporating slime mould search for gene selection of high-dimensional genetic data // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. No. 1. p. 8599. DOI: 10.1038/s41598-024-59064-w

10. *Tang A., Tang S., Han T. et al.* A Modified slime mould algorithm for global optimization // Computational Intelligence and Neuroscience. 2021. No. 1. p. 22. DOI: 10.1155/2021/2298215

11. *Ribeiro B., Braghetto M., Braghetto R.* A Scalable data integration architecture for smart cities: implementation and evaluation // Journal of Information and Data Management. 2022. Vol. 13. No. 2. DOI: 10.5753/jidm.2022.2485

12. *Feng Q., Ran G., Huiling C., Guoxi L.* Boosting slime mould algorithm for high-dimensional gene data mining: diversity analysis and feature selection // Computational and Mathematical Methods in Medicine. 2022. Article 8011003. 27 p. DOI: 10.1155/2022/8011003

13. *Christen P., Kirielle N., Nanayakkara C. et al.* Unsupervised graph-based entity resolution for accurate and scalable ER // Proceedings of CIDR 2022. 10th Biennial Conference on Innovative Data Systems Research. 2022. Pp. 86–95. DOI: 10.48786/EDBT.2022.44

14. *Jabrane M., Tabbaa H., Hadri A., Hafidi I.* Enhancing entity resolution with a hybrid active machine learning framework: Strategies for optimal learning in sparse datasets // Information Systems. 2024. Vol. 125. Article 102410. ISSN 0306-4379. DOI: 10.1016/j.is.2024.102410

15. *Cai Z., Li G., Zhang J., Xiong S.* Using an artificial physarum polycephalum colony for threshold image segmentation // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. Article 11976. DOI: 10.3390/app132111976

REFERENCES

1. Danilenko O.I. Theoretical-multiset model of integration of heterogeneous information systems of the university in the context of digital transformation. *Software Systems and Computational Methods*. 2025. No. 4. Pp. 67–76. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.4.77100. (In Russian)

2. Kureichik V.V., Zaruba D.V. Bioinspired algorithm for acquiring new knowledge on the basis of the information resources classification. *Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*. 2024. No. 5. Pp. 15–26. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-2-15-26. (In Russian)

3. Nurutdinov A.R., Latypov R.Kh. Potentials of the bio-inspired approach in the development of artificial intelligence systems (Trends review). *Scientific Notes of Kazan University. Physical and Mathematical Sciences Series*. 2022. Vol. 164. No. 2-3. Pp. 244–265. DOI: 10.26907/2541-7746.2022.2-3.244-265. (In Russian)

4. Gancherenok I.I., Gorbachev N.N. “Smart city” as an object of information resources management. *Mekhanika i tekhnologiya* [Mechanics and Technology]. 2021. Vol. 67. No. 2. Pp. 89–96. (In Russian)

5. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Information structures of the smart city based on cyber-physical systems. *Legal Informatics*. 2022. No. 4. Pp. 15–26. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-4-15-26. (In Russian)

6. Rachenko O.L., Kirichenko E.A., Gayazova E.E. Digital transformation of urban management. *Bulletin of the Academy of Knowledge.* 2021. No. 45(4). Pp. 252–256. DOI: 10.24412/2304-6139-2021-11368. (In Russian)

7. Wei Y., Othman Z., Daud K.M. et al. Advances in slime mold algorithm: a comprehensive survey. *Biomimetics* 2024. Vol. 9. No. 1. p. 31. DOI: 10.3390/biomimetics9010031

8. Yang J., Zhang Y., Jin T. Maximum Lyapunov exponent-based multiple chaotic slime mold algorithm for real-world optimization. *Scientific reports*. 2023. Vol. 13. No. 1. DOI: 10.1038/s41598-023-40080-1

9. Qiu F., Heidari A., Chen Y. Advancing forensic-based investigation incorporating slime mold search for gene selection of high-dimensional genetic data. *Scientific Reports.* 2024. Vol. 14. No. 1. p. 8599. DOI: 10.1038/s41598-024-59064-w

10. Tang A., Tang S., Han T. et al. A Modified slime mold algorithm for global optimization. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2021. No. 1. p. 22. DOI: 10.1155/2021/2298215

11. Ribeiro B., Braghetto M., Braghetto R. A scalable data integration architecture for smart cities: implementation and evaluation. *Journal of Information and Data Management*. 2022. Vol. 13. No. 2. DOI: 10.5753/jidm.2022.2485

12. Feng Q., Ran G., Huiling C., Guoxi L. Boosting slime mold algorithm for high-dimensional gene data mining: diversity analysis and feature selection. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. 2022. Article 8011003. 27 p. DOI: 10.1155/2022/8011003

13. Christen P., Kirielle N., Nanayakkara C. et al. Unsupervised graph-based entity resolution for accurate and scalable ER. *Proceedings of CIDR 2022. 10th Biennial Conference on Innovative Data Systems Research*. 2022. Pp. 86–95. DOI: 10.48786/EDBT.2022.44

14. Jabrane M., Tabbaa H., Hadri A., Hafidi I. Enhancing entity resolution with a hybrid active machine learning framework: Strategies for optimal learning in sparse datasets. *Information Systems*. 2024. Vol. 125. Article 102410. ISSN 0306-4379. DOI: 10.1016/j.is.2024.102410

15. Cai Z., Li G., Zhang J., Xiong S. Using an artificial physarum polycephalum colony for threshold image segmentation. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. Article 11976. DOI: 10.3390/app132111976

Финансирование. Работа выполнена в рамках научной работы аспиранта.

Funding. This work was conducted as part of the research activities of a postgraduate student towards thesis preparation.

Информация об авторе

Рыбаков Даниил Александрович, аспирант кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;
rybakov.daniel99@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-8959-4427, SPIN-код: 7155-6461

Information about the author

Daniil A. Rybakov, Postgraduate Student, Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics;
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia;
rybakov.daniel99@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-8959-4427, SPIN-code: 7155-6461

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.852: 004.855.5 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-154-165
HTVQHL

Прогнозирование выручки малого пищевого предприятия на основе методов машинного обучения*

В. В. Дьячкова, М. П. Кириченко✉

Донбасский государственный технический университет
294204, Россия, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью снижения потерь от списания скоропортящейся продукции на малых пищевых предприятиях из-за неточного планирования объемов производства. Статья посвящена решению задачи прогнозирования ежедневной выручки мини-пекарни в условиях ограниченного объема исторических данных.

Цель исследования – разработка и апробация моделей машинного обучения для прогнозирования ежедневной выручки на продукцию мини-пекарни для снижения потерь от списаний скоропортящейся продукции.

Материалы и методы исследований включают разработанный алгоритм догенерации данных на основе сезонной повторяемости, формирование признакового пространства из временных характеристик, лаговых значений, скользящих статистик и внешних факторов, а также обучение шести моделей прогнозирования с подбором гиперпараметров.

Результаты показывают, что в условиях ограниченного объема исторических данных ансамблевые методы превосходят рекуррентные нейросети по точности, устойчивости и интерпретируемости. Выявлены ключевые факторы, влияющие на точность прогнозирования выручки: динамика продаж последних трех дней, показатели недельной давности и праздничные дни. Проведена оценка точности различных подходов к прогнозированию выручки, сделаны выводы по их практической применимости в условиях малого пищевого бизнеса. Проверка результатов прогнозирования на реальных данных подтверждает эффективность разработанного подхода к обучению и применению моделей машинного обучения для прогнозирования ежедневной выручки на продукцию мини-пекарни.

Выводы. Предложенная методика обучения моделей машинного обучения, включающая догенерацию данных, формирование признакового пространства и использование ансамблевых методов, показала свою эффективность и пригодность для внедрения в малом пищевом производстве.

Ключевые слова: прогнозирование, сравнительный анализ моделей, машинное обучение, рекуррентные нейросети, ансамблевые методы, малое пищевое предприятие

Поступила 17.04.2026, одобрена после рецензирования 15.05.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Дьячкова В. В., Кириченко М. П. Прогнозирование выручки малого пищевого предприятия на основе методов машинного обучения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 154–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-154-165

© Дьячкова В. В., Кириченко М. П., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T05 Scientific article

Forecasting small food enterprise revenue based on machine learning methods*

V.V. Dyachkova, M.P. Kirichenko✉

Donbass State Technical University
16, Lenin avenue, Alchevsk, 294204, Russia

Abstract. The urgency of the research stems from the necessity to minimize waste from write-offs of perishable goods in small food companies caused by imprecise production planning. This article focuses on solving the daily revenue forecasting problem for a micro-bakery operating with limited historical data.

Aim. The research objective is to develop and test machine learning models for predicting mini-bakery daily revenue in order to minimize waste from spoiling perishable goods.

Materials and methods comprise a data generation algorithm based on seasonal recurrence, a feature space constructed from temporal features, lags, moving statistics, and external factors, and the training and hyperparameter optimization of six forecasting models.

Results. The findings show that given limited historical data, ensemble methods surpass recurrent neural networks in accuracy, stability, and interpretability. The study identified the key drivers of revenue prediction accuracy: the sales dynamics of the past three days, lagged metrics from one week ago, and holiday factors. We evaluated the prediction accuracy of different approaches and provided recommendations for their practical application under the constraints of small-scale food enterprises. Testing the predictions against empirical data validates the efficiency of the proposed machine learning framework for mini-bakery daily revenue forecasting.

Conclusions. The proposed methodology for training machine learning models which includes data augmentation, feature space construction, and the use of ensemble methods has demonstrated its effectiveness and suitability for implementation in small-scale food production.

Keywords: forecasting, comparative analysis of models, machine learning, recurrent neural networks, ensemble methods, small food enterprise

Submitted 17.04.2026, approved after reviewing 15.05.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Dyachkova V.V., Kirichenko M.P. Forecasting small food enterprise revenue based on machine learning methods. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 154–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-154-165

Введение

Прогнозирование выручки является одной из ключевых задач для предприятий пищевой отрасли, особенно в сегменте малого бизнеса. Мини-пекарни, кондитерские и другие производства, работающие со скоропортящейся продукцией, ежедневно сталкиваются с проблемой неопределенности: избыточный выпуск товаров ведет к убыткам от списаний, а недостаточный – к упущенной выгоде и потере клиентов. Для пекарен, не использующих специализированные системы прогнозирования, характерны высокие потери от нереализованной продукции, которые в отдельных случаях достигают критических значений от общего объема производства.

Анализ современных научных публикаций показывает, что проблема прогнозирования спроса на продукцию и выручки от продаж находится в фокусе внимания исследователей, однако предлагаемые подходы имеют ряд ограничений. В работе Е. С. Бурдух и В. В. Нордина [1]

© Dyachkova V.V., Kirichenko M.P., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

рассматриваются статистические методы, которые дают приемлемую точность, но не учитывают внешние факторы и не адаптируются к изменениям спроса. А. А. Микрюков и Д. В. Гилев [2] предлагают гибридный метод на основе ансамбля SARIMA и LSTM. А. А. Аббакумов с соавторами [3] сравнили ARIMA, случайный лес, градиентный бустинг и LSTM, показав преимущества нейросетей для нелинейных зависимостей. М. Д. Иванов [4] также подтверждает эффективность гибридных подходов (ARIMA, SARIMA + нейросети). М. М. Мизаев и М. С. Закриева [5] отмечают способность LSTM и GRU выявлять скрытые закономерности. Т. Н. Макарова с соавторами [6] акцентируют необходимость учета факторов, влияющих на спрос, и расчёта ошибки прогноза. То Фи Тхань и Л. В. Горобинский [7] представили архитектуру WMS с модулями ИИ для прогнозирования спроса. Также отметим, что существующие исследования ориентированы на крупные торговые сети с большими объемами данных либо используют упрощенные статистические методы, не учитывающие специфику малого пищевого производства. Сложные модели требуют больших ресурсов, что затрудняет их внедрение в малом бизнесе.

Цель работы – разработка и апробация моделей машинного обучения для прогнозирования ежедневной выручки на продукцию мини-пекарни для снижения потерь от списаний скоропортящейся продукции.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

– сбор и предобработка исходных данных;

– формирование признакового пространства;

– разработка и обучение моделей (LSTM, GRU, Ridge, RF, GB, ансамбль);

– сравнительный анализ качества моделей;

– анализ важности признаков и выявление ключевых факторов выручки;

– проверка прогнозов на фактических данных.

Основная идея исследования заключается в том, что даже при ограниченном объеме исторических данных методы машинного обучения способны обеспечить точность прогнозирования, достаточную для практического применения в малом пищевом производстве.

Материалы и методы исследований

Методологическую основу исследования составляет сочетание методов анализа временных рядов, машинного обучения и экспериментального моделирования на реальных данных.

Проблема исследования заключается в том, что на относительно малых объемах исторических данных, которыми располагает малое пищевое предприятие, построение точного прогноза выручки затруднено из-за высокой изменчивости продаж, наличия нелинейных зависимостей и недостаточности данных для обучения сложных моделей.

Для разработки модели использовались данные о ежедневных продажах мини-пекарни «Качар». В связи с практическими потребностями пекарни осуществляется ежедневное прогнозирование выручки на месяц вперед.

Результаты исследований

Прогнозирование выручки в малом пищевом производстве имеет ряд специфических особенностей, которые отличают эту задачу от аналогичных в других отраслях.

1. Скоропортящийся характер продукции. Хлебобулочные изделия имеют ограниченный срок реализации – от 24 до 72 часов. Все, что не продано в течение этого времени, подлежит списанию и становится убытком.

2. Высокая изменчивость спроса. Потребление хлебобулочных изделий подвержено колебаниям в зависимости от множества факторов: день недели, время года, праздничные дни, погодные условия.

3. Зависимость от локации. Одна и та же пекарня, открытая в разных районах города, будет иметь совершенно разную структуру спроса.

4. Ограниченный объем исторических данных. Малый бизнес редко ведет детальный учет продаж на протяжении длительного времени, что создает дополнительные сложности для обучения моделей.

С учетом специфических особенностей данной отрасли далее приведены этапы разработки моделей машинного обучения с промежуточными результатами моделирования, сравнительным анализом моделей и практическими рекомендациями к применению.

1. Подготовка исходных данных

Для разработки модели использовались данные о ежедневных продажах мини-пекарни «Качар» за 2021–2026 годы по 26 ассортиментным позициям и суммарной выручке за день. Первоначальная выборка составляла 908 дней (август 2023 – февраль 2026), что типично для малого бизнеса.

Поскольку нейросетям требуется большой объем данных, была проведена генерация недостающих записей за 2021–2023 годы. Пропущенные значения заполнялись данными аналогичных дней из 2024–2025 годов на основе сезонной повторяемости с добавлением случайного шума для сохранения вариативности.

Исходный набор данных включал следующую информацию: дата продажи, день недели, наименование продукта, количество проданных единиц, цена реализации, выручка за день.

Все расчеты и визуализация были выполнены на языке программирования Python. На этапе загрузки исходных данных из csv-файла, а также для их предобработки использовалась библиотека pandas.

2. Формирование признаков

Для охвата основных факторов, влияющих на спрос, – циклических закономерностей, внешних условий, инерционности продаж, трендов, а также динамики изменений – на основе исходных данных были сформированы пять групп признаков. Группа временных признаков включает в себя день недели и месяц, день месяца, признак «дней до конца месяца», а также бинарные признаки сезонов года. Категориальные признаки означают индикатор праздничного дня (1 – праздник, 0 – нет). В группу лаговых признаков входят значения выручки за предыдущие дни (с лагами 1, 2, 3, 7, 14). Группа скользящих статистик представляет среднее значение за 3, 7 и 14 дней и стандартное отклонение за 7 и 14 дней. Признаки разностей изменяют выручку относительно предыдущего дня и относительно того же дня неделей ранее. Общее количество признаков – 23. Целевая переменная – значение выручки на следующий день.

3. Нормализация признаков

Для устранения различия в масштабах признаков числовые переменные были нормализованы методом MinMaxScaler. После генерации прогнозов выполнено обратное преобразование для возвращения значений в рубли.

На этапах нормализации, обучения моделей, расчета метрик и анализа важности признаков использовалась библиотека scikit-learn.

4. Разделение данных на выборки

Данные были хронологически разделены на три выборки: для выявления закономерностей в продажах обучающую – 70 % от общего объема данных (1280 дней, январь 2021 – декабрь 2024); для подбора гиперпараметров моделей и ранней остановки обучения нейросетей валидационную – 15 % (274 дня, январь – декабрь 2025); для оценки эффективности моделей тестовую – 15 % (275 дней, январь – февраль 2026).

5. Выбор моделей для сравнения

Для оценки применимости методов машинного обучения в условиях ограниченного объема данных были выбраны к сравнительному анализу следующие модели:

– двунаправленная LSTM, учитывающая контекст из прошлого и будущего;

– GRU – упрощенная версия LSTM с увеличенным количеством нейронов;

– Ridge-регрессия – линейная модель с L2-регуляризацией;

– случайный лес (Random Forest, RF) – метод, строящий множество деревьев решений параллельно;

– градиентный бустинг (Gradient Boosting, GB) – последовательный метод, исправляющий ошибки предыдущих деревьев.

– ансамбль, усредняющий предсказания LSTM, GRU, RF, GB (включение моделей в ансамбль обусловлено их различной природой: линейные модели обеспечивают интерпретируемость, RF лес и GB демонстрируют высокую точность на структурированных данных, а рекуррентные нейросети способны улавливать временные зависимости).

6. Выбор архитектуры и параметров сетей

На этапе настройки моделей для каждой из них экспериментальным путем были подобраны архитектура и гиперпараметры, обеспечивающие наилучшее качество прогнозирования на валидационной выборке. Для этого сначала задавались начальные значения параметров (количество слоев, нейронов, скорость обучения, глубина деревьев), затем они последовательно изменялись: для нейросетей варьировались число слоев и нейронов, вероятность dropout, для ансамблевых методов – количество деревьев, глубина и минимальное число образцов в узле. Каждая комбинация запускалась, результаты сравнивались по минимальной ошибке MAPE на валидационной выборке. Всего было проведено 25–37 экспериментов в зависимости от типа модели, по итогам моделирования выбраны параметры, давшие наилучший результат (см. табл. 1).

Таблица 1. Гиперпараметры моделей / ***Table 1***. Model hyperparameters

Модель	Параметр	Значение	Особенность
LSTM	Количество слоев	2 рекуррентных + 1 полносвязный	Достаточно для улавливания временных зависимостей, но не приводит к переобучению
	Нейроны в слоях	64 → 32 → 16	Постепенное уменьшение емкости
	Двунаправленный слой	Да (на первом слое)	Позволяет учитывать контекст как из прошлого, так и из будущего
	Dropout	0,3	Предотвращает переобучение, отключая 30% нейронов случайно
	Learning rate	0,001	Стандартное значение, при котором сеть обучается достаточно быстро и стабильно
	Функция активации	tanh (в LSTM), ReLU (в Dense)	Стандартные для рекуррентных и полносвязных слоев
GRU	Количество слоев	2 рекуррентных + 1 полносвязный	Аналогично LSTM
	Нейроны в слоях	64 → 32 → 16	Аналогично LSTM
	Dropout	0,3	Аналогично LSTM
	Learning rate	0,001	Аналогично LSTM
Ridge	α (регуляризация)	10,0	Подобран по минимуму ошибки на валидации
RF	Количество деревьев	500	Достаточно для стабильного прогноза
	Максимальная глубина	12	Ограничивает сложность каждого дерева, предотвращая переобучение
	min_samples_split	8	Предотвращает построение мелких, переобученных узлов
	min_samples_leaf	4	Минимальное количество записей в листе
GB	Количество деревьев	300	Обеспечивает высокую точность
	Максимальная глубина	5	Достаточно для улавливания нелинейностей
	Скорость обучения	0,05	Обеспечивает плавную сходимость
	min_samples_split	8	Предотвращает переобучение
	min_samples_leaf	4	Аналогично RF
Ансамбль (RF+GB+ LSTM+GRU)	Способ объединения	Взвешенное усреднение	Компенсирует ошибки отдельных моделей
	Веса моделей	RF – 0,4; GB – 0,4; LSTM – 0,1; GRU – 0,1	Большие веса присвоены методам, показавшим лучшую точность на валидации

7. Определение критериев качества прогнозирования

Для оценки качества моделей использовались метрики MAE, RMSE, MAPE и R^2, поскольку они охватывают разные аспекты точности прогноза: абсолютную и относительную ошибку, чувствительность к большим отклонениям и то, насколько хорошо модель понимает, как меняются продажи. Это позволяет комплексно сравнить модели и выбрать наиболее подходящую для использования в малом бизнесе.

Для определения пригодности модели к внедрению в операционную деятельность мини-пекарни установлены следующие пороговые значения метрик качества:

1. MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка) – не более 5 %. Такой уровень точности является приемлемым для малого пищевого предприятия, поскольку позволяет планировать объемы производства без критических списаний или дефицита продукции. Ошибка менее 3 % оценивается как «хороший» результат, менее 1 % – как «отличный».

2. R^2 (коэффициент детерминации) – не менее 0,8. Значение R^2 выше 0,8 означает, что модель объясняет не менее 80 % изменчивости спроса, что достаточно для практического прогнозирования. Значения R^2 выше 0,9 свидетельствуют о высокой точности модели.

3. MAE (средняя абсолютная ошибка) – не более 10 % от среднего дневного оборота. Для данной мини-пекарни средняя дневная выручка составляет около 30 000 руб., поэтому допустимое значение MAE – не более 3 000 руб.

Модели, удовлетворяющие всем трем критериям, считаются пригодными для оперативного планирования производства. Модели, не соответствующие данным пороговым значениям, не рекомендуются к внедрению без дополнительной настройки или дообучения.

8. Обучение моделей

Результаты обучения моделей с подобранными ранее гиперпараметрами следующие. LSTM и GRU обучались со скоростью 0,001. С целью предотвращения переобучения применялись ранняя остановка и снижение скорости обучения, которое продолжалось до 150 эпох. Ridge-регрессия обучалась за один проход с параметром $\alpha = 10{,}0$. RF использовал 500 деревьев, строившихся параллельно на случайных подвыборках. GB обучался с помощью последовательности деревьев, каждое следующее дерево исправляло ошибки предыдущих. Ансамбль не требовал обучения, его прогноз вычислялся как взвешенное среднее: RF (0,4), GB (0,4), LSTM (0,1), GRU (0,1).

Для оценки влияния объема данных на качество прогнозирования были проведены два эксперимента: на исходных и на расширенных данных (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение качества моделей до и после догенерации данных

Table 2. Comparison of model performance before and after data augmentation

Модель	До догенерации (702 дня)		После догенерации (1786 дней)	
	MAPE, %	R^2	MAPE, %	R^2
LSTM	91,3	-384,6	2,7	0,4136
GRU	80,3	-297,6	2,7	0,3877
Ridge	1,6	0,784	1,0	0,9162
RF	0,8	0,915	0,4	0,9662
GB	0,7	0,928	0,4	0,9714
Ensemble (LSTM+GRU+RF+GB)	0,7	0,924	0,7	0,9425

Из таблицы 2 видно, что модели LSTM и GRU до применения метода догенерации не смогли обучиться вовсе. После расширения набора данных до 1843 дней наблюдалось улучшение производительности моделей, что подтверждает большую зависимость рекуррентных нейронных сетей от объема исходных данных. Применение этих нейросетевых архитектур целесообразно только при наличии обширной обучающей выборки или возможности ее существенного расширения.

Модели Ridge, RF, GB, а также Ensemble (LSTM+GRU+RF+GB) показали высокие результаты как на исходных данных, так после догенерации, что говорит о меньшей требовательности ансамблевых методов к объему данных.

Таким образом, догенерация данных позволяет улучшить качество прогнозов всех рассмотренных моделей, однако применять ее следует с осторожностью. Искусственное расширение выборки не заменяет реальные исторические данные и может привести к переносу нереалистичных значений, особенно если исходный период содержит аномалии или разовые события. Рекомендуется использовать догенерацию только при наличии устойчивой сезонной повторяемости и с добавлением контролируемого шума, а также проверять качество прогнозов на реальных данных за достаточно длительный период.

9. Оценка качества моделей

Оценка эффективности моделей прогнозирования осуществлялась по метрикам, выбранным выше. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнение метрик качества прогнозирования

Table 3. Comparison of forecast quality metrics

Модель	MAE, руб.	RMSE, руб.	MAPE, %	R^2
LSTM	792	1049	2,7	0,4136
GRU	786	1072	2,7	0,3877
Ridge	295	397	1,0	0,9162
Random Forest	115	252	0,4	0,9662
Gradient Boosting	120	232	0,4	0,9714
Ensemble (RF+GB+LSTM+GRU)	206	329	0,7	0,9425

Критерии приемлемости прогноза для малого пищевого предприятия определяются величиной ошибки, при которой возможно эффективное планирование производства без риска образования избытка или дефицита продукции. Опыт работы мини-пекарни показывает, что ошибка MAPE до 5 % считается удовлетворительной, до 3 % – хорошей, а менее 1 % – отличной. Значение коэффициента детерминации R^2 выше 0,9 свидетельствует о том, что модель объясняет более 90 % изменчивости спроса, что вполне достаточно для практического использования.

Среди всех обученных моделей наилучшие результаты по совокупности метрик показали RF и GB. Их ошибка MAPE составила 0,4 %, а R^2 превысил 0,96, что соответствует хорошему качеству прогноза.

Ансамбль, включающий RF, GB, LSTM и GRU, также показал высокие результаты, однако уступил лучшим отдельным моделям. Тем не менее он более устойчив к выбросам и может быть полезен, если требуется повышенная надежность прогноза.

Рекуррентные модели LSTM и GRU в отдельности показали более низкие результаты, эти модели объясняют лишь около 40 % изменчивости спроса, а остальное остается за

пределами их предсказаний. Поэтому рекомендуется использовать их не по отдельности, а в ансамбле с небольшими весами, где они дополняют более точные ансамблевые методы и не вносят критические ошибки.

10. Анализ важности признаков

Для выявления факторов, оказывающих ключевое влияние на выручку, был проведен анализ важности признаков. В случае RF и GB применялся встроенный механизм scikit-learn, для Ridge-регрессии значимость оценивалась на основе абсолютных значений коэффициентов.

Прямая оценка значимости признаков для нейросетевых моделей LSTM и GRU не проводилась, поскольку архитектура данных сетей предполагает нелинейные преобразования и рекуррентные связи, что исключает возможность интерпретации весов как прямого показателя вклада отдельных признаков.

Важность признаков, выраженная в процентном соотношении, обеспечивает сравнимость между различными типами моделей и позволяет наглядно представить относительный вклад каждого признака в конечный прогноз (табл. 4).

Таблица 4. Важность признаков моделей прогнозирования

Table 4. Feature importance in forecasting models

Признак	Важность признаков		
	RF	GB	Ridge
Скользящее среднее за 3 дня, %	42	38	35
Лаг 7 (выручка неделю назад), %	14	16	18
Признак праздничного дня, %	11	12	10
Стандартное отклонение за 3 дня, %	7	6	5
Лаг 1 (выручка вчера), %	6	5	8
Скользящее среднее за 7 дней, %	5	4	4
Остальные признаки (17 шт.), %	15	19	20

Проведенный анализ выявил сходную закономерность в оценке важности признаков. Согласованность полученных результатов для различных типов моделей подтверждает надежность установленных закономерностей и позволяет с высокой долей вероятности считать, что основными факторами, влияющими на прогнозный показатель выручки, являются:

– скользящее среднее за трехдневный период – указывает на выраженную изменчивость потребительского спроса, где недавние объемы продаж служат индикатором будущих тенденций;

– продажи недельной давности – связаны с ярко выраженной недельной сезонностью;

– признак праздничного дня – в периоды праздников и выходных существуют существенные колебания в покупательской активности.

– стандартное отклонение продаж за последние три дня – подтверждает, что чем выше уровень неопределенности в недавних данных, тем меньше уверенности в точности прогноза.

11. Прогнозирование на будущий период

Фактическая суточная выручка мини-пекарни в марте 2026 года колебалась в диапазоне от 26 828 до 32 010 рублей. Обученные модели были использованы для прогнозирования на этот же период. В результате моделирования прогнозные значения моделей составили диапазон от 27 300 до 30 800 рублей, что подтверждает адекватность разработанных моделей и их способность улавливать реальные колебания спроса.

В результате работы программы сформирован файл, содержащий прогноз по 26 ассортиментным позициям для каждой из шести моделей. Файл включает шесть листов: LSTM, GRU, Random Forest, Gradient Boosting, Ridge и Ensemble. Структура файла позволяет удобно анализировать прогнозы и использовать их для планирования объемов производства.

Для оценки качества было проведено сравнение прогнозных значений с фактической выручкой за март 2026 года (табл. 5).

Таблица 5. Результаты прогнозирования на март 2026 г.

Table 5. Forecasting results for March 2026

Модель	Прогнозная сумма в месяц, руб.	Отклонение суммы в месяц, руб.	Отклонение суммы в месяц, %	Наиб. отклон. за день, руб.	Наим. отклон. за день, руб.	Среднее отклонение за день, руб.
LSTM	941 205	-1 401	-0,15%	2 560	-34	788
GRU	941 095	-1 511	-0,16%	2 661	-19	798
Ridge	940 628	-1 978	-0,21%	-9 123	223	2 484
RF	941 535	-1 071	-0,11%	2 506	10	795
GB	941 152	-1 454	-0,15%	2 432	-41	844
Ensemble	941 290	-1 316	-0,14%	2 583	-19	808

Из таблицы видно, что на реальных данных за март 2026 года Ridge-регрессия, несмотря на хорошие метрики на тестовой выборке, показала наибольшее отклонение от факта, что объясняется тем, что линейная модель плохо улавливает нелинейные зависимости, характерные для динамики спроса в праздничные и предпраздничные дни, которые были в марте. LSTM и GRU на реальных данных показали себя лучше Ridge, что говорит о том, что нейросетевые модели хотя и нестабильны, но при определенных условиях способны адаптироваться к нелинейным изменениям лучше линейных методов. Среди всех рассмотренных моделей наилучшие результаты показал RF, который обеспечил минимальную ошибку и наиболее стабильный прогноз.

Таким образом, выдвинутая гипотеза о том, что даже на ограниченных объемах данных методы машинного обучения способны давать точность, достаточную для практического применения в малом пищевом производстве, полностью подтвердилась.

С помощью библиотеки matplotlib осуществлена визуализация результатов моделирования исследуемых моделей. В качестве примера приведена визуализация результатов моделирования модели RF как показавшей наилучшие результаты прогнозирования в реальных условиях (рис. 1).

На рисунке 1а представлено сравнение отклонений от фактической выручки за март 2026 г. по каждой модели. Общее отклонение прогноза от фактического значения в модели RF за весь месяц составило 1 071 руб., что свидетельствует о том, что суммарный прогноз на месяц совершенно незначительно отклонился от реальной выручки, а ошибка осталась минимальной. Динамика прогноза RF (рис. 1б) повторяет тренд фактической выручки, модель продемонстрировала стабильность в большинстве дней: за 21 из 31 день погрешность не превышала 3 %, а за 12 дней была менее 1 %, наиболее заметные расхождения были отмечены на 8-й и 14-й дни, вероятной причиной могут быть сезонные тренды и праздничные дни, которые модель не смогла полностью учесть. Видно (рис. 1в), что чаще всего модель ошибалась по субботам, а минимально – по вторникам и пятницам. Визуализация важности признаков (рис. 1г) подтверждает, что ключевые факторы – скользящее среднее за три дня, лаг 7 и праздничный день.

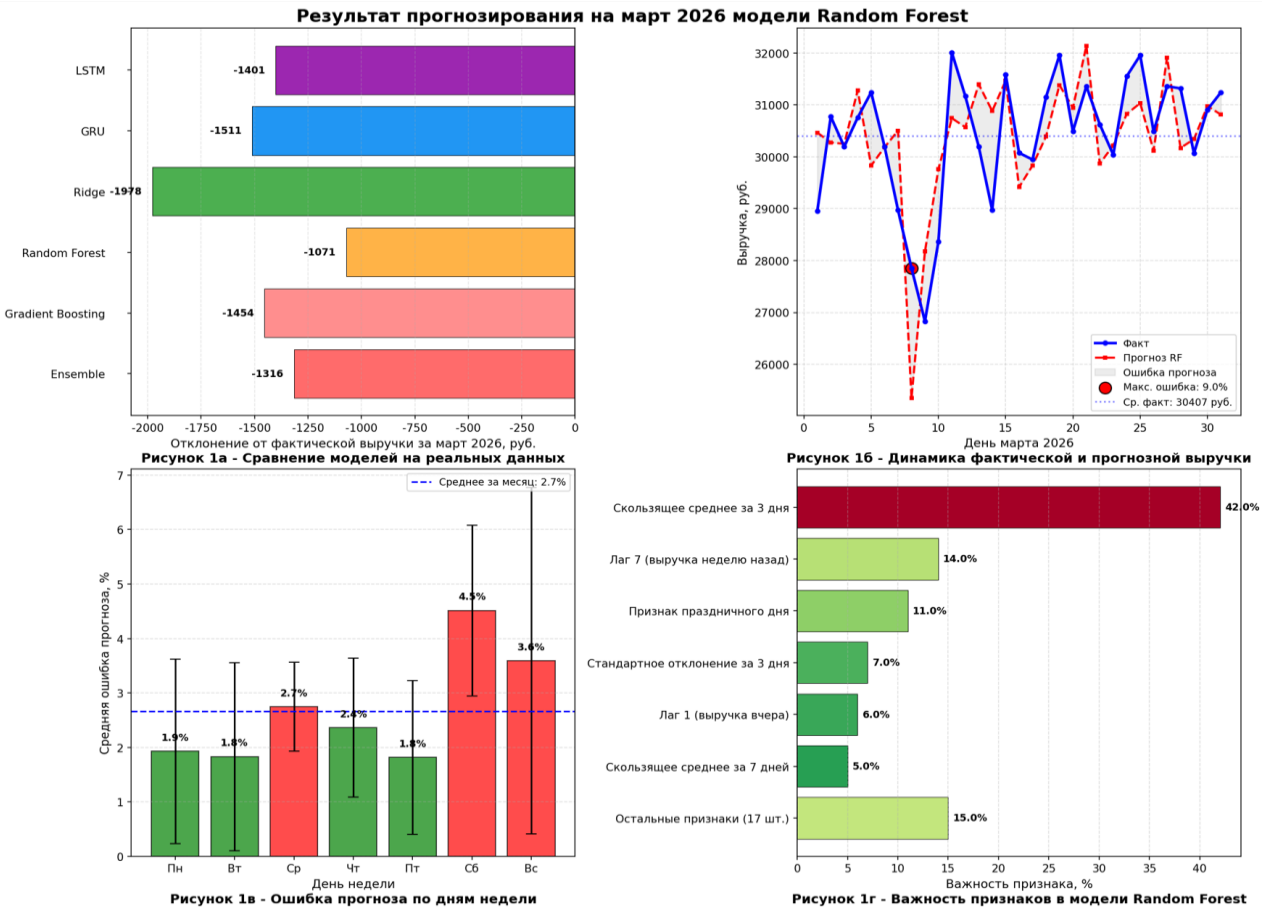


***Рис. 1**. Визуализация результатов моделирования*

***Fig. 1**. Visualization of simulation results*

Выводы

В ходе исследования установлено, что:

– классические методы машинного обучения превосходят нейросети, что подтверждает неэффективность сложных архитектур при ограниченном объеме данных;

– модель RF показывает наилучшие результаты при работе с ограниченными объемами данных;

– при планировании продаж следует ориентироваться на динамику последних трех дней и сопоставлять показатели с аналогичным днем на предыдущей неделе;

– владельцам малых пекарен рекомендуется вести учет ежедневных данных о продажах, корректировать объемы выпуска в праздничные дни.

Таким образом, предложенная методика обучения моделей машинного обучения, включающая догенерацию данных, формирование признакового пространства и использование ансамблевых методов, показала свою эффективность и пригодность для внедрения в малом пищевом производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурдух Е. С., Нордин В. В.* Модели прогнозирования спроса на продукцию малого предприятия // Вестник молодежной науки. 2016. № 2(4). С. 2. EDN: XECRLH

2. *Микрюков А. А., Гилев Д. В.* Комбинированный метод прогнозирования спроса на продовольственные товары на основе ансамбля LSTM-сети и SARIMA-модели для интеграции

в ERP-системы российского ритейла // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2025. Т. 25. № 4. С. 122–128. DOI: 10.14529/ctcr250409. EDN: UJMREL

3. *Аббакумов А. А., Ямашкин С. А., Карнетов В. Г., Рощихин Д. С.* Прогнозирование спроса и управление запасами с помощью машинного обучения // Инженерный вестник Дона. 2025. № 6(126). С. 308–320. EDN: MPEKAP

4. *Иванов М. Д.* Анализ современных методов и инструментов прогнозирования спроса на авиаперелеты в условиях цифровизации отрасли // Безопасность. Управление. Искусственный интеллект. 2025. Т. 4. № 4(4). С. 14–22. EDN: KJQIOC

5. *Мизаев М. М., Закриева М. С.* Использование нейросетей для прогнозирования спроса и динамики рынка // Наука молодых – будущее России: Сборник научных статей 10-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 6-х томах. Курск, 16 декабря 2025 года. Курск: Университетская книга, 2025. С. 347–351. DOI: 10.47581/2025.ML-31/Mizaev-Zakieva-03. EDN: QHSHAA

6. *Макарова Т. Н., Конобеева О. Е., Сотникова Е. А.* Прогнозирование спроса на товары предприятия: методическое обоснование и практический опыт // Вестник ОрелГИЭТ. 2020. № 2(52). С. 31–40. DOI: 10.36683/2076-5347-2020-2-52-31-40. EDN: ROQKAR

7. *То Ф. Т., Горобинский Л. В.* Архитектура информационной системы управления складом с интеграцией искусственного интеллекта для прогнозирования спроса и оптимизации запасов // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: Сборник трудов по материалам XXI Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ, Уфа, 24 марта 2025 года. Уфа: Научно-издательский центр Вестник науки, 2025. С. 148–155. EDN: OUHTIN

REFERENCES

1. Burdukh E.S., Nordin V.V. Models of demand forecasting for small enterprise products. *Vestnik molodezhnoy nauki* [Bulletin of Youth Science] 2016. No. 2(4). P. 2. EDN: XECRLH. (In Russian)

2. Mikryukov A.A., Gilev D.V. Combined method of food demand forecasting based on an ensemble of LSTM network and SARIMA model for integration into ERP systems of Russian retail. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika.* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control and Radioelectronics] 2025. Vol. 25. No. 4. Pp. 122–128. DOI: 10.14529/ctcr250409. EDN: UJMREL. (In Russian)

3. Abbakumov A.A., Yamashkin S.A., Karnetov V.G., Roshchikhin D.S. Demand forecasting and inventory management using machine learning. *Inzhenernyy vestnik Dona.* [Engineering Journal of Don] 2025. No. 6(126). Pp. 308–320. EDN: MPEKAP. (In Russian)

4. Ivanov M.D. Analysis of modern methods and tools for demand forecasting for air travel in the context of industry digitalization. *Bezopasnost'. Upravleniye. Iskusstvennyy intellect*. [Safety. Management. Artificial Intelligence.] 2025. Vol. 4. No. 4(4). Pp. 14–22. EDN: KJQIOC. (In Russian)

5. Mizaev M.M., Zakrieva M.S. The use of neural networks for demand forecasting and market dynamics. *Nauka molodykh – budushcheye Rossii* [Science of the young – future of Russia]: *Sbornik nauchnykh statey 10-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh, Kursk, December 16, 2025.* In 6 volumes. Kursk: Universitetskaya kniga, 2025. Pp. 347–351. DOI: 10.47581/2025.ML-31/Mizaev-Zakieva-03. EDN: QHSHAA. (In Russian)

6. Makarova T.N., Konobeeva O.E., Sotnikova E.A. Demand forecasting for enterprise goods: methodological justification and practical experience. *Vestnik OrelGIET*. 2020. No. 2(52). Pp. 31–40. DOI: 10.36683/2076-5347-2020-2-52-31-40. EDN: ROQKAR. (In Russian)

7. To F.T., Gorobinsky L.V. Architecture of a warehouse management system with integration of artificial intelligence for demand forecasting and inventory optimization. *Innovatsionnyy potentsial razvitiya nauki v sovremennom mire* [Innovative potential of science development in the modern world]: *Sbornik trudov po materialam XXI Vserossiyskogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot, Ufa, Mart 24, 2025.* Ufa: Nauchno-izdatel'skiy tsentr Vestnik nauki, 2025. Pp. 148–155. EDN: OUHTIN. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Дьячкова Виктория Викторовна, канд. экон. наук, доцент кафедры информационных технологий, Донбасский государственный технический университет;
294204, Россия, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;
dyachkova.vika@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9771-616X, SPIN-код: 5620-0952
Кириченко Мария Павловна, магистрант 2-го курса по направлению «Математика и компьютерные науки», Донбасский государственный технический университет;
294204, Россия, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;
kirichenkomaria4@yandex.ru; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0740-575X, SPIN-код: 7709-0621

Information about the authors

Victoria V. Dyachkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology, Donbass State Technical University;
16, Lenin avenue, Alchevsk, 294204, Russia
dyachkova.vika@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9771-616X, SPIN-code: 5620-0952
Maria P. Kirichenko, 2nd year Master's Student in the field of “Mathematics and Computer Science”, Donbass State Technical University;
16, Lenin avenue, Alchevsk, 294204, Russia
kirichenkomaria4@yandex.ru; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0740-575X, SPIN-code: 7709-0621

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.896:658.7 Научно-практическая статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-166-177
IHDSSI

Гибридная модель синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия

В. В. Дьячкова, Е. С. Коваленко✉

Донбасский государственный технический университет
294204, Россия, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16

Аннотация. В статье предлагается гибридная модель синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия. В отличие от существующих подходов, основанных на средних плановых показателях, предлагаемая модель позволяет в режиме реального времени адаптировать график поставок к фактическим колебаниям потребления. Это позволяет существенно повысить точность планирования и снизить операционные риски, связанные с непредвиденными изменениями в работе печей. Сочетание методов прогнозирования и оптимизации в рамках гибридного подхода позволяет комплексно учитывать динамику доменного процесса, находя баланс между риском дефицита и издержками на хранение избыточных запасов. Это достигается за счет включения в целевую функцию модели затрат на хранение и потерь от дефицита, которые действуют разнонаправленно: снижение запасов уменьшает затраты на хранение, но увеличивает риск дефицита, и наоборот. Минимизация суммарных издержек позволяет найти экономически обоснованный баланс между этими факторами.

Цель исследования – разработка гибридной модели синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия для обеспечения непрерывности производственного процесса.

Результаты. Произведен анализ технологических особенностей доменного процесса, выявлены ключевые параметры, определяющие ритмичность работы печей, разработана архитектура гибридной модели. Модель апробирована на данных металлургического предприятия, и расчеты показали, что использование модели приводит к снижению производственных издержек на 3–5 %.

Выводы. Практическая ценность модели заключается в возможности ее интеграции с существующими корпоративными информационными системами, что позволит оперативно исключать риски дефицита сырья, повышать обоснованность закупочных решений и снижать вероятность простоев доменных печей и непредвиденных финансовых потерь.

Ключевые слова: металлургия, доменная печь, синхронизация поставок, моделирование, прогнозирование, оптимизация запасов

Поступила 15.05.2026, одобрена после рецензирования 27.08.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Дьячкова В. В., Коваленко Е. С. Гибридная модель синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 166–177. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-166-177

© Дьячкова В. В., Коваленко Е. С., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T05, 90B50 Scientific and practical article

Hybrid model for synchronizing raw material supply scheduling with metallurgical plant blast furnace rhythms

V.V. Dyachkova, E.S. Kovalenko✉

Donbass State Technical University
16, Lenin avenue, Alchevsk, 294204, Russia

Abstract. This article introduces a hybrid model designed to synchronize raw material supply scheduling with the blast furnace operation rhythms at a metallurgical plant. In contrast to conventional methods relying on average planned figures, the proposed model allows for the real-time adjustment of the supply schedule in response to actual consumption volatility. This significantly improves scheduling accuracy and mitigates operational risks associated with unforeseen changes in blast furnace operations. Combining forecasting and optimization techniques within the hybrid framework allows for a comprehensive consideration of blast furnace process dynamics, striking a balance between stockout risks and redundant inventory holding costs. This is accomplished by including inventory holding costs and deficit losses in the objective function, creating a trade-off where lowering stock levels reduces storage costs but elevates stockout risks, and vice versa. The minimization of total costs enables striking an economically sound trade-off between these competing factors.

Aim. Is to develop a hybrid model for synchronizing raw material supply scheduling with metallurgical plant blast furnace rhythms in order to guarantee manufacturing continuity.

Results. We analyzed the technological characteristics of the blast furnace process, identified the key parameters determining furnace performance rhythms, and designed the hybrid model architecture. The model was tested on empirical data from a metallurgical plant, with results showing that its implementation reduces manufacturing expenses by 3–5 %.

Conclusions. The practical value of the model lies in its potential for integration with existing corporate information systems, which will make it possible to promptly mitigate the risks of raw material shortages, improve the rationale behind procurement decisions, and reduce the likelihood of blast furnace downtime and unforeseen financial losses.

Keywords: metallurgy, blast furnace, supply synchronization, modeling, forecasting, inventory optimization

Submitted 15.05.2026, approved after reviewing 27.08.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. Hybrid model for synchronizing raw material supply scheduling with metallurgical plant blast furnace rhythms. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 166–177. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-166-177

Введение

Металлургическое производство, в особенности его ключевое передельное звено – доменный процесс, характеризуется высочайшей капиталоемкостью, непрерывностью технологического цикла и критической зависимостью от бесперебойного обеспечения большими объемами разнообразного сырья [1]. Срыв поставки даже одного из основных видов шихтовых материалов (железорудного концентрата, необходимого для производства агломерата, окатышей, кокса, флюсов) ведет к вынужденному снижению интенсивности плавки или полной остановке агрегата, что сопряжено с колоссальными экономическими

© Dyachkova V.V., Kovalenko E.S., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

потерями и технологическими рисками. В то же время поддержание чрезмерно высоких страховых запасов на складах предприятия «замораживает» значительные оборотные средства и увеличивает логистические издержки.

Доменная печь функционирует в непрерывном режиме, причем скорость прохождения материалов через печь составляет 6–8 часов, в то время как газовый поток проходит за 3–4 секунды. Такая динамика создает высокие требования к стабильности состава и количества подаваемого сырья. Перебои в поставках железорудного сырья, кокса, флюсов или изменения их качества могут привести к нарушению теплового режима плавки, снижению производительности и увеличению расхода дорогостоящего сырья.

Традиционные подходы к планированию поставок сырья для доменного производства основаны на среднесрочных плановых показателях [2] и не учитывают оперативные колебания в работе печей. Как следствие, возникают ситуации как дефицита сырья, приводящего к простоям, так и его избытка, приводящего к излишкам на складах. Особую остроту эта проблема приобретает в условиях современной высокой рыночной волатильности.

Проблемы планирования и синхронизации в производственно-логистических системах являются предметом многочисленных исследований. Классические методы, такие как теория управления запасами (EOQ, модели с фиксированным интервалом времени) [3, 4], хорошо работают в стабильных условиях, но слабо учитывают специфику непрерывного производства и стохастичность внешней среды. Применение методов математического программирования (линейного, целочисленного) для составления оптимальных графиков [5, 6] часто наталкивается на сложность адекватного учета большого числа технологических и операционных ограничений в динамической постановке. В последние десятилетия широко используемым инструментом анализа сложных систем стало имитационное моделирование [7]. Дискретно-событийные модели эффективны для детального представления процессов транспортировки, разгрузки, обработки заказов [8, 9]. Модели системной динамики идеально подходят для анализа поведения запасов, обратных связей и долгосрочных тенденций [10]. Однако каждый из этих подходов в отдельности имеет ограничения: дискретно-событийные модели сложны для задач глобальной оптимизации, а модели системной динамики недостаточно точны для краткосрочного прогнозирования. В зарубежной литературе исследуются гибридные подходы к управлению цепями поставок и моделированию доменных процессов. Так, в работе [11] предложена архитектура ARIMA-LSTM для прогнозирования дискретного спроса на потребительские товары, что повышает точность краткосрочного прогноза на 15–20 %. Авторы [12] представляют методы моделирования доменной плавки, фокусируясь на цифровых двойниках для оптимизации теплового режима и состава шихты внутри печи. Однако прямая адаптация этих подходов к нашей задаче невозможна. Модель [11] не учитывает непрерывность и инерционность доменного процесса (время прохождения шихты – 6–8 часов), а работа [12] не рассматривает логистическую составляющую – синхронизацию поставок с ритмом производства. Кроме того, в отличие от условий, для которых разрабатывались эти модели, отечественные предприятия сталкиваются с высокой вариабельностью качества сырья, что требует введения дополнительных стохастических параметров, отсутствующих в [11] и [12].

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных данной теме, вопрос синхронизации поставок сырья с ритмом работы доменных печей изучен недостаточно. Существующие исследования, как правило, ограничиваются применением отдельных классов моделей, что не позволяет в полной мере учесть динамическую природу производственного процесса и стохастичность внешних условий. В то же время потенциал гибридного моделирования, объединяющего методы прогнозирования и оптимизации, применительно к данной предметной области раскрыт не в полной мере. Это определяет актуальность настоящего исследования и его научно-практическую значимость.

Целью настоящего исследования является разработка гибридной модели синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия для обеспечения непрерывности производственного процесса.

Материалы и методы

Исследование проводилось на основе данных доменного цеха, отдела закупок и транспортного отдела ООО «Южная горно-металлургическая компания» (ООО «ЮГМК», г. Алчевск) за период 2022–2025 гг. Использовались следующие группы данных:

– параметры доменной печи (ДП) № 1: полезный объем (3000 м³), суточный расход шихты (около 10000 тонн), типовой состав шихты (доля железорудной части – 60–70 %, кокса – 25–30 %, флюса – 10–18 %), плановые и фактические графики текущих ремонтов;

– логистические данные: перечень основных поставщиков сырья, типы используемого подвижного состава (вагоны-хопперы, полувагоны), среднее время доставки от каждого поставщика, статистика транспортных задержек, пропускная способность железнодорожной ветки и разгрузочных устройств (рудный двор, бункерная эстакада);

– данные по запасам: емкости складов (рудного двора, коксохимического склада), фактические ежедневные остатки сырья за анализируемый период, нормативы минимального (страхового) и максимального запаса.

– экономические параметры: стоимость хранения 1 тонны сырья в сутки, удельные потери от простоя доменной печи, тарифы на перевозку.

Общий объем обработанной информации составил более 35000 записей. В целях анонимизации и защиты коммерческой тайны часть данных была деперсонализирована и нормирована.

Для достижения поставленной цели был применен комплекс методов:

– аналитические методы (формулы расчета запасов, балансовые уравнения) – для стандартных ситуаций;

– оптимизационные алгоритмы (смешанно-целочисленное линейное программирование) – для формирования оптимального графика поставок с учетом ограничений поставщиков, транспортной инфраструктуры и складских мощностей.

Результаты и обсуждение

Доменная печь представляет собой сложный физико-химический реактор, в котором протекают процессы восстановления железа из оксидов, шлакообразования, тепло- и массообмена между нисходящим потоком шихтовых материалов и восходящим потоком газов. С технологической точки зрения для целей синхронизации поставок наиболее значимыми являются следующие характеристики (табл. 1), выделенные на основе анализа технологического регламента доменной плавки и охватывающие ключевые параметры, определяющие интенсивность, инерционность и дискретность потребления сырья.

Таблица 1. Технологические характеристики доменной печи как объекта синхронизации поставок

Table 1. Technological characteristics of a blast furnace as a supply synchronization object

Характеристика	Значение / диапазон	Логистические последствия
Объем печи (современная)	2000–5500 м³	Определяет масштаб потребления сырья
Расход шихтовых материалов	1,8–2,2 т/т чугуна	Высокая материалоемкость процесса
Скорость прохождения шихты	6–8 часов	Высокая инерционность, трудно компенсировать дефицит
Скорость газового потока	3–4 секунды	Оперативная реакция на изменения
Ритмичность выпусков	4–8 раз в сутки	Пульсирующий характер потребности в ковшах
Переналадка / изменение режима	2–3 цикла (12–24 ч)	Запаздывание реакции на управляющие воздействия

Важно отметить, что управление доменным процессом осуществляется по двум каналам: «сверху» (через состав шихты, рудную нагрузку, распределение материалов на колошнике) и «снизу» (через параметры дутья). При этом управление «сверху» характеризуется значительной инерционностью: переходный процесс при изменении состава шихты длится 2–3 цикла (12–24 часа), а запаздывание может достигать 3–4 часов. Управление «снизу» менее инерционно (запаздывание до 30 минут), но его воздействие слабее и используется для корректировки нарушений.

Эта технологическая специфика определяет требования к системе поставок сырья: она должна обеспечивать не только требуемый объем потребления, но и стабильность качественных характеристик, а также иметь буферные запасы для компенсации инерционности процесса.

Разработанная гибридная модель синхронизации поставок объединяет три ключевых компонента, каждый из которых реализует специфические методы обработки данных и принятия решений (рис. 1). На вход модели подаются: производственные, логистические и финансовые показатели. Выходом модели является график поставок. В качестве возмущений рассматриваются: колебания в работе доменной печи, задержки поставок, изменение цен. В модели все величины разделены на константы (объем печи, емкости складов) и переменные (уровень запасов, интенсивность потребления, время поставки). Темп изменения переменных – ежедневный (для запасов) и до 4 часов (для прогноза).

Блок 1. Прогнозирование ритма выпусков чугуна. На основе исторических данных о параметрах плавки (температура дутья, уровень чугуна в горне, расход газа) формируется прогнозный график потребления сырья на ближайшие 24 часа с дискретностью 4 часа. Этот прогноз передается в Блок 2.

Блок 2. Расчет оптимального уровня запасов. Используя прогноз и статистику вариабельности времени поставок и качества сырья, блок определяет целевой (минимально допустимый) уровень запаса для каждого вида сырья. Этот уровень служит ограничением для следующего блока.

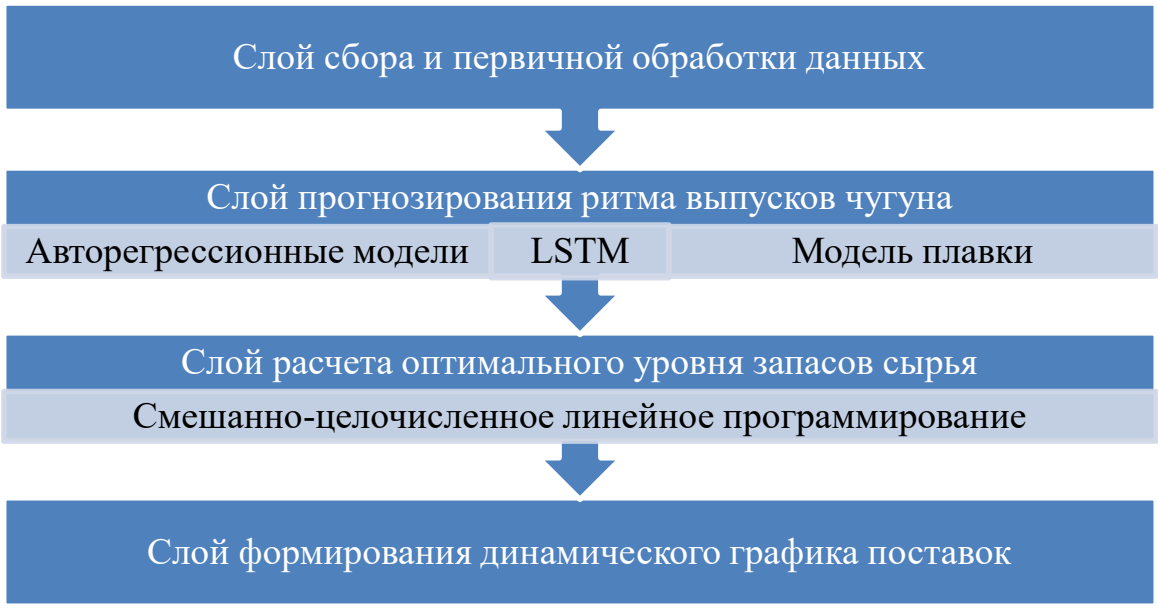


***Рис. 1**. Архитектура гибридной модели синхронизации поставок сырья с ритмом работы доменных печей*

***Fig. 1**. Hybrid model architecture for synchronizing raw material supply schedules with blast furnace operation rhythms*

Блок 3. Формирование динамического графика поставок. Центральный оптимизационный блок на основе целевого уровня запаса, фактического текущего запаса и ограничений со стороны поставщиков и транспортной инфраструктуры решает задачу минимизации издержек. Результатом являются рекомендуемые объемы и периодичность заказов, которые передаются в отдел закупок и транспортный отдел для исполнения.

Назначение блока «Прогнозирование ритма выпусков чугуна» – прогноз момента возникновения потребности в ковшах и объемах выпускаемого чугуна с периодом до 24 часов. Это необходимо для своевременной подачи составов под разливку и, как следствие, для синхронизации поступления сырья (необходимый объем сырья должен быть в бункерах к моменту его загрузки).

В блоке используются три модели, выбранные на основе ранее проведенных исследований авторов [13], показавших их эффективность для задач прогнозирования:

– авторегрессионная модель (ARIMA) – для краткосрочного прогнозирования (4–8 часов) на основе исторических рядов уровней чугуна и шлака в горне, температуры дутья, расхода природного газа (Q_t^{ARIMA});

– рекуррентная нейросетевая модель (LSTM) – для учета нелинейных взаимосвязей и долгосрочных трендов (до 24 часов) (Q_t^{LSTM});

– физическая модель плавки – основанная на балансовых уравнениях, связывающих объем загруженной шихты и ожидаемый объем выплавки (Q_t^{phys}).

Процедура прогнозирования выполняется с частотой не реже 1 раза в 4 часа, что обусловлено спецификой плавки. Итоговый прогноз Q_t^{cast} формируется как комбинация результатов трех подходов:

$$Q_t^{cast} = w_1 \cdot Q_t^{ARIMA} + w_2 \cdot Q_t^{LSTM} + w_3 \cdot Q_t^{phys},$$

где w_1, w_2, w_3 – веса, адаптивно подстраиваемые на основе качества прогнозов за предыдущие 7 дней (от 14 до 42 прогнозных точек в зависимости от частоты выпусков чугуна – 4–8 раз в сутки).

Для каждого дня и каждой модели вычисляется ошибка прогноза. Модель с меньшей ошибкой за неделю получает больший вес:

$$w_n = \frac{1/E_n}{\sum_{j=1}^{3} 1/E_n},$$

где n – индекс модели (ARIMA, LSTM или физическая модель);

E_n – средняя ошибка модели m за 7 дней;

$\sum_{j=1}^{3} 1/E_n$ – сумма обратных величин ошибок всех трех моделей.

Таким образом, прогнозное значение Q_t^{cast} адаптируется к изменяющимся условиям.

В блоке расчета оптимального уровня запасов сырья определяется целевой уровень запасов каждого вида сырья (агломерат, окатыши, кокс, флюсы) на складах шихтоподачи и приемных бункерах. Расчет основан на формуле страхового запаса (классическое выражение Уайта $S = k \cdot \sigma \cdot \sqrt{\tau}$), однако ее прямое применение для доменного производства невозможно по двум причинам: во-первых, инерционность процесса требует упреждающего наличия сырья с учетом времени подготовки к загрузке; во-вторых, потребление

сырья не является стационарным, а зависит от режима плавки и качества сырья. С учетом этих особенностей авторами предложена модифицированная формула с учетом времени технологического запаздывания, где целевой уровень запаса $S_i^{t\arg et}$ для *i*-го вида сырья состоит из суммы среднего (циклового) запаса и страхового запаса:

$$S_i^{t\arg et} = D_i^{avg} \cdot (\tau_i^{\sup ply} + \tau_i^{tech}) + k_i \cdot \sigma_i \cdot \sqrt{\tau_i^{\sup ply} + \tau_i^{tech}},$$

где D_i^{avg} – средняя интенсивность потребления *i*-го вида сырья (т/час);

$\tau_i^{\sup ply}$ – среднее время поставки (интервал между контрольными точками графика отгрузки партий), час;

τ_i^{tech} – время на подготовку сырья к загрузке (усреднение, смешивание, перегрузка), час;

k_i – коэффициент, зависящий от допустимой вероятности дефицита (обычно 1,28–2,33 для 90–99 % надежности). Для доменного производства кокс обычно требует k_i =1,96–2,33 (97,5–99 % надежности), так как их дефицит ведет к остановке печи с огромными потерями. Для флюсов допустимо k_i =1,28–1,65 (90–95 % надежности);

σ_i – среднеквадратическое отклонение потребления, определяемое нестабильностью доменного процесса.

Блок формирования динамического графика поставок выполняет оперативную оптимизацию графика поставок на основе информации о текущем уровне запасов, прогнозируемом потреблении и ограничениях со стороны поставщиков и транспортной инфраструктуры.

Постановка задачи включает как непрерывные переменные (уровень запаса и объем поставки), так и бинарную переменную (решение о поставке), что обусловливает применение аппарата смешанного целочисленного линейного программирования

Целевая функция *F* представляет собой сумму экономических издержек за период *T*. Математическая модель задачи оптимизации имеет следующий вид (минимизация целевой функции $F \rightarrow \min$):

$$F = \sum_{t=1}^{T} \left[c_h \cdot S_t + c_s \cdot Y_t + c_t \cdot \delta_t \right] \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$S_{t+1} = S_t + Q_t^{delivery} - D_t^{consumption} + Y_t$$
$$0 \le Q_t^{delivery} \le Q_t^{\max}$$
$$Y_t \ge D_t^{consumption} - S_t - Q_t^{delivery}$$
$$\delta_t \in \{0,1\}$$
$$0 \le S_t \le S_{\max},$$

где c_h – стоимость хранения тонны сырья в час, тыс. руб.;

c_s – потери от дефицита тонны сырья (включая простой печи, перерасход кокса), тыс. руб.;

c_t – стоимость одной поставки, тыс. руб.;

δ_t – решение о поставке в период *t* (0 или 1);

St – уровень запаса сырья на складе в момент времени *t*, тыс. т;

$D_t^{consumption}$ – объем потребления (расхода) сырья доменной печью в период t, тыс. т;

$Q_t^{delivery}$ – объем поставки сырья, поступающий на склад в период t, тыс. т;

Y_t – объем дефицита сырья в период t, тыс. т;

$Q_t^{\max}$ – максимально возможный объем поставки в период t (определяется мощностями поставщика, пропускной способностью ж/д ветки, вместимостью склада), тыс. т.

Важно отметить, что целевая функция F построена таким образом, что снижение уровня запасов St уменьшает затраты на хранение, но одновременно увеличивает потери от дефицита. И наоборот, увеличение запасов снижает риски дефицита, но ведет к росту затрат на хранение. Таким образом, решая задачу оптимизации, модель находит точку, где суммарные издержки F минимальны, что соответствует экономически обоснованному балансу между затратами на хранение и потерями от дефицита.

Разработанная гибридная модель была апробирована на данных предприятия за 12 месяцев (февраль 2024 г. – январь 2025 г.). Оценка качества работы модели производилась в сравнении с текущей («базовой») системой планирования поставок. Для эксперимента обе системы использовали одинаковые исходные данные и горизонт планирования.

Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2. Сравнительные показатели эффективности базовой и гибридной моделей

Table 2. Comparative performance metrics of the baseline and hybrid models

Показатель	Базовая система (факт)	Гибридная модель (расчет)	Отклонение
Выполнение графика поставок (точность)	78 %	92 %	+14 п.п.
Дефицит сырья (дней/мес.)	2,8	0,4	-2,4 дня
Страховой запас (средний, дни)	3,2	2,1	-1,1 дня
Оборотный капитал в запасах (отн. ед.)	1,0	0,72	-28 %
Простои печей из-за отсутствия сырья (час/мес)	6,5	0,8	-5,7 час
Экономический эффект	–	3,7 %	+3,7 %

Как видно из таблицы 2, применение гибридной модели может существенно улучшить ключевые показатели. Особенно значимым является сокращение страхового запаса на 28 % при одновременном снижении дефицита сырья в 7 раз. Это стало возможным благодаря учету фактической вариативности потребления и поставок в модели расчета запасов, а не использованию фиксированных нормативов.

Апробация модели на реальных данных металлургического предприятия подтвердила ее эффективность: дефицит сырья сокращен с 2,8 до 0,4 дней в месяц (в 7 раз), страховые запасы снижены на 28 %, простои печей из-за отсутствия сырья уменьшены на 88 %. Экономический эффект оценивается в 3,7 % и достигнут за счет снижения потерь от дефицита сырья, снижения затрат на хранение и сокращения срочных поставок.

Анализ динамики на рисунке 2 показывает, что при базовом подходе система работает в режиме «рваного ритма»: запасы накапливаются до критических значений, затем резко снижаются, вызывая дефицит. Гибридная модель обеспечивает значительно более стабильную динамику за счет оперативной корректировки заказов в ответ на изменение потребления.

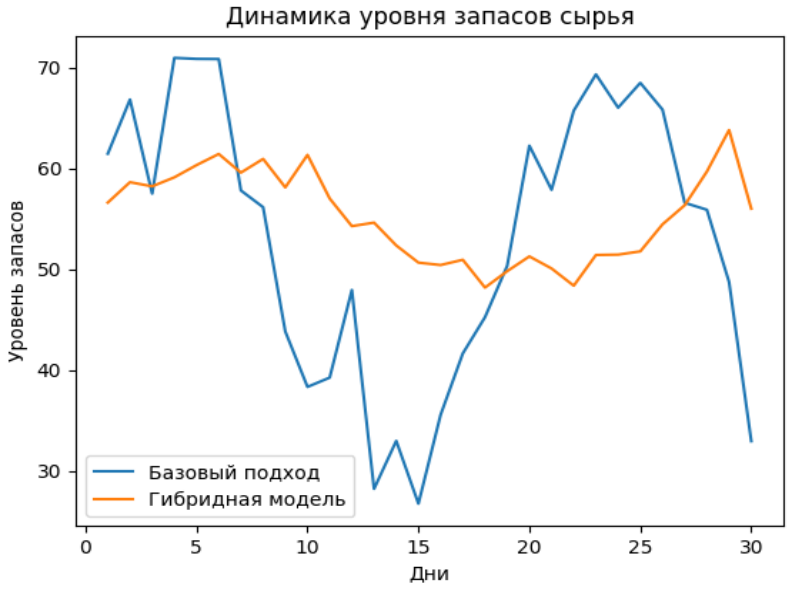


***Рис. 2**. Динамика уровня запасов железорудного сырья (тыс. тонн)*

***Fig. 2**. Dynamics of iron ore raw material inventory levels (thousand tons)*

В ходе апробации выявлено, что наибольший вклад в суммарную погрешность вносит прогнозирование моментов выпуска чугуна, на которое влияют неопределенности в химическом составе сырья и режиме плавки. Для повышения точности целесообразно внедрение систем непрерывного контроля состава шихты и цифровых двойников доменной печи.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана и апробирована гибридная модель синхронизации графика поставок сырья с ритмом работы доменных печей металлургического предприятия. Предложенная гибридная модель объединяет методы прогнозирования технологических параметров (авторегрессионные модели, LSTM, физические модели), расчета оптимальных запасов (адаптированная формула страхового запаса, учитывающая технологическое запаздывание) и оперативной оптимизации поставок (задача управления запасами с ограничениями). Это позволяет адаптировать систему снабжения к фактическому, а не плановому состоянию производства. Ограничениями модели являются применение для конкретного типа доменной печи и необходимость адаптации при изменении технологического регламента. Модель рекомендована к внедрению на металлургическом предприятии ООО «ЮГМК», что подтверждается актом.

Практическая ценность модели заключается в возможности ее интеграции с существующими корпоративными информационными системами, что позволит оперативно исключать риски дефицита сырья, повышать обоснованность закупочных решений и снижать вероятность простоев доменных печей и непредвиденных финансовых потерь.

В рамках дальнейших исследований планируется адаптация модели для различных типов непрерывных производств, где существует проблема синхронизации поставок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дьячкова В. В., Коваленко Е. С.* Обзор состояния рынка металлургии и тенденции его развития в России // Направления повышения эффективности управленческой деятельности органов государственной власти и местного самоуправления: Сборник тезисов VII международной научно-практической конференции. Алчевск, 2025. С. 91–93. EDN: QVSATT

2. *Дьячкова В. В., Коваленко Е. С., Читанава Д. Л.* Сравнение основных моделей закупок товарно-материальных ценностей на металлургическом предприятии // Инновации и информационные технологии в условиях цифровизации экономики: Сборник тезисов II международной научно-практической конференции. Алчевск, 2024. С. 260–262. EDN: IWQWFA

3. *Левкин Г. Г.* Теория и практика управления запасами в логистических системах предприятия // Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции. Донецк, 2024. С. 261–263. EDN: KUNOAB

4. *Го Я., Дикарева О. Н., Волобуева Е. В., Анциферова В. И.* Управление запасами скоропортящихся товаров с возможностью снижения цены на основе модели EOQ // Аспекты моделирования систем и процессов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 92–99. DOI: 10.58168/AMSP2022_92-99. EDN: NMCKPD

5. *Шаталова А. Ю., Соловьев В. И.* Оптимизация затрат на доставку грузов транспортной компании в условиях неопределенности // Инновации и инвестиции. 2024. № 3. С. 501–504. EDN: BZPUTQ

6. *Хамадалиев Д. М., Ульянов Е. Н., Ульянов В. Н. и др.* Алгоритм автоматической оптимизации логистики во время бурения и освоения скважин // Нефть. Газ. Новации. 2019. № 1. С. 12–16. EDN: VVEMMO

7. *Мариничев И. И., Трачук Д. И., Светличная В. А.* Применение имитационного моделирования для принятия решения по управлению закупками при децентрализованной схеме поставок товара // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2021): Материалы XII Международной научно-технической конференции. Донецк, 2021. С. 100–104. EDN: GKTWTH

8. *Куликовский В. С.* Разработка имитационной дискретно-событийной модели вокзального комплекса (на примере железнодорожной станции Рязань I) // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции. Москва, 2025. С. 123–133. EDN: BOWHTM

9. *Агейкин А. М.* Методика построения дискретно-событийной модели склада временного хранения в Anylogic // Логистика и управление цепями поставок. 2025. Т. 22. № 2(115). С. 4–14. EDN: PRYJAT

10. *Барышникова Е. С., Иващенко В. А., Резчиков А. Ф.* Система управления непрерывным производством на основе моделей системной динамики // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2025): Труды XVIII международной конференции. Москва, 2025. С. 979–984. EDN: VVSPFG

11. Suddala S. Dynamic demand forecasting in supply chains using hybrid ARIMA-LSTM architectures // International Journal of Advanced Research. 2024. Vol. 12. No. 10. Pp. 1167–1171. DOI: 10.21474/IJAR01/19738

12. Gao S., Geng X., Zhang X. et al. A review on numerical simulation and modeling techniques in blast furnace ironmaking // Processes. 2026. Vol. 14. No. 12. P. 2014. DOI: 10.3390/pr14122014

13. *Дьячкова В. В., Коваленко Е. С.* Нейросетевая модель прогнозирования объема закупок на металлургическом предприятии // Экономический вестник Донбасского государственного технического университета. 2025. № 23. С. 40–47. EDN: QSOQOR

REFERENCES

1. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. Review of the state of the metallurgical market and trends in its development in Russia. Directions for improving the efficiency of managerial activities of state authorities and local self-government: *Collection of theses of the VII International Scientific and Practical Conference*. Alchevsk, 2025. Pp. 91–93. EDN: QVSATT. (In Russian)

2. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S., Chitanava D.L. Comparison of the main models of procurement of inventory items at a metallurgical enterprise. Innovations and information technologies in the context of digitalization of the economy: *Collection of theses of the II International Scientific and Practical Conference*. Alchevsk, 2024. Pp. 260–262. EDN: IWQWFA. (In Russian)

3. Levkin G.G. Theory and practice of inventory management in logistics systems of an enterprise. Donetsk readings 2024: education, science, innovation, culture and challenges of our time: *Materials of the IX International Scientific Conference*. Donetsk, 2024. Pp. 261–263. EDN: KUNOAB. (In Russian)

4. Guo Ya., Dikareva O.N., Volobueva E.V., Antsiferova V.I. Inventory management of perishable goods with the possibility of price reduction based on the EOQ model. Aspects of modeling systems and processes: *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Voronezh, 2022. Pp. 92–99. DOI: 10.58168/AMSP2022_92-99. EDN: NMCKPD. (In Russian)

5. Shatalova A.Yu., Solovyov V.I. Optimization of delivery costs of a transport company under conditions of uncertainty. *Innovations and Investments*. 2024. No. 3. Pp. 501–504. EDN: BZPUTQ. (In Russian)

6. Khamadaliev D.M., Ulyanov E.N., Ulyanov V.N. et al. Algorithm for automatic logistics optimization during drilling and well development. *Oil. Gas. Innovations.* 2019. No. 1. Pp. 12–16. EDN: VVEMMO. (In Russian)

7. Marinichev I.I., Trachuk D.I., Svetlichnaya V.A. Application of simulation modeling for decision-making on procurement management under a decentralized goods supply scheme. Informatics, control systems, mathematical and computer modeling (IUSMKM-2021): *Materials of the XII International Scientific and Technical Conference*. Donetsk, 2021. Pp. 100–104. EDN: GKTWTH. (In Russian)

8. Kulikovsky V.S. Development of a discrete-event simulation model of a station complex (case study of Ryazan I railway station). Digital transformation of transport: problems and prospects: *Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2025. Pp. 123–133. EDN: BOWHTM. (In Russian)

9. Ageykin A.M. Methodology for constructing a discrete-event model of a temporary storage warehouse in Anylogic. *Logistics and Supply Chain Management.* 2025. Vol. 22. No. 2(115). Pp. 4–14. EDN: PRYJAT. (In Russian)

10. Baryshnikova E.S., Ivashchenko V.A., Rezchikov A.F. Control system for continuous production based on system dynamics models. In: *Managing the development of large-scale systems (MLSD'2025)*: *Proceedings of the XVIII International Conference*. Moscow, 2025. Pp. 979–984. EDN: VVSPFG. (In Russian)

11. Suddala S. Dynamic demand forecasting in supply chains using hybrid ARIMA-LSTM architectures. *International Journal of Advanced Research*. 2024. Vol. 12. No. 10. Pp. 1167–1171. DOI: 10.21474/IJAR01/19738.

12. Gao S., Geng X., Zhang X. et al. A review on numerical simulation and modeling techniques in blast furnace ironmaking. *Processes*. 2026. Vol. 14. No. 12. P. 2014. DOI: 10.3390/pr14122014.

13. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. Neural network model for forecasting the volume of purchases at a metallurgical enterprise. *Economic Bulletin of the Donbass State Technical University*. 2025. No. 23. Pp. 40–47. EDN QSOQOR. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Дьячкова Виктория Викторовна, канд. экон. наук, доцент кафедры информационных технологий, Донбасский государственный технический университет;
294204, Россия, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;
dyachkova.vika@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9771-616X, SPIN-код: 5620-0952
Коваленко Екатерина Сергеевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий, Донбасский государственный технический университет;
294204, Россия, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;
kathris92@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8931-7138, SPIN-код: 9202-9286

Information about the authors

Victoria V. Dyachkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology, Donbass State Technical University;
16, Lenin avenue, Alchevsk, 294204, Russia;
dyachkova.vika@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9771-616X, SPIN-code: 5620-0952
Ekaterina S. Kovalenko, Senior Lecturer, Department of Information Technology, Donbass State Technical University;
16, Lenin avenue, Alchevsk, 294204, Russia;
kathris92@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8931-7138, SPIN-code: 9202-9286

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.932:631.544 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-178-199
JHHPWC

Оценка устойчивости детекторов плодов YOLOv8n и YOLOv8s к искажениям тепличной съемки

М. Ю. Карелина, А. А. Акулов✉, Ф. В. Смирнов, Д. С. Талдыкин

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64

Аннотация. Системы технического зрения для мониторинга тепличных культур работают при меняющемся освещении и нестабильной резкости, но насколько эти факторы влияют на конкретные детекторы плодов, количественно оценивают редко.

Цель исследования – в рамках разработки самостоятельной программы на основе искусственного интеллекта измерить устойчивость двух моделей YOLOv8, обнаруживающих плоды томата, огурца и перца, к дефокусировке, изменению экспозиции и цветового баланса, локальному затенению и сенсорному шуму.

Материалы и методы. Ответы моделей при неизменных весах сравнивались до и после восьми контролируемых преобразований на десяти реальных кадрах с зафиксированными контрольными суммами. Мерой устойчивости служила доля сохраненных детекций; предметную точность характеризовали ошибка подсчета плодов на восьми размеченных кадрах и время инференса на CPU.

Результаты. При пороге уверенности 0,40 MAE YOLOv8s составила 0,125 плода на кадр, точный подсчет получен на 87,5 % кадров; YOLOv8n дала 0,750 и 50,0 %, но с задержкой, меньшей примерно в 2,7 раза. Сильнее всего детекции деградировали при гауссовском размытии: при $\sigma = 3{,}0$ сохранилось 45,5–50,0 %. Сенсорный шум поднимал дисперсию Лапласиана с 842,9 до 2104,4, а доля сохраненных детекций снижалась до 72,7–77,3 %.

Выводы. Потерю границ дисперсия Лапласиана выявляет, однако единственным критерием качества кадра служить не может; предложены составной показатель пригодности кадра, правила повторной съемки и диапазоны целевой аугментации.

Ключевые слова: техническое зрение, детектирование плодов, тепличные культуры, YOLOv8, аугментация, резкость изображения, дисперсия Лапласиана, устойчивость модели

Поступила 21.08.2026, одобрена после рецензирования 21.09.2026, принята к публикации 09.10.2026

Для цитирования. Карелина М. Ю., Акулов А. А., Смирнов Ф. В., Талдыкин Д. С. Оценка устойчивости детекторов плодов YOLOv8n и YOLOv8s к искажениям тепличной съемки // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 178–199. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-178-199

© Карелина М. Ю., Акулов А. А., Смирнов Ф. В., Талдыкин Д. С., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T45, 68T07 Original article

Robustness assessment of YOLOv8n and YOLOv8s fruit detectors to greenhouse imaging distortions

M.Yu. Karelina, A.A. Akulov✉, F.V. Smirnov, D.S. Taldykin

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)
64, Leningradsky prospekt, Moscow, 125319, Russia

Abstract. Although computer vision systems for greenhouse crop monitoring operate under highly variable illumination and unstable image sharpness, their specific impacts on edge-deployed fruit detectors are rarely quantified.

Aim. The objective of this study is to quantify the robustness of YOLOv8n and YOLOv8s fruit detectors, tailored for tomato, cucumber, and pepper recognition, against critical greenhouse distortions including defocus, exposure and color balance shifts, local occlusion, and sensor noise within the framework of developing a standalone AI-based monitoring software.

Materials and methods. Responses on ten real frames with fixed checksums were compared before and after eight controlled transformations with fixed weights. Robustness was assessed by the proportion of retained detections, and task accuracy by the fruit counting error on eight annotated frames and CPU inference time.

Results. At a confidence threshold of 0.40, YOLOv8s achieved a counting MAE of 0.125 fruit per frame and exact counts on 87.5 % of frames, whereas YOLOv8n achieved 0.750 and 50.0 % with 2.7 times lower latency. Gaussian blur caused the strongest degradation: at $\sigma = 3.0$ only 45.5–50.0 % of detections were retained. Sensor noise raised the Laplacian variance from 842.9 to 2104.4 while retention dropped to 72.7–77.3 %.

Conclusions. Laplacian variance detects edge loss but cannot serve as the only frame-quality criterion; a composite frame-suitability score, image-retake rules and targeted augmentation ranges are proposed.

Keywords: computer vision, fruit detection, greenhouse crops, YOLOv8, augmentation, image sharpness, Laplacian variance, model robustness

Submitted 21.08.2026, approved after reviewing 21.09.2026, accepted for publication 09.10.2026

For citation. Karelina M.Yu., Akulov A.A., Smirnov F.V., Taldykin D.S. Robustness assessment of YOLOv8n and YOLOv8s fruit detectors to greenhouse imaging distortions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 178–199. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-178-199

Введение

Системы технического зрения в агропромышленном комплексе все чаще работают не в лаборатории, а прямо на производственных площадях, получая изображения с камер разного класса при меняющемся освещении. Теплица в этом отношении обманчива: контролируемый микроклимат еще не означает стабильных условий съемки. За день меняется доля естественного света, светодиодные светильники переключаются между режимами, листья смещаются и закрывают плоды, а расстояние от камеры до растения редко сохраняется даже в пределах одного ряда [1, 2].

© Karelina M.Yu., Akulov A.A., Smirnov F.V., Taldykin D.S., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Решаемые такими системами задачи разнородны: обнаружение растений и плодов, сегментация растительности, измерение морфологических параметров, оценка цвета поверхности, выявление симптомов физиологических нарушений. Качество ответа в каждой из них лишь отчасти определяется архитектурой модели. Не менее существенно, насколько распределение обучающих изображений совпадает с тем, что модель увидит в эксплуатации. Расхождение этих распределений называют доменным сдвигом, и в тепличной съемке он возникает постоянно.

Особое место среди источников сдвига занимает резкость. Небольшое смещение фокуса, движение листа в момент экспонирования, вибрация штатива или тележки, изменение дистанции до растения – после любого из этих событий человек по-прежнему уверенно различает на кадре томат или перец [3]. Для сверточной сети ситуация иная. Ослабление границ и мелкой текстуры меняет признаки ранних слоев, и вероятность правильного обнаружения падает задолго до того, как изображение становится непригодным для визуального анализа.

Освещение затрагивает другие компоненты признакового пространства. При недоэкспозиции сжимается динамический диапазон темных участков, при переэкспозиции насыщаются светлые, сдвиг цветовой температуры перераспределяет энергию между каналами. Сенсорный шум действует противоположно дефокусировке: высокие частоты он не убирает, а добавляет, причем информации об объекте они не несут. Если объединить все эти эффекты в категорию «плохое изображение», причина деградации теряется, и становится неясно, что корректировать – фокус, экспозицию, свет или модель [4].

Работы по аграрному детектированию подтверждают, что модели нужно проверять на реальных сценах с перекрытиями и неоднородным фоном, а эффект аугментации заметно зависит от конкретного преобразования и исходного набора [5–7]. Остается ли преобразованный кадр биологически допустимым, ни один из этих подходов не проверяет. Детектору вида умеренное изменение оттенка обычно не вредит, тогда как для классификатора зрелости цвет поверхности входит в определение целевой метки; малое пятно поражения, которое должна заметить модель состояния, легко стирается локальным смешиванием. Политику аугментации поэтому задают для отдельной стадии каскада и конкретной проверяемой гипотезы, а не для системы целиком.

Методика оценки устойчивости к типовым искажениям систематизирована ранее: к тестовым изображениям применяется набор контролируемых повреждений, а обученная модель не меняется. На близкой идее основана рандомизация домена – широкая вариативность синтетических условий при обучении должна сделать реальную сцену для модели «еще одним вариантом». В обоих случаях слабые места модели сначала измеряют и лишь затем компенсируют [8].

В аграрных задачах широко применяется семейство YOLO: инференс в нем одностадийный, а размер модели можно подобрать под вычислительные ограничения. Из названия архитектуры устойчивость к доменному сдвигу, однако, не следует. Ее измеряют на зафиксированных весах и одинаковом наборе кадров, отдельно от дообучения. Сначала выявляются отказы эксплуатационной модели и только потом в обучающий набор включаются преобразования, которые эти отказы воспроизводят.

Устойчивость детекторов семейства YOLO к ухудшению условий съемки активно исследуется и в зарубежных работах [9–11]. В [9] детектор зрелости персика на основе YOLOv12s, дополненный модулем пространственно-канального внимания и двунаправленной пирамидой признаков, проверялся на изображениях с физически моделируемыми

туманом и дождем. Модель Orchard-YOLO на базе YOLOv13 [10] с дополнительной головой высокого разрешения и модулями координатного внимания достигла mAP@0,5 = 94,8 % и, по данным авторов, оказалась устойчивее базовых YOLOv8 и YOLO11 при моделируемом изменении освещенности на ±50 % и перекрытии плодов листвой до 70 %. Влияние экспозиции на реальных снимках изучено в [11]: при детекции апельсинов на мультиэкспозиционных изображениях слишком короткая выдержка (1/640 с) давала темные кадры, длинная (1/250 с) – пересвеченные, а больше всего плодов обнаруживалось при промежуточных значениях. В большинстве этих работ устойчивость повышают изменением архитектуры и расширенной аугментацией и сравнивают заново обученные модели; раздельная оценка того, как каждое искажение влияет на уже обученную эксплуатационную модель, выполняется реже, и именно ей посвящена настоящая работа.

Цель и задачи исследования

Исследование выполнено при разработке самостоятельной программы на основе искусственного интеллекта, анализирующей изображения тепличных растений с помощью детекторов YOLO. **Цель настоящей работы** – количественно оценить, как резкость, вариативность освещения и сенсорный шум влияют на две предметные модели YOLOv8, сопоставить их устойчивость с ошибкой подсчета плодов и задержкой на CPU и на этой основе сформулировать проверяемые правила целевой аугментации и повторной съемки. Для этого требовалось сформировать воспроизводимую выборку реальных кадров и протокол контролируемых искажений, определить показатели устойчивости, не требующие полной bbox-разметки, измерить предметную точность и задержку моделей и проверить, применима ли дисперсия Лапласиана как индикатор качества кадра.

Методы исследования

Изображения взяты из архива диагностических снимков, накопленных за время опытной эксплуатации разрабатываемой авторами программы мониторинга тепличных растений. Выборка состоит из десяти уникальных кадров. Дубликаты отсеивались по контрольной сумме SHA-256, после чего сумма фиксировалась для каждого файла, и любой повторный прогон выполняется на тех же данных. На кадрах представлены томаты, огурцы и перцы; есть и контрольный кадр баклажана – культуры, не входящей в целевую таксономию [12].

Точное количество плодов на восьми кадрах установлено ручным подсчетом, независимо от моделей; всего на них 16 объектов. На двух оставшихся кадрах сильное размытие и взаимное перекрытие исключают однозначный подсчет. Эти кадры участвовали в оценке устойчивости, где ответы модели сравниваются с ее же исходными ответами, но в расчет ошибки подсчета не вошли.

Сравнивались две предметные модели одного семейства разного масштаба (табл. 1). На этапе постобработки исходные классы cucumber, tomato, green pepper, orange pepper, red pepper и yellow pepper приводились к единой таксономии вида, так что четыре класса перца объединялись в один [13, 14]. Отдельно проверялась YOLO26n, обученная на 80 классах COCO. Загружается она тем же программным интерфейсом, но классов огурца, томата и перца не содержит; эта модель служила только контролем несовместимой таксономии и в предметные метрики не входила.

Таблица 1. Характеристики сравниваемых моделей

Table 1. Characteristics of the compared models

Показатель	**YOLOv8n**	**YOLOv8s**	**YOLO26n (контроль)**
Число параметров	3 012 018	11 137 922	2 572 280
Размер файла весов, МБ	5,97	21,48	5,29
Классы	6 предметных	6 предметных	80 классов COCO
Целевая таксономия	Томат, огурец, перец	Томат, огурец, перец	Отсутствует
Участие в метриках	Да	Да	Нет

YOLOv8s превосходит YOLOv8n по числу параметров в 3,70 раза, по размеру файла – в 3,60 раза. Для справки: контрольная модель YOLO26n содержит 2 572 280 параметров при размере файла весов 5,29 МБ, т. е. по объему близка к YOLOv8n. Модели не обучались и не дообучались; инференс выполнялся в Docker-контейнере Linux x86_64 на двух выделенных контейнеру логических ядрах процессора Intel Core i9-14900KF (рабочая станция PC Arena ARENA 41923; базовая/максимальная тактовая частота 3,2/6,0 ГГц, ОЗУ 128 ГБ) без использования GPU (установленная в рабочей станции видеокарта NVIDIA GeForce RTX 5090 в эксперименте не задействовалась), в окружении Python 3.11.16, OpenCV 4.11.0, NumPy 1.26.4, Ultralytics 8.3.40 и PyTorch 2.5.1+cpu, при размере входа 640 × 640 пикселей. Задержку измеряли после прогрева и учитывали в ней только проход детектора; чтение файла, формирование отчета и сетевая передача в нее не входили.

Каждый исходный кадр преобразовывался 8 способами, и к 10 исходным изображениям добавилось 80 измененных (рис. 1). Каждая операция изолирует один физический фактор. Полной имитацией оптики и светотехники теплицы такой набор не является, зато модели сравниваются на строго одинаковом входном материале.

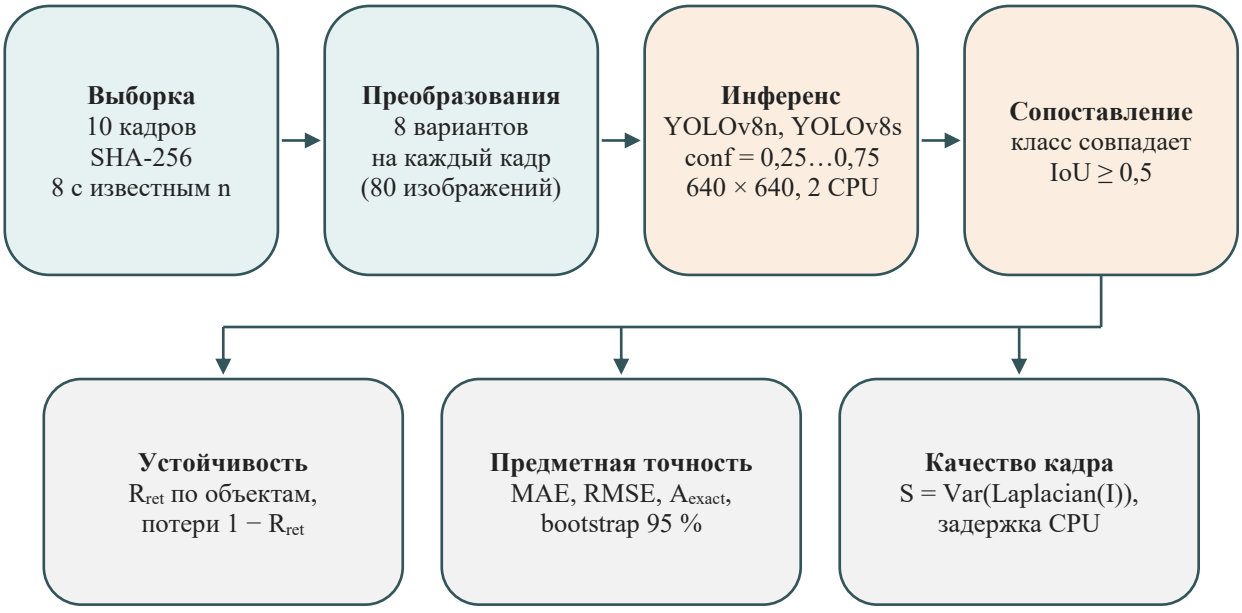


Рис. 1. *Протокол оценки устойчивости зафиксированных весов на одинаковых кадрах*

Fig. 1. *Protocol for robustness assessment of fixed weights on identical frames*

Изменение экспозиции моделировалось линейным преобразованием интенсивности с ограничением диапазона:

$$I' = \mathrm{clip}(\alpha \cdot I + \beta, 0, 255),$$

где I и I' – исходная и преобразованная интенсивность; α – коэффициент усиления; β – смещение яркости; *clip* – усечение значений до допустимого диапазона. Для недоэкспозиции принято $\alpha = 0{,}60$, $\beta = 0$. Переэкспозиция сочетала $\alpha = 1{,}30$ с положительным смещением β, в результате чего часть светлых участков уходила в насыщение.

Теплый и холодный свет воспроизводились противоположным масштабированием красного и синего каналов при неизменном зеленом:

$$R' = k \cdot R, \quad G' = G, \quad B' = \frac{B}{k}.$$

Теплому сдвигу соответствует $k > 1$, холодному – $k < 1$. В отличие от глобальной недоэкспозиции локальная тень затрагивает лишь часть кадра; ее задавали пространственной маской M с плавным градиентом:

$$I'(x,y) = I(x,y) \cdot \big(1 - \gamma \cdot M(x,y)\big), \quad M(x,y) \in [0,1],$$

где γ – глубина затенения. Дефокусировку имитировали сверткой с двумерным гауссовским ядром

$$G_\sigma(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad I_b = G_\sigma * I$$

при $\sigma = 1{,}5$ и $\sigma = 3{,}0$ пикселя. Сенсорный шум добавлялся как аддитивная нормальная случайная величина с нулевым средним:

$$I' = \mathrm{clip}(I + \eta, 0, 255), \quad \eta \sim \mathcal{N}\big(0, \sigma_\eta^2\big),$$

где $\sigma_\eta = 12$ уровней яркости. Параметры сведены в таблице 2. Реальные кадры выборки не публикуются, поэтому на рисунке 2 те же операции показаны на синтетических тестовых сценах двух культур – томата (рис. 2а) и огурца (рис. 2б). Сцена с огурцом добавлена потому, что на красных плодах томата, контрастных листве, часть преобразований малозаметна; для зеленого плода на зеленом фоне влияние цветовых сдвигов, локальной тени и размытия на контраст объекта с фоном проявляется нагляднее.

Таблица 2. Параметры контролируемых преобразований

Table 2. Parameters of controlled transformations

Преобразование	**Модель искажения**	**Параметры**	**Изолируемый фактор**
Недоэкспозиция	$\alpha I + \beta$	$\alpha = 0{,}60$; $\beta = 0$	Недостаток света
Переэкспозиция	$\alpha I + \beta$, усечение	$\alpha = 1{,}30$; $\beta > 0$	Насыщение светлых участков
Теплый сдвиг	Масштаб R и B	$k > 1$	Цветовая температура
Холодный сдвиг	Масштаб R и B	$k < 1$	Цветовая температура
Локальная тень	Маска $M(x, y)$	Плавный градиент	Неравномерность освещения
Размытие	Свертка с G_σ	$\sigma = 1{,}5$	Умеренная дефокусировка
Размытие	Свертка с G_σ	$\sigma = 3{,}0$	Сильная дефокусировка
Сенсорный шум	$I + \eta$	$\sigma_\eta = 12$	Шум матрицы



а



б

Рис. 2*. Восемь контролируемых преобразований на синтетических тестовых сценах томата (а) и огурца (б); S – дисперсия Лапласиана соответствующего варианта*

Fig. 2*. Eight controlled transformations on synthetic test scenes of tomato (a) and cucumber (b); S – Laplacian variance of the corresponding variant*

В качестве численной характеристики резкости использовалась дисперсия отклика оператора Лапласа

$$\text{Laplacian}(I) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2},$$

вычисленного по полутоновому изображению:

$$S = \text{Var}\big(\text{Laplacian}(I)\big),$$

где S – оценка высокочастотного отклика; I – изображение; Var – дисперсия по всем пикселям. На резком кадре Лапласиан сильно откликается на границы и текстуру, и разброс его значений велик; размытие сглаживает перепады и уменьшает разброс. Сенсорный шум, однако, тоже относится к высокочастотным компонентам и увеличивает S, никак не улучшая различимость объектов. Оба режима показаны на рис. 3 для синтетической сцены томата: с ростом σ значение S падает на несколько порядков, а с ростом СКО шума монотонно увеличивается. Та же закономерность наблюдается и для сцены огурца (рис. 2б): при σ = 3,0 значение S уменьшается со 169,4 до 2,5, а при сенсорном шуме возрастает до 1445,3. Визуально сильное размытие для зеленого плода критичнее: контур огурца практически сливается с листовым пологом, тогда как красный томат еще отделяется от фона по цвету. Поэтому S рассматривался как диагностический признак, а не как самостоятельный вердикт о пригодности кадра.

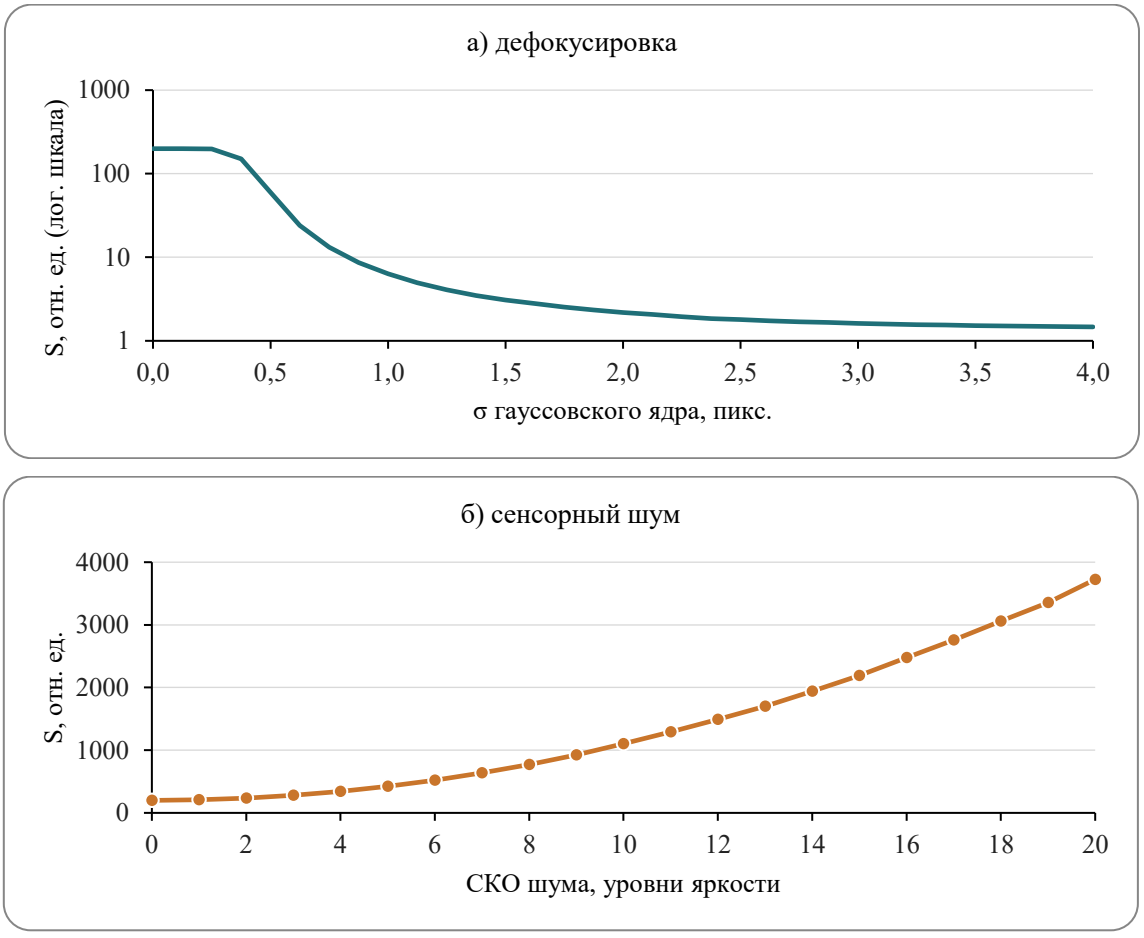


***Рис. 3**. Модельная зависимость дисперсии Лапласиана S от параметра размытия (а) и от СКО сенсорного шума (б) для синтетической тестовой сцены*

***Fig. 3**. Model dependence of the Laplacian variance S on the blur parameter (a) and on the standard deviation of sensor noise (b) for a synthetic test scene*

Исходные и измененные детекции сопоставлялись попарно: рамка считалась сохранившейся, если на преобразованном кадре находилась рамка того же класса с перекрытием

$$IoU = \frac{|B \cap B'|}{|B \cup B'|}$$

не менее 0,5, где B и B' – исходная и новая рамки. Для каждой модели и каждого преобразования с вычислялась взвешенная доля сохраненных детекций:

$$R_{ret} = \frac{Nmatch_{total}}{Nbase_{total}}.$$

В числителе стоит число сопоставленных рамок по всем кадрам, в знаменателе – суммарное число детекций на исходных кадрах [15]. Взвешивание выполнено по объектам, а не по кадрам, чтобы пустая или почти пустая сцена не влияла на итог наравне с кадром, где плодов несколько. Помимо R_{ret}, рассматривались потери детекций и разность устойчивости моделей:

$$L_c = 1 - R_{ret}, \quad \Delta R_c = R_c^s - R_c^n,$$

где индексы s и n относятся к YOLOv8s и YOLOv8n. Обобщенная устойчивость модели по всем $C = 8$ преобразованиям оценивалась средним

$$\overline{R} = \frac{1}{C}\sum_{c=1}^{C} R_c.$$

У этих величин есть ограничение. R_{ret} измеряет согласованность модели с ее собственным исходным ответом и не заменяет Accuracy, Precision, Recall или mAP. Без полной bbox-разметки правильность каждой исходной рамки не установить, а сохранение ошибочной рамки увеличивает показатель так же, как сохранение верной [16, 17].

Предметную пригодность моделей оценивали по задаче подсчета плодов на восьми кадрах с известным количеством. Для N кадров с истинным количеством n_i и предсказанным $\hat{n}_i$ рассчитывались средняя абсолютная ошибка, среднеквадратичная ошибка и доля точных ответов:

$$MAE_{count} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} |n_i - \hat{n}_i|,$$

$$RMSE_{count} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (n_i - \hat{n}_i)^2},$$

$$A_{exact} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \mathbb{1}(n_i = \hat{n}_i),$$

где $\mathbb{1}(\cdot)$ – индикаторная функция, равная единице при совпадении количеств. MAE и RMSE полезно рассматривать вместе: при одинаковой MAE больший RMSE означает, что ошибка сосредоточена в немногих кадрах с крупным отклонением. Неопределенность MAE оценивалась непараметрическими 95 %-ми bootstrap-интервалами, полученными перевыборкой кадров с возвращением.

Пороги уверенности перебирались в ряду 0,25; 0,40; 0,50; 0,60 и 0,75. Рабочим выбран порог 0,40, при котором MAE YOLOv8s на размеченных кадрах минимальна; при нем же рассчитаны показатели устойчивости [18].

Искусственный интеллект в данной работе – предмет исследования, а не вспомогательный инструмент. Авторы разрабатывают самостоятельную программу мониторинга тепличных растений на основе искусственного интеллекта, где функции технического зрения выполняют нейросетевые детекторы семейства YOLO. Эксперименты проведены с детекторами YOLOv8n и YOLOv8s этой программы, а ее модуль постобработки приводит исходные классы детекторов к единой таксономии вида. При разработке программного кода модулей, работающих с моделями YOLO, авторы использовали генеративный инструмент искусственного интеллекта в качестве вспомогательного средства программирования; архитектура программы, постановка эксперимента, получение и интерпретация результатов выполнены авторами самостоятельно.

Результаты исследования

Каждая модель дала на десяти исходных кадрах по 22 детекции. Совпадение общего числа случайно: состав рамок и распределение ошибок по сценам различались, и о равном качестве оно не говорит. Результаты на восьми размеченных кадрах приведены в таблице 3.

Таблица 3. Точность подсчета плодов при пороге уверенности 0,40 (N = 8, истинное количество – 16)

Table 3. Fruit counting accuracy at a confidence threshold of 0.40 (N = 8, *true count* = 16)

Показатель	**YOLOv8n**	**YOLOv8s**
Предсказано плодов	14	15
MAE_{count}, плод/кадр	0,750	0,125
95%-й bootstrap-интервал MAE	0,125–1,500	0,000–0,375
$RMSE_{count}$, плод/кадр	1,225	0,354
Кадров с точным количеством	4 из 8	7 из 8
A_{exact}, %	50,0	87,5
Время инференса на CPU, мс	548	1482

По значениям MAE и RMSE можно восстановить структуру ошибок. У YOLOv8s суммарная абсолютная ошибка равна единице, а RMSE 0,354 = √(1/8), т.е. ошибка единственная – промах на один плод на одном кадре. У YOLOv8n суммарная абсолютная ошибка составляет 6, сумма квадратов – 12; при четырех ошибочных кадрах этому отвечает лишь одно сочетание: три кадра с отклонением на один плод и один – на три. Отставание YOLOv8n складывается, стало быть, из частоты ошибок и одного крупного промаха.

Bootstrap-интервалы для восьми кадров ожидаемо широки и перекрываются на участке 0,125–0,375. Приведенные значения – инженерный базовый уровень, а не оценка для произвольной теплицы.

Таблица 4. Зависимость MAE подсчета (плод/кадр) от порога уверенности

Table 4. Dependence of the counting MAE (fruit/frame) on the confidence threshold

Порог уверенности	**0,25**	**0,40**	**0,50**	**0,60**	**0,75**
YOLOv8n	0,625	0,750	0,875	1,000	1,000
YOLOv8s	0,250	0,125	0,250	0,625	0,875

Форма зависимости MAE от порога у моделей разная (табл. 4, рис. 4а). YOLOv8n ошибается меньше всего при самом низком пороге 0,25, после чего ошибка монотонно растет до 1,000. У YOLOv8s выражен минимум при 0,40, а к порогу 0,75 ошибка увеличивается до 0,875, т. е. в семь раз. При всех проверенных порогах YOLOv8s точнее YOLOv8n.

Выигрыш в точности оплачивается временем. Среднее время детектора на двух логических CPU составило 548 мс для YOLOv8n и 1482 мс для YOLOv8s, что соответствует отношению

$$k_t = \frac{t_s}{t_n} = \frac{1482}{548} \approx 2{,}70$$

и пропускной способности около 1,82 и 0,67 кадра в секунду соответственно (рис. 4б).

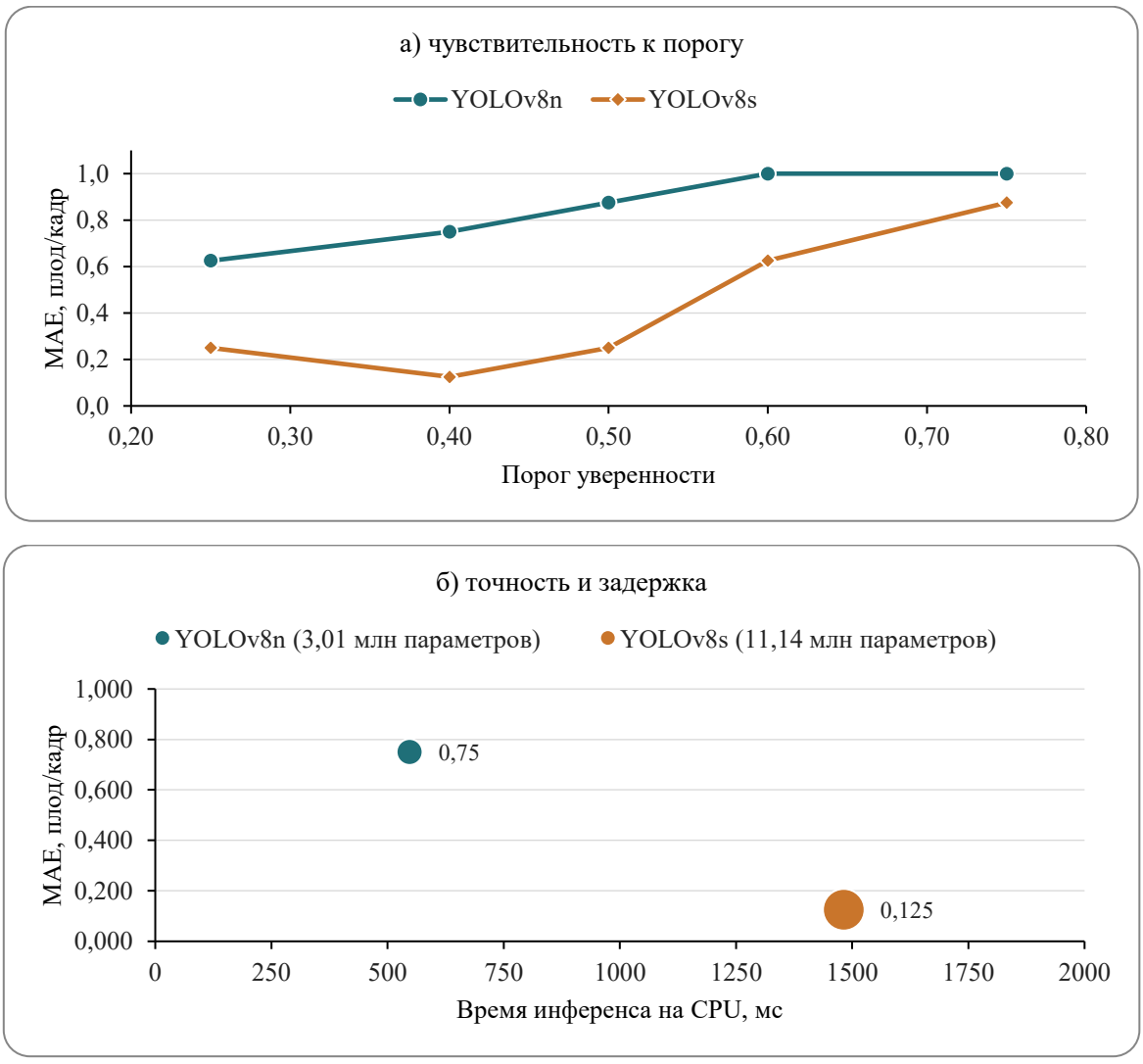


***Рис. 4**. Чувствительность MAE подсчета к порогу уверенности (а) и соотношение точности и задержки на CPU (б)*

***Fig. 4**. Sensitivity of counting MAE to the confidence threshold (a) and the precision-latency trade-off on CPU (b)*

Доли сохраненных детекций для всех восьми преобразований приведены в табл. 5; число сопоставленных рамок восстановлено из R_{ret} при знаменателе 22.

Таблица 5. Доля сохраненных детекций при контролируемых искажениях ($Nbase_{total}$ = 22)

Table 5. Proportion of retained detections under controlled distortions (*Nbasetotal* = 22)

Искажение	YOLOv8n: Nmatch / R_{ret}	YOLOv8s: Nmatch / R_{ret}	ΔR
Недоэкспозиция	21 / 0,955	19 / 0,864	−0,091
Переэкспозиция	19 / 0,864	20 / 0,909	+0,045
Теплый цветовой сдвиг	16 / 0,727	18 / 0,818	+0,091
Холодный цветовой сдвиг	15 / 0,682	18 / 0,818	+0,136
Локальная тень	21 / 0,955	19 / 0,864	−0,091
Гауссовское размытие, σ = 1,5	13 / 0,591	15 / 0,682	+0,091
Гауссовское размытие, σ = 3,0	10 / 0,455	11 / 0,500	+0,045
Сенсорный шум	17 / 0,773	16 / 0,727	−0,046
Среднее $\bar{R}$	0,750	0,773	+0,023

Хуже всего обе модели сохраняли детекции при размытии (рис. 5). С ростом σ от 1,5 до 3,0 показатель YOLOv8n снизился с 0,591 до 0,455, YOLOv8s – с 0,682 до 0,500, т.е. при сильной дефокусировке теряется около половины исходных рамок. К обоим уровням размытия YOLOv8s устойчивее, хотя при σ = 3,0 ее преимущество сокращается до одной рамки.

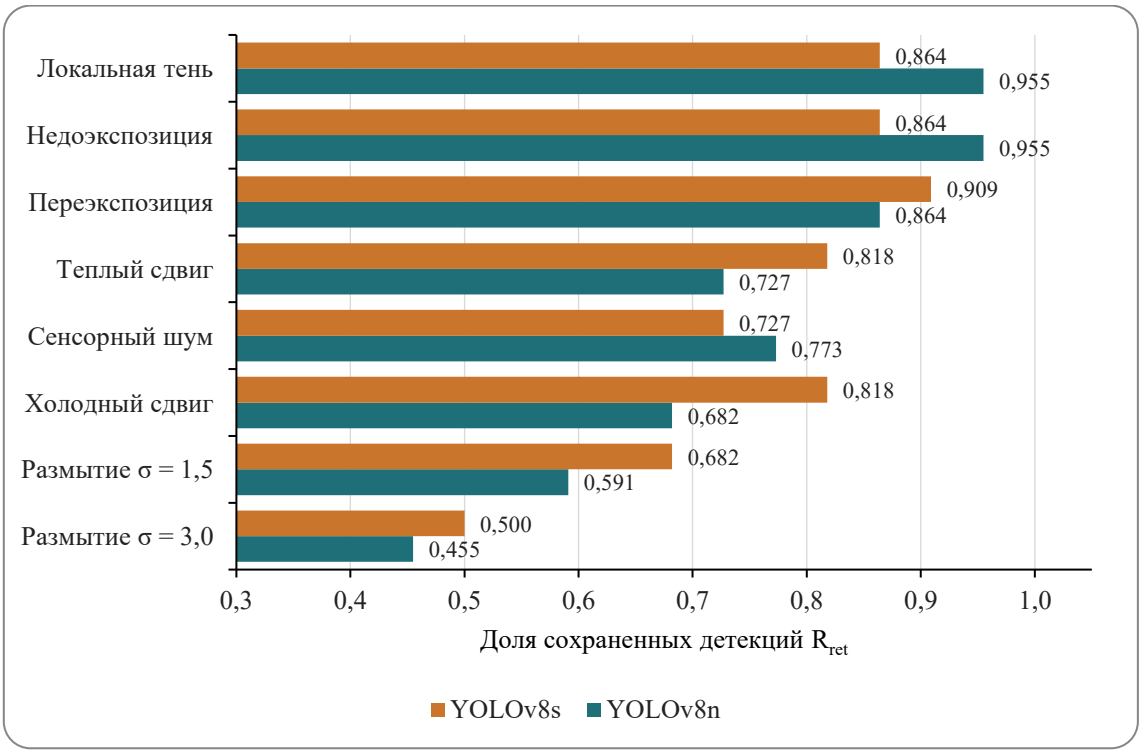


Рис. 5. *Доля сохраненных детекций по моделям; искажения упорядочены по средней устойчивости*

Fig. 5. *Proportion of retained detections by model; distortions ordered by average robustness*

По остальным факторам модели расходятся (рис. 6, табл. 5). Недоэкспозицию и локальную тень лучше перенесла YOLOv8n: в обоих случаях она потеряла одну рамку из 22, YOLOv8s – три. При переэкспозиции и особенно при цветовых сдвигах картина обратная. Холодный сдвиг стоил YOLOv8n семи рамок, а YOLOv8s только четырех, и разность ΔR = +0,136 здесь наибольшая по модулю. Сенсорный шум снизил долю сохраненных детекций до 0,773 и 0,727, немного сильнее затронув YOLOv8s.

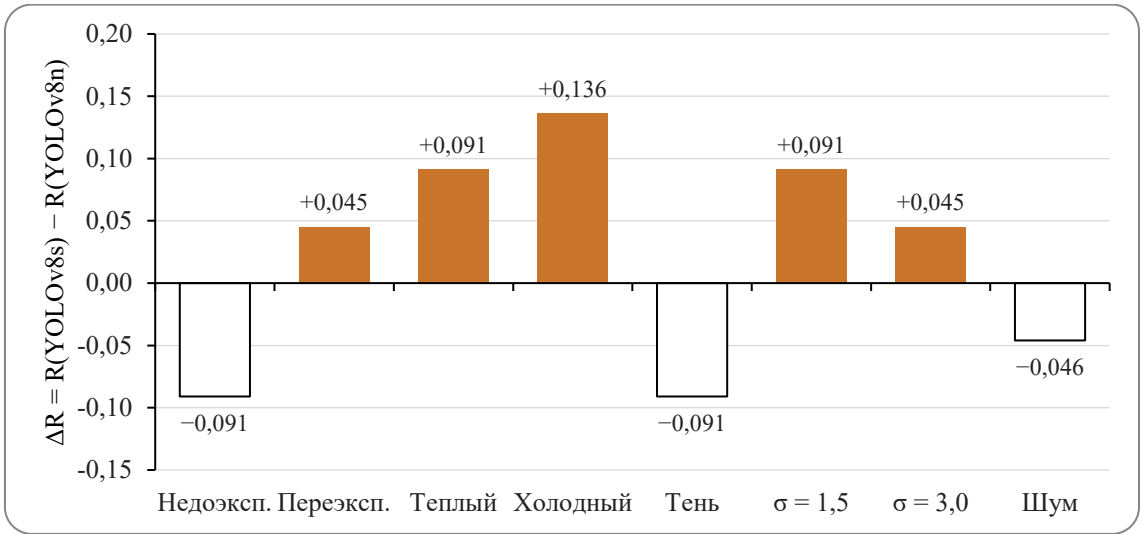


***Рис. 6**. Разность устойчивости моделей ΔR = R(YOLOv8s) − R(YOLOv8n) по видам искажений*

***Fig. 6**. Robustness difference between models ΔR = R(YOLOv8s) − R(YOLOv8n) by distortion types*

Усредненная по восьми преобразованиям устойчивость равна 0,750 у YOLOv8n и 0,773 у YOLOv8s. Разница 0,023 заметно меньше разброса ΔR по отдельным факторам (от − 0,091 до +0,136) и о различии в характере отказов сама по себе не говорит.

Средняя дисперсия Лапласиана исходных кадров равна 842,9. Размытие с $\sigma = 3,0$ снизило ее до 3,7, т.е. до 0,44 % исходного уровня, и одновременно упала доля сохраненных рамок. Сенсорный шум дал противоположный результат: S выросла до 2104,4 – в 2,5 раза выше исходной, однако модели сохранили лишь 77,3 и 72,7 % детекций (рис. 7). Фотометрические преобразования сдвинули S умеренно, и их точки на рисунке 7 располагаются в средней части шкалы при R_{ret} от 0,682 до 0,955.

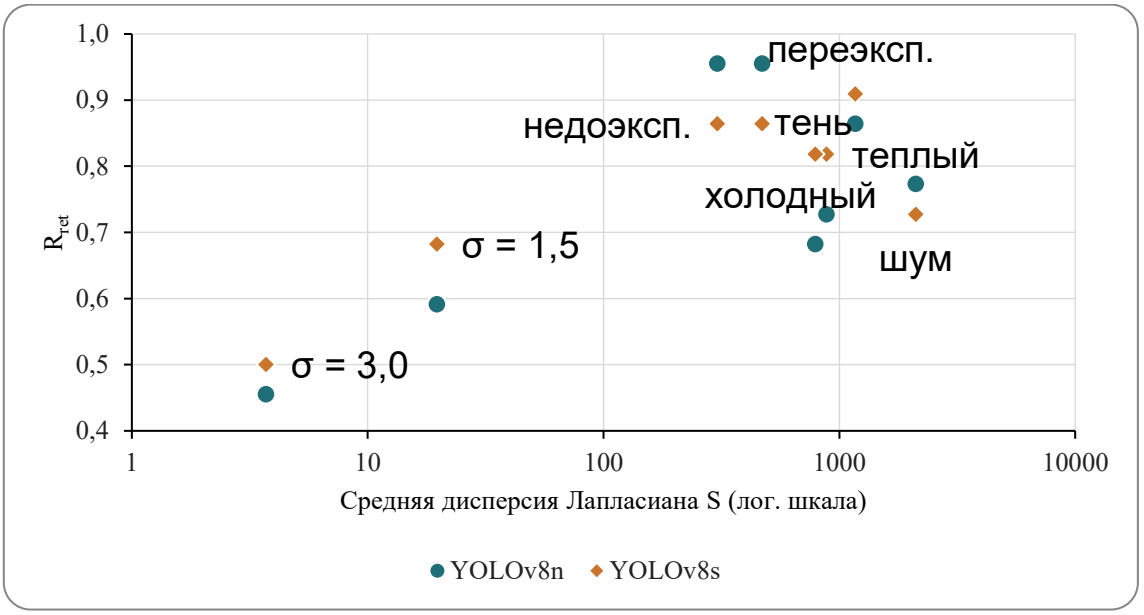


***Рис. 7**. Связь средней дисперсии Лапласиана с долей сохраненных детекций; подписи у точек указывают вид искажения*

***Fig. 7**. Relationship between the mean Laplacian variance and the fraction of retained detections; labels next to the points indicate the type of distortion*

На рисунке 7 видны две области. Слева, при малых S, оказались оба варианта размытия: низкое значение показателя здесь сопровождается низкой устойчивостью. Справа лежит шумовой вариант, у которого максимальному S соответствует одна из худших долей сохранения среди нерасфокусированных преобразований. Монотонной связи между S и R_{ret} во всем диапазоне нет.

То, что размытие доминирует среди исследованных факторов, согласуется с механизмом дефокусировки. Гауссовская свертка подавляет высокочастотные составляющие, а от них зависят и точная локализация рамки, и разделение соседних объектов. Плоды в тепличной сцене часто небольшие и частично закрыты листьями. При размытии их контур сливается с фоном, и детектор либо пропускает объект, либо смещает рамку настолько, что IoU с исходной опускается ниже 0,5. В обоих случаях сопоставление теряется, а различить эти причины без bbox-разметки нельзя.

Различие моделей в отклике на фотометрические искажения объяснить труднее. Возможно, YOLOv8s с большим числом параметров опирается на более широкий набор признаков и меньше зависит от соотношения каналов, но на десяти кадрах это предположение не проверить. Устойчивость YOLOv8n к недоэкспозиции и тени могла, напротив, объясняться составом сцен, в которых плоды занимали хорошо освещенную часть кадра. Практический вывод от интерпретации не зависит: для выбора аугментации одна агрегированная метрика непригодна, и диапазон преобразований должен отвечать отказам той конкретной модели, которую предстоит дообучать.

Данные по дисперсии Лапласиана очерчивают область ее применимости. Низкое значение S в эксперименте надежно указывало на потерю границ, высокое же не отделяло полезную текстуру от шума. Отсюда предложение использовать S только в составе комплексной оценки. Нормированная резкость вычисляется с ограничением сверху:

$$q_{sharp} = \min\left(1, \frac{S}{T_{sharp}}\right),$$

где порог T_{sharp} определяется по распределению S на размеченной эксплуатационной выборке. Кроме того, вычисляются доли пересвеченных q_{over}, недоэкспонированных q_{under} пикселей и нормированная оценка высокочастотного шума q_{noise}. Итоговая оценка пригодности кадра

$$q_{frame} = w_s \cdot q_{sharp} + w_e \cdot (1 - q_{over} - q_{under}) + w_n \cdot (1 - q_{noise})$$

с весами, удовлетворяющими условию

$$w_s + w_e + w_n = 1, \quad w_s, w_e, w_n \geq 0,$$

подбирается на валидационной выборке. Решение детектора q_{frame} не подменяет и используется только как диагностический признак. Реакция системы определяется двумя порогами – повторной съемки τ_r и предупреждения τ_w, причем $\tau_r < \tau_w$:

$$D(I) = \begin{cases} \text{повторная съемка}, & q_{frame} < \tau_r; \\ \text{детекция с предупреждением}, & \tau_r \leq q_{frame} < \tau_w; \\ \text{штатная детекция}, & q_{frame} \geq \tau_w. \end{cases}$$

Шумовой случай обрабатывается раньше, чем вычисляется q_{frame}: если высокое S сопровождается высокой оценкой шума, значение резкости признаком качества не считается (рис. 8). Правила реакции сведены в табл. 6.

Таблица 6. Правила реакции системы на качество кадра

Table 6. Rules for the system's response to frame quality

Наблюдаемое состояние	**Диагностические признаки**	**Действие системы**
Резкий и корректно экспонированный кадр	q_{frame} не ниже порога предупреждения	Выполнить детекцию и выдать штатный результат
Пограничная резкость	q_{frame} в предупредительном диапазоне	Выполнить детекцию, показать предупреждение, сохранить признаки качества
Сильное размытие	Низкая q_{sharp}, нестабильные детекции	Запросить повторную съемку, не выдавать категоричный диагноз
Сильная недоэкспозиция или пересвет	Высокая доля темных либо насыщенных пикселей	Изменить освещение или экспозицию и повторить кадр
Высокочастотный шум	Одновременно высокие S и q_{noise}	Не считать высокое S доказательством резкости; направить кадр на повторную проверку

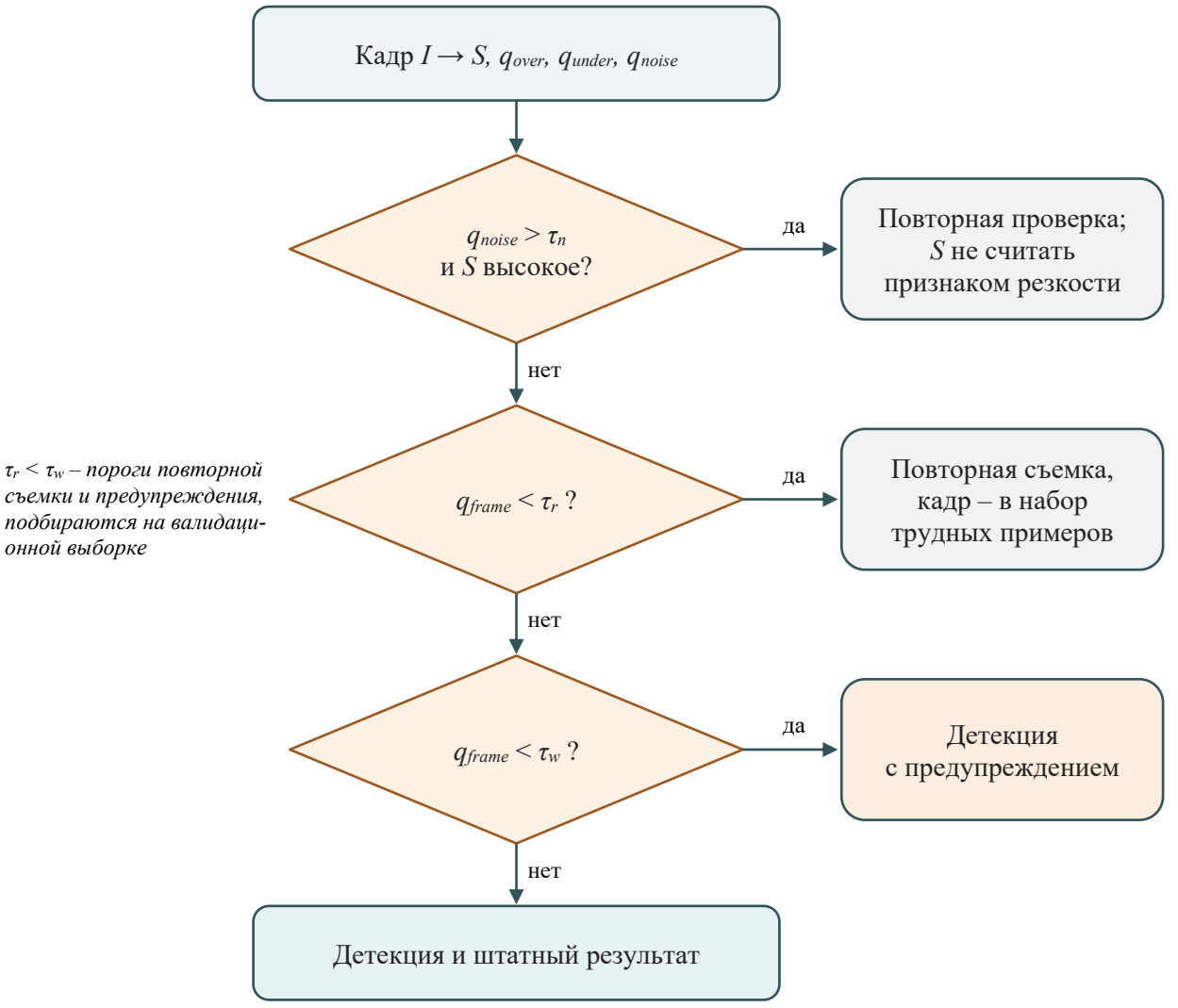


Рис. 8. *Алгоритм составного контроля качества кадра*

Fig. 8. *Algorithm for composite frame quality control*

Отклоненный фильтром кадр не удаляется. В течение установленного срока хранения он может войти в исследовательский набор трудных примеров и после экспертной разметки пригодиться для проверки целевой аугментации. Дообучение непосредственно на предсказаниях эксплуатационной модели исключается: так могут закрепиться пропуски и ложные классы, которые модель уже допускает.

Контролируемые преобразования применялись здесь только к тестовым кадрам и эффективность аугментации при обучении не доказывают. Их назначение – дать измеренные диапазоны деградации, на которые можно опереться при формировании следующего цикла дообучения (табл. 7).

Рекомендации упорядочены так же, как измеренные потери. Размытие в обучающем наборе нужно, однако избыток сильно расфокусированных примеров может сместить модель к выдаче рамок там, где объект уже неразличим. Цветовые сдвиги ограничены потому, что на последующих стадиях каскада – при оценке зрелости и состояния – цвет поверхности несет целевую информацию.

Таблица 7. Рекомендации по составу аугментации для следующего цикла дообучения

Table 7. Recommendations for the augmentation composition for the next fine-tuning cycle

Фактор	Наблюдение в эксперименте	Рекомендация
Гауссовское размытие	Наибольшие потери: R_{ret} 0,455–0,682	Включать умеренное размытие; не допускать доминирования сильно размытых изображений
Цветовые сдвиги	Потери YOLOv8n до 0,318, YOLOv8s – 0,182	Ограничивать амплитуду так, чтобы не менять семантику зрелости
Локальная тень	Отклик моделей отличается от отклика на недоэкспозицию	Воспроизводить отдельно от глобального изменения яркости
Сенсорный шум	R_{ret} 0,727–0,773 при росте S в 2,5 раза	Включать в train-набор; учитывать при оценке качества кадра
Экспозиция	Потери 0,045–0,136	Сохранять умеренный диапазон; основная коррекция – на этапе съемки

Восемь размеченных кадров требовались, чтобы убедиться, что модель с более стабильной реакцией дает и приемлемый предметный результат. Проверка пройдена: YOLOv8s при пороге 0,40 ошиблась на один плод на одном кадре из восьми. Без расширения тестового набора переносить разницу между моделями на генеральную совокупность нельзя, но для текущей системы она обосновывает выбор YOLOv8s в качестве точного режима и YOLOv8n – быстрого. Задержка около 1,5 с допустима при анализе одиночных кадров; видеопоток потребует пакетной обработки, снижения разрешения или аппаратного ускорителя. Порог 0,40 стал рабочей точкой именно для текущих весов YOLOv8s и после дообучения подлежит повторной калибровке.

Контроль с YOLO26n показал, что техническая совместимость файла весов еще не означает предметной применимости. Модель загружалась тем же интерфейсом и выдавала сырые ответы, но в ее таксономии COCO нет целевых классов, и такие детекции отбрасывались до агрономической интерпретации. Список классов при регистрации весов нужно проверять программно, а неизвестную таксономию нельзя молча объединять с результатами предметной модели.

Главное ограничение работы – объем выборки. На десяти кадрах, восемь из которых размечены по количеству, две модели можно сравнить в одном протоколе, но обобщать результат на другие теплицы, культуры и камеры оснований нет. Без полной bbox-разметки нельзя рассчитать mAP, Precision и *Recall*, а R_{ret} по построению растет и при сохранении ошибочной рамки. Кроме того, все искажения в работе смоделированы программно и применялись по отдельности, тогда как в реальной теплице изменения освещенности, резкости и шума сочетаются, и отклик моделей на такие сочетания может отличаться.

Модели искажений упрощены. Линейная тень не воспроизводит сложной геометрии листового полога, масштабирование двух каналов не эквивалентно спектру реального светильника, изотропное гауссовское ядро не охватывает смаз от движения. Задержка на CPU зависит от процессора, числа потоков, версий библиотек и прогрева. Приведенные значения корректны для сравнения моделей внутри одного воспроизводимого запуска; напрямую на сервер с GPU или на результаты других публикаций они не переносятся.

На следующем этапе предстоит разметить расширенный набор с bbox-аннотациями, применить те же искажения к фиксированному тестовому разделу и проверить влияние аугментации, сравнив одну архитектуру до и после обучения при одинаковых seed, числе эпох и исходных весах. В каждой серии нужно сохранять ревизию кода, SHA-256 весов, конфигурацию, перечень кадров и сырые предсказания, поскольку агрегированного графика без исходной таблицы для независимой проверки недостаточно. Число кадров для каждой из культур планируется существенно увеличить. Отдельную серию целесообразно получить с неподвижно закрепленной в теплице камеры, снимая одну и ту же сцену в течение суток: это позволит заменить моделируемые фотометрические искажения реальными изменениями естественного и искусственного освещения при неизменном составе объектов. Набор кадров с контрольными суммами и результаты тестирования планируется разместить в открытом репозитории.

Заключение

Устойчивость предметных YOLOv8-детекторов в тепличной сцене одной характеристикой изображения не описывается. Наибольший ущерб из восьми исследованных искажений нанесло гауссовское размытие: при $\sigma = 3{,}0$ сохранялось только 45,5–50,0 % исходных детекций. Цветовые сдвиги сильнее затронули YOLOv8n, недоэкспозиция и локальная тень – YOLOv8s, тогда как усредненная устойчивость оказалась близкой: 0,750 и 0,773.

Потерю границ дисперсия Лапласиана фиксирует надежно, но текстуру от шума не отличает. При сенсорном шуме она возросла до 2104,4 – в 2,5 раза выше исходного уровня, а доля сохраненных детекций снизилась до 72,7–77,3 %. Поэтому S вошла в составной показатель пригодности кадра вместе с оценками экспозиции и шума, а правила реакции системы в зависимости от двух порогов предусматривают повторную съемку, предупреждение или штатную детекцию.

При пороге 0,40 YOLOv8s получила MAE 0,125 плода на кадр и точный подсчет на 87,5 % размеченных кадров, но ее задержка примерно в 2,7 раза больше, чем у YOLOv8n. Для анализа одиночных кадров YOLOv8s обоснована как точный режим, YOLOv8n – как быстрый резервный. Рабочий порог относится только к проверенным весам и после каждого цикла дообучения требует калибровки.

Целевую аугментацию следует строить на измеренных отказах, а не на максимально широком случайном наборе операций. В следующий обучающий набор целесообразно включить умеренное размытие, ограниченные цветовые сдвиги, реалистичные тени и сенсорный шум, сохраняя семантику вида, зрелости и состояния. Для полной проверки этих рекомендаций понадобятся расширенный тестовый набор с bbox-разметкой, независимые аннотации и расчет Precision, Recall и mAP при неизменном протоколе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карелина М. Ю., Акулов А. А., Кутков В. Д., Талдыкин Д. С.* Разработка системы технического зрения для оценки состояния тепличных культур // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2026. № 2(256). С. 70–78. DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-70-78

2. *Газеев Е. Д.* Применение машинного зрения в сельском хозяйстве // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Пермь, 07–09 июня 2024 года. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2024. С. 426–431. EDN: QQHPKR

3. *Деведеркин И. В., Клинчаев Э. В.* Применение методов обработки изображений машинным зрением в сельском хозяйстве // Цифровые технологии в сельском хозяйстве: текущее состояние и перспективы развития: Материалы II Международной научно-практической конференции, Ставрополь, 20–21 декабря 2023 года. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2023. С. 139–143. EDN: BFWVNC

4. *Клинчаев Э. В., Деведеркин И. В.* Использование роботизированных систем в тепличных комплексах защищенного грунта с применением вертикальных гидропонных ферм // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. 2023. № 7. С. 18–25. EDN: ILQNEQ

5. *Алферьев Д. А.* Практика реализации сверточных нейронных сетей в сельском хозяйстве и агропромышленном комплексе // АгроЗооТехника. 2020. Т. 3. № 2. С. 4. DOI: 10.15838/alt.2020.3.2.4. EDN: BYFXVW

6. *Лапинский Д. А.* Применение компьютерного зрения в промышленности // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2026. № 1. С. 53–56. EDN: TCIFWS

7. *Соловьева Е. А., Денисов И. А.* Использование искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Международный журнал аграрной науки и образования. 2024. № 1(1). С. 37–43. EDN: KAPCAT

8. *Карелина М. Ю., Акулов А. А., Талдыкин Д. С., Логанов Н. В.* Методология анализа мультимодальных визуальных признаков в задачах классификации состояния объектов // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2026. Т. 18. № 1. С. 54–61. DOI: 10.36724/2409-5419-2026-18-1-54-61

9. *Tian J., Zhang X., Gao F. et al.* BSS-YOLO: honey peach ripeness detection in complex orchard scenes under simulated adverse-weather conditions and its implications for fruit industry management // Frontiers in Plant Science. 2026. Vol. 17. Art. 1929998. DOI: 10.3389/fpls.2026.1929998

10. *Wang Y., Tian H., Zhou Y. et al.* Orchard-YOLO: A Robust Deep Learning Framework for Fruit Detection Complex Optical and Environmental Degradation // Photonics. 2026. Vol. 13. No. 5. Art. 429. DOI: 10.3390/photonics13050429

11. *Oviedo Espinosa M.R., Porto L.R., Orlando V.S.W. et al.* Evaluation of YOLO Efficiency in Automatic Orange Detection in Multi-Exposure Images // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2024. Vol. X-3-2024. Pp. 303–308. DOI: 10.5194/isprs-annals-X-3-2024-303-2024

12. *Журавлев В. А.* Перспективы использования искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Мелиорация. 2025. № 3(113). С. 45–60. EDN: YSHNHL

13. *Джавадова А. С.* Искусственный интеллект в управлении агрорисками: преимущества и угрозы // Нанотехнологии: наука и производство. 2025. № 4. С. 21–24. EDN: UTISWT

14. *Иванов В. С., Лобода А. И., Щербаков С. В.* Современные неразрушаемые методы определения зрелости плодов и овощей // Материалы пула научно-практических конференций: Материалы VII Международной научно-практической конференции, X Международной научно-практической конференции и VII Международной научно-практической конференции, Керчь, 23–27 января 2026 года. Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2026. С. 409–413. EDN: RECEAL

15. *Егоров Ф. Д.* Распознавание дефектов картофеля с помощью свёрточной нейронной сети // Искусственный интеллект в промышленных, коммерческих, медицинских и финансовых приложениях: Сборник статей научно-технологического семинара кафедры «Инженерной кибернетики», Москва, 26 декабря 2025 года. М.: Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», 2026. С. 40–45. EDN: NTRWLM

16. *Вялков Ф. А., Толмачев А. И., Мельчакова Е. С., Малькова Ю. В.* Искусственный интеллект как инструмент повышения эффективности управления в сельском хозяйстве // Вектор экономики. 2025. № 11(113). EDN: NASMDG

17. *Басарыгина Е. М., Черепухина С. В., Деев В. В., Колотыгина Е. А.* Перспективы цифровой трансформации урбанизированного растениеводства // АПК России. 2022. Т. 29. № 4. С. 455–460. DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-4-455-460

18. *Свецкий А. В.* Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Сельское хозяйство. 2022. № 3. С. 1–12. DOI: 10.7256/2453-8809.2022.3.39469

REFERENCES

1. Karelina M.Yu., Akulov A.A., Kutkov V.D., Taldykin D.S. Development of a computer vision system for assessing the condition of greenhouse crops. *Development of a Vision System to Evaluate Greenhouse Crop Condition*. 2026. No. 2(256). Pp. 70–78. DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-70-78. (In Russian)

2. Gazeev E.D. Application of machine vision in agriculture. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Automated Control Systems and Information Technologies]: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference. Perm, Perm National Research Polytechnic University. 2024. Pp. 426–431. EDN: QQHPKR. (In Russian)

3. Devederkin I.V., Klinchaev E.V. Application of machine vision image processing methods in agriculture. *Tsifrovye tekhnologii v sel'skom khozyaystve: tekushchee sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Digital Technologies in Agriculture: Current State and Development Prospects]: proceedings of the II International scientific and practical conference. Stavropol, Stavropol State Agrarian University. 2023. Pp. 139–143. EDN: BFWVNC. (In Russian)

4. Klinchaev E.V., Devederkin I.V. Use of robotic systems in protected-ground greenhouse complexes with vertical hydroponic farms. *Molodaya nauka agrarnogo Dona: traditsii, opyt, innovatsii* [Young Science of the Agrarian Don: Traditions, Experience, Innovations]. 2023. No. 7. Pp. 18–25. EDN: ILQNEQ. (In Russian)

5. Alfer'ev D.A. Practic of implementing convolutional neural networks in agriculture and agro-industrial complex. *AgroZooTekhnika* [Agricultural and Livestock Technology]. 2020. Vol. 3. No. 2. P. 4. DOI: 10.15838/alt.2020.3.2.4. (In Russian)

6. Lapinskiy D.A. Application of computer vision in industry. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure]. 2026. No. 1. Pp. 53–56. EDN: TCIFWS. (In Russian)

7. Solov'eva E.A., Denisov I.A. Use of artificial intelligence in agriculture. *International Journal of Agricultural Science and Education*. 2024. No. 1(1). Pp. 37–43. EDN: KAPCAT. (In Russian)

8. Karelina M.Yu., Akulov A.A., Taldykin D.S., Loganov N.V. Multimodal visual feature analysis methodology for object state classification. *HI-Tech & Earth Space Research*. 2026. Vol. 18. No. 1. Pp. 54–61. DOI: 10.36724/2409-5419-2026-18-1-54-61. (In Russian)

9. Tian J., Zhang X., Gao F. et al. BSS-YOLO: honey peach ripeness detection in complex orchard scenes under simulated adverse-weather conditions and its implications for fruit industry management. *Frontiers in Plant Science*. 2026. Vol. 17. Art. 1929998. DOI: 10.3389/fpls.2026.1929998

10. Wang Y., Tian H., Zhou Y. et al. Orchard-YOLO: A Robust Deep Learning Framework for Fruit Detection Complex Optical and Environmental Degradation. *Photonics*. 2026. Vol. 13. No. 5. Art. 429. DOI: 10.3390/photonics13050429

11. Oviedo Espinosa M.R., Porto L.R., Orlando V.S.W. et al. Evaluation of YOLO Efficiency in Automatic Orange Detection in Multi-Exposure Images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2024. Vol. X-3-2024. Pp. 303–308. DOI: 10.5194/isprs-annals-X-3-2024-303-2024

12. Zhuravlev V.A. Prospects for the use of artificial intelligence in agriculture. *Melioratsiya* [Melioration]. 2025. No. 3(113). Pp. 45–60. EDN: YSHNHL. (In Russian)

13. Dzhavadova A.S. Artificial intelligence in agricultural risk management: advantages and threats. *Nanotekhnologii: nauka i proizvodstvo* [Nanotechnologies: Science and Production]. 2025. No. 4. Pp. 21–24. EDN: UTISWT. (In Russian)

14. Ivanov V.S., Loboda A.I., Shcherbakov S.V. Modern non-destructive methods for determining the ripeness of fruits and vegetables. *Materialy pula nauchno-prakticheskikh konferentsiy* [Proceedings of a Pool of Scientific and Practical Conferences]. Kerch, Kerch State Maritime Technological University. 2026. Pp. 409–413. EDN: RECEAL. (In Russian)

15. Egorov F.D. Recognition of potato defects using a convolutional neural network. *Iskusstvennyy intellekt v promyshlennykh, kommercheskikh, meditsinskikh i finansovykh prilozheniyakh* [Artificial Intelligence in Industrial, Commercial, Medical and Financial Applications]. Moscow, National University of Science and Technology MISIS. 2026. Pp. 40–45. EDN: NTRWLM. (In Russian)

16. Vyalkov F.A., Tolmachev A.I., Mel'chakova E.S., Mal'kova Yu.V. Artificial intelligence as a tool for improving management efficiency in agriculture. *Vektor ekonomiki* [Vector of Economics]. 2025. No. 11(113). EDN: NASMDG. (In Russian)

17. Basarygina E.M., Cherepukhina S.V., Deev V.V., Kolotygina E.A. Prospects for digital transformation of urbanized plant growing. *APK Rossii* [Agro-Industrial Complex of Russia]. 2022. Vol. 29. No. 4. Pp. 455–460. DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-4-455-460. (In Russian)

18. Svetskiy A.V. Application of artificial intelligence in agriculture. *Agriculture*. 2022. No. 3. Pp. 1–12. DOI: 10.7256/2453-8809.2022.3.39469. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов

Карелина М. Ю. – постановка задачи, научное руководство, редактирование текста;
Акулов А. А. – разработка методики эксперимента, анализ результатов;
Смирнов Ф. В. – программная реализация, проведение вычислительного эксперимента;
Талдыкин Д. С. – подготовка данных, визуализация, обзор литературы.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contribution of the authors

Karelina M.Yu. – problem formulation, scientific supervision, text editing;
Akulov A.A. – development of the experimental methodology, analysis of results;
Smirnov F.V. – software implementation, conducting the computational experiment;
Taldykin D.S. – data preparation, visualization, literature review.
All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы за счет средств федерального бюджета (источник финансирования – Минобрнауки РФ) по теме «Разработка программного обеспечения в интересах агропромышленного комплекса для мониторинга состояния ботвы и плодов тепличных растений с помощью технического зрения и искусственного интеллекта» (шифр научной темы – FSFM-2025-0002).

Funding. This article was prepared as part of a research project funded by the federal budget (funding source: Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation) on the topic: “Development of software for the agro-industrial sector to monitor the condition of greenhouse plant foliage and fruit using computer vision and artificial intelligence” (research project code: FSFM-2025-0002).

Информация об авторах

Карелина Мария Юрьевна, д-р техн. наук, д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой «Детали машин и теория механизмов», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);
125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64;
karelinamu@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0335-7550, SPIN-код: 1852-1782

Акулов Алексей Андреевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Детали машин и теория механизмов», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);
125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64;
a.akulov.98@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8952-0237, SPIN-код: 4631-0514

Смирнов Филипп Владиславович, студент, техник УНИР, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);
125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64;
FILSMIRNOV1@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5851-6868

Талдыкин Дмитрий Сергеевич, аспирант, старший преподаватель кафедры «Детали машин и теория механизмов», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ);
125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64;
dima.dima.taldykin@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-5071-426X, SPIN-код: 2271-8386

Information about the authors

Maria Yu. Karelina, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI);

64, Leningradsky prospekt, Moscow, 125319, Russia;

karelinamu@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0335-7550, SPIN-code: 1852-1782

Alexey A. Akulov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI);

64, Leningradsky prospekt, Moscow, 125319, Russia;

a.akulov.98@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8952-0237, SPIN-code: 4631-0514

Filipp V. Smirnov, Student, Technician at the Department of Research, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI);

64, Leningradsky prospekt, Moscow, 125319, Russia;

FILSMIRNOV1@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5851-6868

Dmitry S. Taldykin, Postgraduate Student, Senior Lecturer, Department of Machine Parts and Theory of Mechanisms, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI);

64, Leningradsky prospekt, Moscow, 125319, Russia;

dima.dima.taldykin@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-5071-426X, SPIN-code: 2271-8386

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.853 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-200-213
KGHOTP

Автоматизированная система предварительной верификации видеоконтента на основе эвристического анализа визуальных признаков

А. З. Кумыков[1], И. А. Пшенокова[2]✉

[1]Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
[2]Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Распространение генеративных методов обработки изображений и видео привело к появлению доступных средств создания реалистичного синтетического медиаконтента. Особую проблему представляет технология deepfake, позволяющая выполнять замену или модификацию лица человека в видеопотоке с сохранением мимики и движений. В задачах предварительной проверки медиаконтента существенное значение имеет не только итоговая оценка, но и возможность объяснить, какие визуальные признаки повлияли на результат.

Цель исследования – разработка автоматизированной системы предварительной верификации видеоконтента, формирующей объяснимый индекс подозрительности на основе совокупности визуальных признаков кадра и области лица.

Методы исследования. Использованы методы цифровой обработки изображений, компьютерного зрения, выборочного покадрового анализа видеопотока и эвристической оценки признаков. Для обнаружения лица применяется модель YuNet. Рассчитываются общие характеристики кадра, локальные параметры лица, признаки структуры лица, согласованности лица с окружением и временной стабильности. Разнотипные признаки преобразуются в нормированный диапазон и агрегируются с учетом их относительной диагностической значимости.

Результаты. Разработано настольное приложение на C++ с использованием Qt и OpenCV. Экспериментальная проверка проведена на 26 оригинальных и deepfake-видеофайлах: 17 оценены как полностью верные, 3 – как частично верные, 2 – как спорные и 4 – как ошибочные. Средний индекс подозрительности составил 36,8 % для original-видео и 75,8 % для deepfake-видео.

Выводы. Полученные результаты показывают применимость совокупности интерпретируемых визуальных признаков для предварительной верификации видеоконтента. Предложенный индекс не является точной вероятностью обнаружения deepfake и предназначен для первичного анализа и выделения материалов, требующих дополнительной проверки.

Ключевые слова: deepfake, верификация видеоконтента, компьютерное зрение, обработка видео, визуальные признаки, YuNet, OpenCV, эвристический анализ, цифровая криминалистика

Поступила 21.08.2026, одобрена после рецензирования 14.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Кумыков А. З., Пшенокова И. А. Автоматизированная система предварительной верификации видеоконтента на основе эвристического анализа визуальных признаков // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 200–213. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-200-213

© Кумыков А. З., Пшенокова И. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T42 Original article

Heuristic visual feature analysis-based automated video content pre-verification system

A.Z. Kumykov[1], I.A. Pshenokova✉[2]

[1]Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia
[2]Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The rapid spread of generative image and video processing technologies has made creation tools for realistic synthetic media content widely accessible. A major concern is deepfake technology, which allows for facial substitution or alteration in a video stream while maintaining natural expressions and motion. For media content pre-check tasks, it is crucial not only to obtain a final classification score but also to provide explainability regarding the specific visual features that affected the decision.

Aim. This study is to design an automated video content pre-verification system capable of generating an explainable suspicion index derived from an aggregate of visual features in both the frame and the facial area.

Research methods. Digital image processing, computer vision, selective frame-by-frame analysis of the video stream, and heuristic feature assessment methods were utilized. The YuNet model is applied for face detection. The system calculates global frame characteristics, local facial parameters, facial structure features, face-to-background consistency, and temporal stability metrics. Heterogeneous features are transformed into a normalized range and aggregated considering their relative diagnostic significance.

Results. We developed a C++ desktop application utilizing Qt and OpenCV libraries. Experimental testing on 26 authentic and deepfake videos showed that 17 videos were evaluated as fully accurate, 3 as partially accurate, 2 as ambiguous, and 4 as incorrect. The mean suspicion index amounted to 36.8 % for authentic videos and 75.8 % for deepfake videos.

Conclusions. The findings highlight the viability of using a combination of interpretable visual features to perform preliminary video content verification. The suggested index is not a precise deepfake detection probability; rather, it is designed for initial screening and identifying content that necessitates further expert review.

Keywords: deepfake, video content verification, computer vision, video processing, visual features, YuNet, OpenCV, heuristic analysis, digital forensics

Submitted 21.08.2026, approved after reviewing 14.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Kumykov A.Z., Pshenokova I.A. Heuristic visual feature analysis-based automated video content pre-verification system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 200–213. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-200-213

Введение

За последние годы методы искусственного интеллекта существенно изменили процесс создания цифрового медиаконтента. Генеративные модели позволяют синтезировать изображения высокого качества, изменять отдельные области кадра и выполнять реалистичную замену лица человека в видеопотоке [1]. Развитие генеративных состязательных сетей и других архитектур заметно снизило требования к ресурсам, необходимым для формирования синтетического контента [2].

© Kumykov A.Z., Pshenokova I.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Одним из наиболее известных направлений применения таких технологий является deepfake. В общем случае под deepfake понимается синтетически созданный или модифицированный медиаконтент, в котором с использованием методов глубокого обучения изменяются лицо, мимика, голос либо другие характеристики человека [3]. Практическая опасность подобных технологий связана с возможностью создания недостоверных видеоматериалов, распространения дезинформации, совершения мошеннических действий и усложнения проверки цифровых доказательств [4, 5].

Наиболее распространенным направлением автоматического обнаружения deepfake являются глубокие нейросетевые детекторы [6]. Они способны автоматически извлекать сложные пространственные и временные закономерности, однако их применение требует обучающих выборок, вычислительных ресурсов и отдельной процедуры валидации. Кроме того, качество работы может снижаться при переносе модели на новый источник видео, иной уровень сжатия или ранее не встречавшийся способ генерации [7, 8].

В задачах предварительной проверки цифрового контента важна также интерпретируемость результата. Пользователь должен понимать, какие особенности видеозаписи привели к повышению риска: изменение локальной резкости, шумовые отличия, нарушение контура, потеря черт лица или межкадровая нестабильность [9]. Поэтому в настоящей работе рассматривается объяснимый эвристический подход, основанный на совокупности измеряемых визуальных признаков.

Целью исследования является разработка автоматизированной системы предварительной верификации видеоконтента на основе анализа визуальных характеристик видеопотока и области лица. Результатом работы системы является индекс подозрительности, характеризующий степень выраженности совокупности признаков возможной локальной модификации. Следует отметить, что данный индекс не трактуется как статистическая вероятность deepfake и не заменяет специализированную экспертную проверку.

Метод предварительной верификации видеоконтента

Разработанный метод основан на последовательной обработке видеопотока и объединении нескольких групп визуальных характеристик. Принципиальным решением является отказ от классификации файла по одному признаку. Изменение резкости, шум, контурность или снижение качества изображения сами по себе не являются достаточным основанием для признания видеозаписи подозрительной. Итоговая оценка формируется по совокупности показателей.

Общая последовательность анализа (рис. 1) включает загрузку видеофайла и извлечение его технических характеристик, выборочную обработку кадров, предварительное преобразование изображения, обнаружение области лица, расчет общих и локальных визуальных признаков, агрегацию признаков по видеоряду, их нормализацию, формирование индекса подозрительности и последующую интерпретацию результата.

Для снижения вычислительной нагрузки используется выборочная обработка кадров. При стандартной частоте видео соседние кадры во многих сценах отличаются незначительно, поэтому анализ нескольких кадров в секунду позволяет сохранить основные визуальные закономерности при уменьшении объема вычислений. Перед расчетом большинства характеристик изображение приводится к удобному для анализа размеру и переводится в оттенки серого.

Для детекции лица используется модель YuNet[1], подключаемая средствами OpenCV. YuNet применяется исключительно как детектор и не выполняет классификацию видео на original и

[1]OpenCV Zoo. YuNet face detection model [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/opencv/opencv_zoo/tree/main/models/face_detection_yunet (дата обращения: 16.06.2026).

deepfake. Результатом работы модели являются координаты области лица, оценка достоверности обнаружения и ключевые точки, соответствующие глазам, носу и уголкам рта.

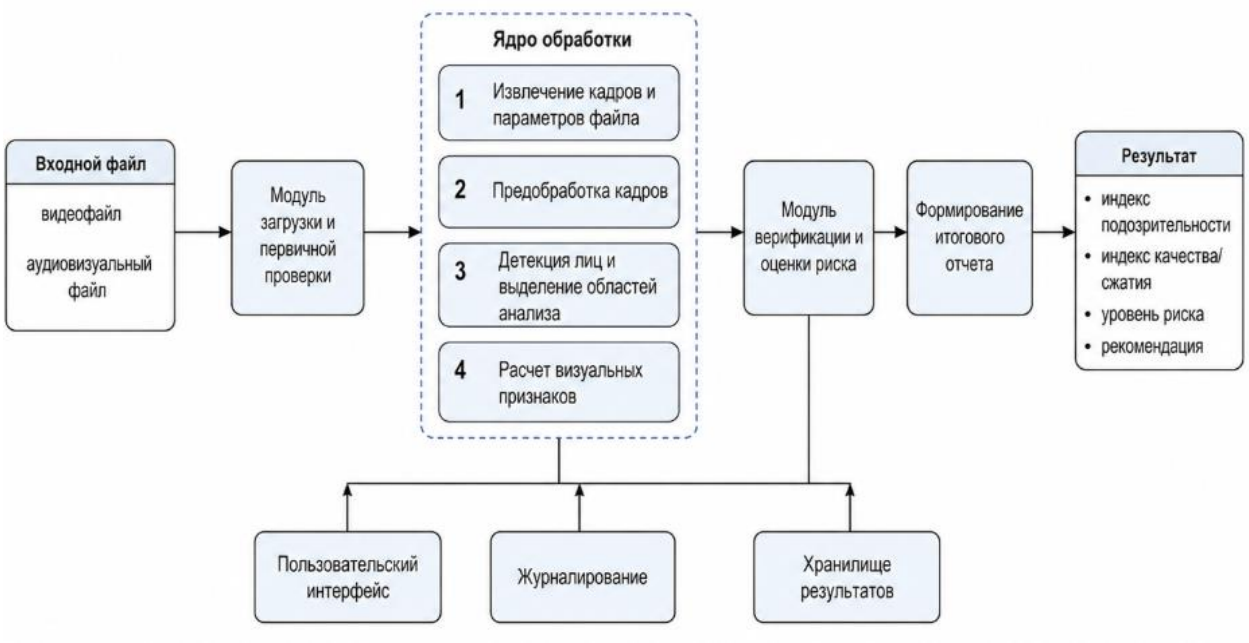


***Рис. 1**. Проектная архитектура автоматизированной системы предварительной верификации видеоконтента*

***Fig. 1**. Architectural design of the automated system for video content pre-verification*

Если на кадре обнаружено несколько лиц, выбирается основной кандидат с учетом оценки детектора и положения относительно предыдущих кадров. Выделенная область используется как region of interest, что позволяет рассчитывать признаки непосредственно в зоне лица и сопоставлять их с характеристиками окружающего изображения [10].

Используемые признаки разделены на пять групп (табл. 1): общие характеристики кадра, локальные параметры лица, структурные признаки лица, согласованность лица с окружением и временные характеристики. Дополнительно учитываются типовые сочетания признаков, соответствующие различным профилям подозрительной модификации.

Таблица 1. Группы признаков, используемых при проектировании индекса подозрительности

Table 1. Feature groups used in the design of the suspicion index

Группа признаков	Примеры параметров	Назначение
Качество кадра	Яркость, резкость, контраст, шум, блочность	Оценка технической деградации и надежности анализа
Локальные признаки лица	Текстура, шум, контраст, плотность границ	Поиск локальных отличий области лица
Структура лица	Глаза, нос, рот, надбровная зона, симметрия	Выявление потери деталей и структурных нарушений
Согласованность с окружением	Различия текстуры, шума и контраста	Поиск признаков локальной вставки
Временная стабильность	Скачки положения, масштаба, пропадания лица	Оценка устойчивости лица во времени

Резкость оценивается через дисперсию результата применения оператора Лапласа к изображению по формуле

$$Sharpness = Var(\nabla^2 I).$$

В четком кадре присутствует больше выраженных высокочастотных деталей, поэтому дисперсия отклика, как правило, выше. Данный показатель используется как для общей оценки качества, так и для сопоставления области лица с окружением [11].

Приближенная оценка шумовой компоненты формируется как средняя абсолютная разность между исходным изображением и его сглаженной гауссовским фильтром копией, которая записывается в виде

$$N = mean(|I - G(I)|).$$

Такой показатель позволяет количественно оценить высокочастотную составляющую и далее сравнить уровень шума в области лица и в окружающем изображении.

Для анализа контурности используется детектор границ Canny. После его применения рассчитывается доля граничных пикселей в области лица по формуле

$$D_edge = N_edge / N_ROI,$$

где N_edge – число пикселей, отнесенных к границам, а N_ROI – общее число пикселей области лица.

Избыточно выраженная или, наоборот, чрезмерно сглаженная граница может возникать при локальной подмене и последующем смешивании синтетического лица с исходным кадром и сама по себе не является признаком deepfake, а интерпретируется только совместно с другими характеристиками.

Блочность рассматривается как вспомогательный показатель технической деградации. Алгоритм сравнивает перепады яркости на периодически расположенных границах с обычными переходами между соседними пикселями. Выраженная блочность может быть следствием сильного сжатия и поэтому не используется как самостоятельный признак deepfake.

Структурный анализ выполняется для зон глаз, носа, рта и лба. В этих областях оценивается выраженность локальных границ и геометрия ключевых точек YuNet. Потеря мелких деталей, нарушение взаимного расположения зон или появление локального шва в надбровной области повышают частную оценку только совместно с другими признаками.

Временная составляющая формируется по последовательности анализируемых кадров. Отслеживаются положение лица, площадь ограничивающего прямоугольника, скачки масштаба и случаи отсутствия детекции. За счет агрегации значений по видеоряду итоговый результат в меньшей степени зависит от одного случайного размытого или затемненного кадра.

Нормализация и формирование индекса подозрительности

Различные визуальные признаки имеют несопоставимые диапазоны и единицы измерения. Например, показатель резкости может принимать значения в десятки и сотни единиц, уровень шума – единицы, а плотность границ является относительной величиной. Поэтому перед агрегацией исходные показатели преобразуются в нормированные частные оценки E_i в диапазоне от 0 до 1.

В программной реализации используются три базовых типа преобразования. Если подозрительность увеличивается с ростом признака, применяется возрастающая линейная функция между мягким и жестким порогами. Если подозрительным является малое значение, используется обратная зависимость. Для характеристик, подозрительных только в определенном диапазоне, применяется диапазонная функция с центральной областью максимальной выраженности.

Таким образом, частная оценка E_i

$$E_i = N_i(x_i),\ 0 \le E_i \le 1$$

характеризует не абсолютное значение исходной метрики x_i, а степень выраженности соответствующего подозрительного проявления. Это позволяет сопоставлять признаки различной природы и объединять их в единой модели.

Итоговая оценка формируется как взвешенная сумма нормализованных признаков с последующей корректировкой на согласованные эвристические профили и вычисляется по формуле

$$S = clip(\Sigma\, w_i E_i + P,\ 0,\ S_max),$$

где E_i – нормализованная частная оценка признака, w_i – коэффициент его относительной значимости, P – корректирующая составляющая, определяемая сочетаниями признаков, а S_max – верхняя граница индекса. В текущем программном прототипе коэффициенты и пороговые значения задаются эвристически исходя из относительной диагностической значимости признаков. Они рассматриваются как параметры конкретной реализации, а не как статистически оптимальные универсальные значения.

Наибольший приоритет имеют несоответствие области лица окружению, устойчивые локальные покадровые артефакты и потеря локальных черт. Средний приоритет имеет контурная составляющая. Текстура, шум, симметрия и отдельные временные показатели имеют меньший вклад, поскольку сильнее зависят от освещения, сжатия, позы и особенностей съемки.

Дополнительные профили используются не как самостоятельные детекторы, а как правила интерпретации сочетаний признаков. В прототипе учитываются профили, соответствующие сглаженной маске, компактной подмене, контурной вставке, ореолу по границе лица, внутреннему шву в зоне лба и выраженной временной нестабильности.

На рис. 2 показано, что индекс подозрительности не формируется по одному изолированному параметру. В расчет поступают группы признаков, отражающие локальные артефакты лица, контурно-текстурные особенности, геометрическую стабильность, потерю локальных черт и техническое качество видеоряда. Правила интерпретации используются для перевода числового результата в уровень риска и текстовую рекомендацию.

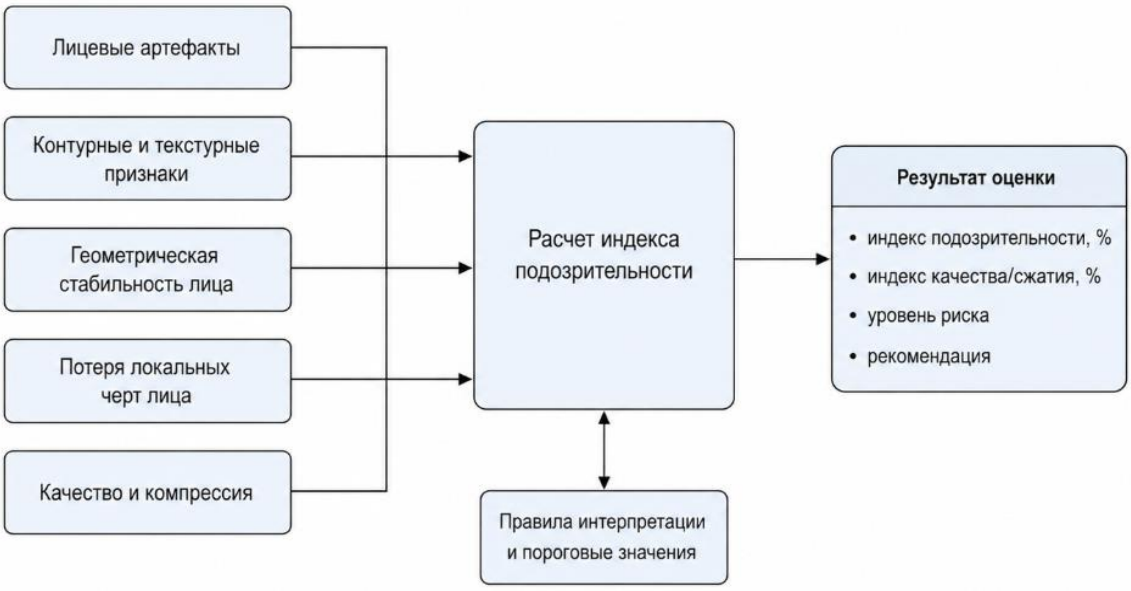


***Рис. 2**. Логическая модель формирования индекса подозрительности*

***Fig. 2**. Logical model of suspicion index formation*

Индекс подозрительности формируется на основе агрегированных признаков, рассчитанных по видеоряду. Методика не предполагает жесткого вывода «подлинно» или «подделка» по одному параметру. Вместо этого система оценивает несколько групп признаков и формирует итоговый числовой показатель. В табл. 2 приведены четыре диапазона интерпретации индекса подозрительности с процентами и уровни риска. Данная интерпретация индекса подозрительности реализована в разрабатываемой системе.

Таблица 2. Интерпретация индекса подозрительности

Table 2. Interpretation of the suspicion index

Диапазон, %	Уровень риска	Интерпретация
0–29	Низкий	Явные признаки модификации лица не обнаружены
30–44	Умеренный	Обнаружены отдельные слабые признаки
45–69	Средний	Рекомендуется дополнительная проверка
70–100	Высокий	Обнаружено устойчивое сочетание подозрительных признаков

Отдельно рассчитывается индекс качества/сжатия. Он отражает техническую деградацию видеопотока и учитывается при осторожной интерпретации результата, но не является частью понятия «вероятность deepfake».

Программная реализация системы

Программный прототип реализован как настольное приложение. Основная логика написана на языке C++, пользовательский интерфейс создан средствами Qt, а обработка видеопотока и изображений выполняется с использованием OpenCV[2].

Архитектура приложения построена по модульному принципу и включает пользовательский интерфейс, модуль загрузки файла, блок предварительной обработки кадров, модуль детекции лица, блок расчета визуальных признаков, модуль оценки риска и формирование итогового отчета. Анализ выполняется локально, без обращения к удаленным сервисам.

После выбора файла система получает разрешение, частоту кадров, общее количество кадров и длительность. Кадры выборочно извлекаются из видеопотока, при необходимости масштабируются и преобразуются в оттенки серого. После обнаружения лица рассчитываются локальные, структурные и временные показатели. По завершении анализа значения агрегируются и передаются в модуль формирования индекса.

Пользователь получает технические параметры файла, значения ключевых визуальных характеристик, индекс качества/сжатия, индекс подозрительности, уровень риска и текстовую рекомендацию. Предусмотрено сохранение отчета в TXT-файл, что позволяет документировать результаты анализа и использовать их при последующем сравнении.

Одним из практических преимуществ разработанного прототипа является небольшое время выполнения предварительного анализа. Система не выполняет сквозную нейросетевую классификацию каждого кадра: вычислительная нагрузка снижается за счет выборочной обработки видеоряда с целевой частотой около 5 кадров в секунду, уменьшения размера кадров перед анализом и использования относительно простых операций компьютерного зрения.

[2]OpenCV Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://docs.opencv.org/ (дата обращения: 16.06.2026).

Qt 6 Documentation. Qt Widgets [Электронный ресурс]. URL: https://doc.qt.io/qt-6/qtwidgets-index.html (дата обращения: 16.06.2026).

В ходе экспериментальных запусков обработка одного видеоролика из рассматриваемой выборки занимала порядка 10–15 с. Это позволяет использовать приложение для оперативной предварительной проверки видеоконтента на обычном персональном компьютере без необходимости выполнять ресурсоемкую классификацию полного видеоряда. Прямое контролируемое сравнение времени работы с конкретным нейросетевым deepfake-детектором в рамках настоящего исследования не проводилось, поскольку результат такого сравнения существенно зависит от архитектуры модели, параметров видео и аппаратной конфигурации.

На рис. 3 показан результат анализа оригинальной видеозаписи. Система обнаруживает лицо, отображает рассчитанные характеристики и формирует низкий уровень риска. На данном примере индекс подозрительности составляет 28 %, а индекс качества/сжатия – 25 %. Вывод сопровождается текстовой рекомендацией об отсутствии выраженных признаков модификации лица.

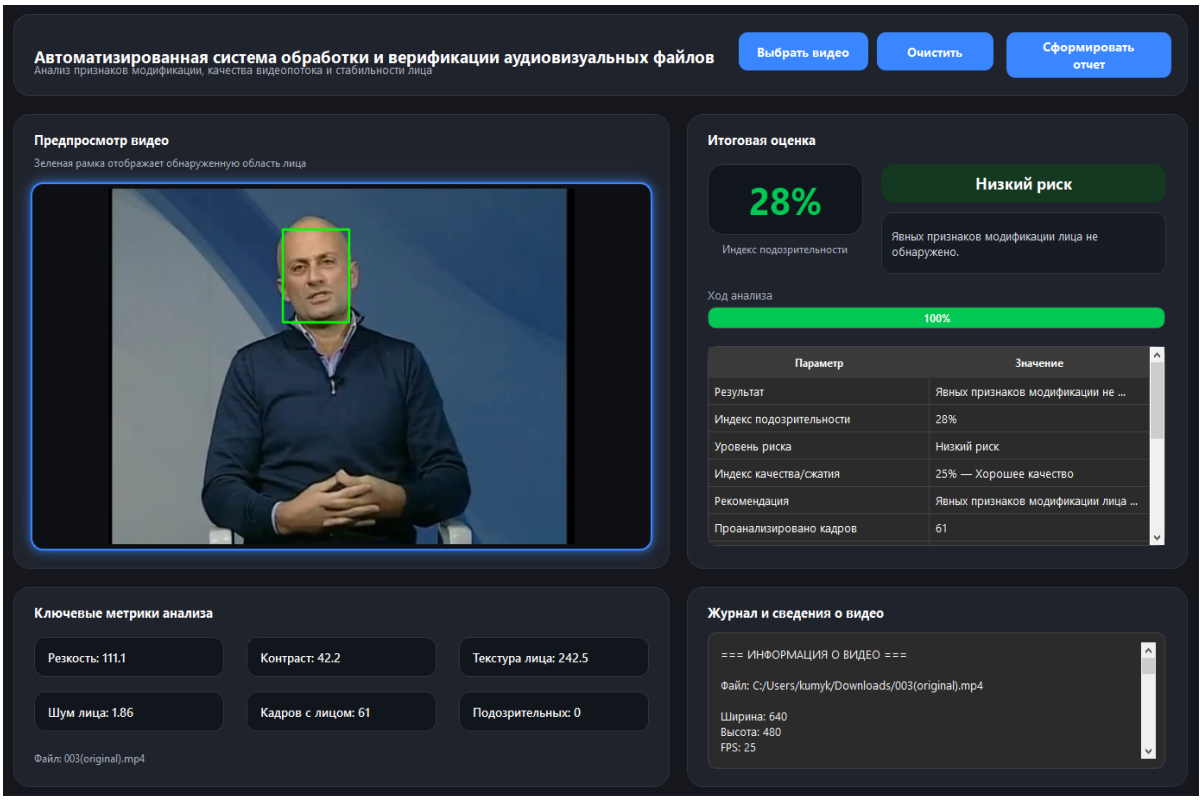


Рис. 3. *Результат анализа оригинальной видеозаписи*

Fig. 3. *Authentic video analysis result*

На рис. 4 приведен результат анализа deepfake-видеозаписи для сопоставимой сцены. В данном случае индекс подозрительности достигает 89 %, система относит результат к высокому уровню риска и указывает на наличие выраженных признаков возможной модификации лица. Одновременный вывод итоговой оценки и частных характеристик делает результат более интерпретируемым для пользователя.

Приведенные примеры иллюстрируют работу интерфейса и различие оценок для отдельных original- и deepfake-видео. Они не рассматриваются как самостоятельное подтверждение точности метода, количественная оценка работы прототипа по результатам экспериментальной проверки всей выборки приведена ниже.

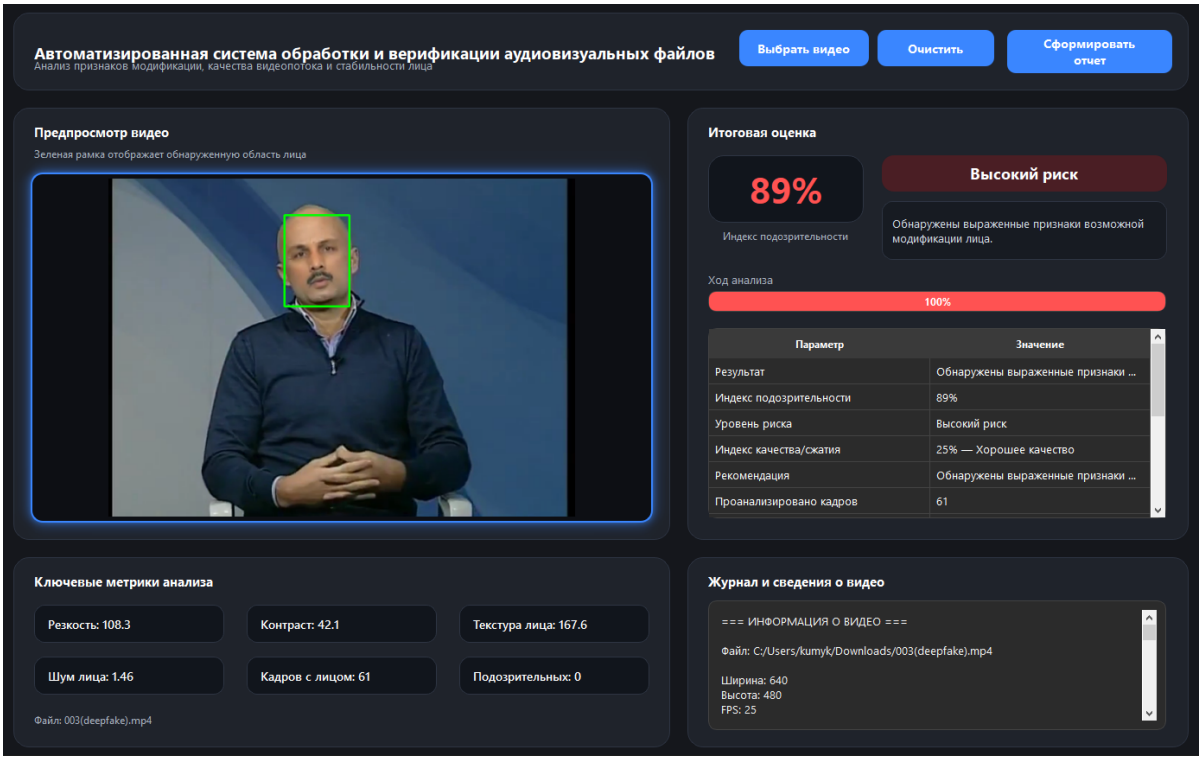


Рис. 4. *Результат анализа видеозаписи с deepfake-модификацией*

Fig. 4. *Deepfake-modified video analysis result*

Экспериментальная проверка

Экспериментальная проверка проводилась на 26 видеофайлах: 13 оригинальных и 13 deepfake-видеозаписях. Для уменьшения зависимости от одного источника в выборку были включены материалы из двух специализированных открытых наборов данных FaceForensics++ и Celeb-DF, а также двух дополнительных видеороликов с YouTube.

FaceForensics++ представляет собой данные для исследования манипуляций с лицом, построенный на исходных видеозаписях YouTube. В полном наборе исходные ролики модифицировались с использованием DeepFakes, Face2Face, FaceSwap и NeuralTextures и предоставлялись с различными уровнями компрессии, что делает набор полезным для анализа влияния кодирования на признаки подделки [12]. В экспериментальную выборку настоящей работы были включены 16 файлов FaceForensics++: 8 оригинальных и 8 deepfake-видео.

Celeb-DF ориентирован на более качественные deepfake-видео, в которых применена дополнительная обработка для уменьшения заметности типичных артефактов синтеза. Благодаря этому материалы данного набора сложнее для методов, основанных только на грубых визуальных дефектах, и позволяют проверить устойчивость эвристической системы к менее очевидным подделкам [13]. Из Celeb-DF были отобраны 8 файлов: 4 оригинальных и 4 deepfake-видео.

Дополнительно были использованы два публично доступных видеоролика YouTube – один оригинальный и один демонстрационный deepfake. Эти материалы не относятся к структурированным датасетам и были включены как внешние примеры для проверки поведения программы на видеоконтенте, полученном вне специализированных исследовательских коллекций.

Для каждого видео фиксировались истинный класс, рассчитанный индекс подозрительности, индекс качества/сжатия, уровень риска и итоговая интерпретация (рис. 5). Результаты разделялись на полностью верные, частично верные, спорные и ошибочные. Категория частично верных использовалась преимущественно для deepfake-видео, получивших средний риск: система обнаруживала подозрительные признаки и рекомендовала дополнительную проверку, но не формировала высокий риск.

№	Файл	Источник	Истинный класс	Индекс подозрительности, %	Индекс качества/сжатия, %	Уровень риска	Решение системы	Итог
1	original0.mp4	FaceForensics++	Original	13	25	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
2	deepfake0.mp4	FaceForensics++	Deepfake	82	25	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
3	original1.mp4	FaceForensics++	Original	21	15	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
4	deepfake1.mp4	FaceForensics++	Deepfake	77	15	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
5	original2.mp4	FaceForensics++	Original	28	25	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
6	deepfake2.mp4	FaceForensics++	Deepfake	89	25	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
7	original3.mp4	FaceForensics++	Original	63	25	Средний	требуется дополнительная проверка	ошибка
8	deepfake3.mp4	FaceForensics++	Deepfake	82	25	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
9	original4.mp4	FaceForensics++	Original	30	15	Умеренный	отдельные подозрительные признаки	спорный случай
10	deepfake4.mp4	FaceForensics++	Deepfake	74	15	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
11	original5.mp4	FaceForensics++	Original	14	50	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
12	deepfake5.mp4	FaceForensics++	Deepfake	90	50	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
13	original6.mp4	FaceForensics++	Original	26	33	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
14	deepfake6.mp4	FaceForensics++	Deepfake	75	33	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
15	original7.mp4	FaceForensics++	Original	19	15	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
16	deepfake7.mp4	FaceForensics++	Deepfake	79	15	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
17	original8.mp4	Celeb-DF	Original	22	15	Низкий	признаков модификации не выявлено	верно
18	deepfake8.mp4	Celeb-DF	Deepfake	67	15	Средний	требуется дополнительная проверка	частично верно
19	original9.mp4	Celeb-DF	Original	34	25	Умеренный	отдельные подозрительные признаки	спорный случай
20	deepfake9.mp4	Celeb-DF	Deepfake	52	25	Средний	требуется дополнительная проверка	частично верно
21	original10.mp4	Celeb-DF	Original	85	40	Высокий	выраженные признаки deepfake	ошибка
22	deepfake10.mp4	Celeb-DF	Deepfake	80	40	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно
23	original11.mp4	Celeb-DF	Original	55	50	Средний	требуется дополнительная проверка	ошибка
24	deepfake11.mp4	Celeb-DF	Deepfake	65	50	Средний	требуется дополнительная проверка	частично верно
25	Terminator 2 Judgement Day - Bar Scene	YouTube	Original	68	50	Средний	требуется дополнительная проверка	ошибка
26	Terminator 2 starring Sylvester Stallone [DeepFake]	YouTube	Deepfake	73	25	Высокий	выраженные признаки deepfake	верно

***Рис. 5**. Подробные результаты экспериментальной проверки системы*

***Fig. 5**. Detailed experimental testing results of the system*

Сводная таблица по результатам тестирования представлена ниже.

Результат проверки	Количество видео	Доля выборки
Верно	17	65,4 %
Частично верно	3	11,5 %
Спорный результат	2	7,7 %
Ошибка	4	15,4 %
Всего	26	100 %

Наиболее устойчиво система реагировала на видеоматериалы с выраженными локальными нарушениями: неестественным контуром лица, ореолом на границе области подмены, внутренним швом в зоне лба, маскообразностью, потерей деталей глаз, носа и рта, а также нестабильностью положения лица на последовательности кадров.

Более сложными оказались качественные deepfake-видео, в которых лицо хорошо согласовано с окружающим изображением и постобработка уменьшает выраженность локальных артефактов. В таких случаях система могла выдавать средний риск вместо высокого. Для оригинальных видеозаписей источниками ложных срабатываний становились сложное освещение, выраженные тени, высокая локальная детализация, низкое качество записи и сильная компрессия.

Для дополнительного анализа был рассчитан средний индекс подозрительности отдельно для двух основных классов (рис. 6). Для original-видео он составил 36,8 %, а для deepfake-видео – 75,8 %. Разница между средними значениями достигла 39 процентных пунктов, что показывает наличие общей тенденции к более высокой оценке подозрительности для deepfake-материалов в исследованной выборке.

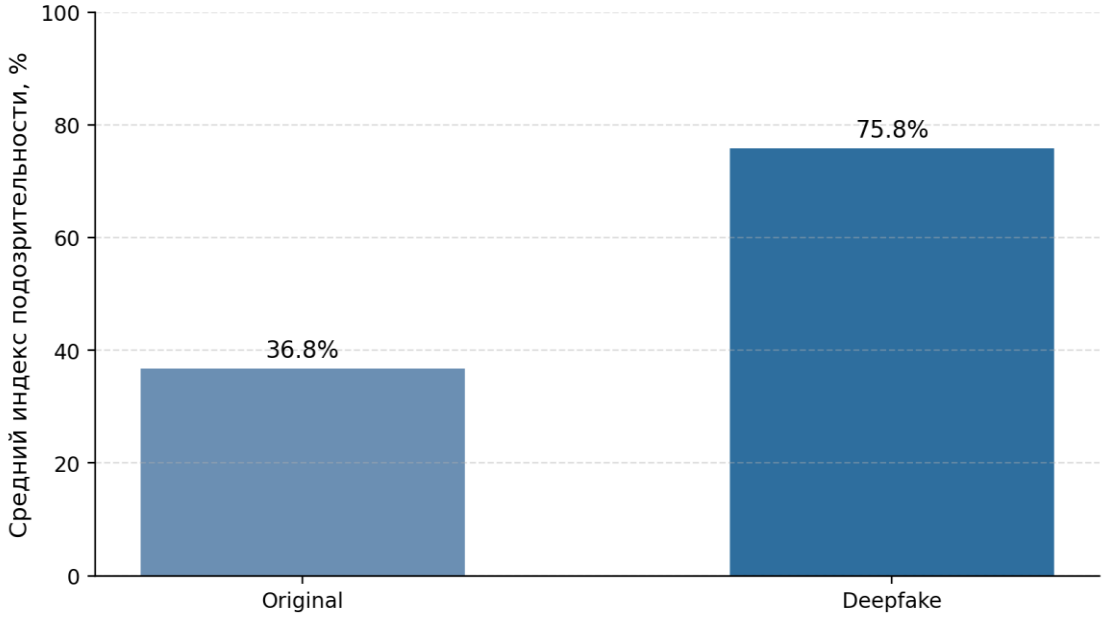


***Рис. 6**. Сравнение среднего индекса подозрительности для original- и deepfake-видео*

***Fig. 6**. Mean suspicion index comparison between authentic and deepfake videos*

Основным преимуществом предложенного подхода является сохранение связи между итоговым индексом и измеряемыми характеристиками изображения. При повышении

уровня риска можно определить, какие факторы оказали влияние: отличие лица от окружения, изменение текстуры, повышенная контурность, потеря локальных черт или временная нестабильность.

Другим практическим преимуществом является вычислительная эффективность. Для видео экспериментальной выборки время анализа составляло порядка 10–15 с. В сочетании с локальным выполнением и отсутствием необходимости в полном нейросетевом инференсе по каждому кадру это делает систему пригодной для быстрого первичного скрининга. При этом указанное время характеризует текущую реализацию и тестовые материалы и не рассматривается как универсальное преимущество по скорости относительно всех существующих нейросетевых решений.

Одновременно объяснимость достигается ценой ограниченной универсальности. Эвристические правила зависят от выбранных признаков, порогов и коэффициентов. По мере совершенствования генеративных алгоритмов часть визуальных артефактов становится менее выраженной, а естественные условия съемки могут имитировать отдельные подозрительные проявления.

Перспективным направлением является переход к гибридной модели. Уже рассчитываемые системой признаки могут использоваться как входной вектор для обучаемого классификатора, например логистической регрессии, метода опорных векторов или случайного леса. В таком случае сохраняется интерпретируемость исходных характеристик, а численные коэффициенты могут определяться по размеченной выборке.

Другим направлением развития является расширение экспериментального набора и его разделение на независимые подвыборки для настройки и проверки, а также анализ устойчивости к разным уровням компрессии и новым способам генерации. Дополнительно система может быть расширена анализом аудиодорожки, синхронизации движения губ и речи, метаданных и структуры мультимедийного контейнера.

Заключение

Разработана автоматизированная система предварительной верификации видеоконтента, основанная на анализе совокупности визуальных признаков кадра и области лица. Метод предусматривает выборочную покадровую обработку, обнаружение лица с использованием YuNet, расчет общих, локальных, структурных и временных характеристик, их нормализацию и последующую агрегацию в индекс подозрительности.

В переработанной модели расчета индекс описывается в общем виде как взвешенная сумма нормализованных частных оценок с дополнительной корректировкой по согласованным эвристическим профилям. Конкретные коэффициенты и пороги рассматриваются как параметры текущего программного прототипа и не заявляются как статистически оптимальные универсальные значения.

На основе предложенного подхода реализовано настольное приложение на C++ с использованием Qt и OpenCV. Экспериментальная проверка проведена на 26 видеозаписях. Из них 17 получили полностью верный результат, 3 – частично верный, 2 были отнесены к спорным и 4 – к ошибочным. Средний индекс подозрительности составил 75,8 % для deepfake-видео и 36,8 % для original-видео.

Полученные результаты подтверждают работоспособность подхода как средства предварительного анализа. К практическим особенностям прототипа относятся интерпретируемость результата, локальное выполнение и вычислительная эффективность. Дальнейшее развитие связано со статистической калибровкой параметров на расширенной независимой выборке, подключением обучаемого классификатора и развитием мультимодальной верификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Chakraborty T. et al. Ten years of generative adversarial nets (GANs): a survey of the state-of-the-art. *Machine Learning: Science and Technology. 2024*. Vol. 5(1). P. 011001. DOI: 10.1088/2632-2153/ad1f77

2. Ghiurău D., Popescu D.E. Distinguishing reality from AI: approaches for detecting synthetic content. *Computers.* 2024. Vol. 14(1). P. 1. DOI: 10.3390/computers14010001

3. Mirsky Y., Lee W. The creation and detection of deepfakes: a survey. *ACM Computing Surveys*. 2021. Vol. 54. No. 1. Article 7.

4. Soundarya B.C., Gururaj H.L. Deepfake detection: critical review of state-of-the-art approaches and future perspectives. *Discover Applied Sciences*. 2026. Vol. 8(2). P. 201. DOI: 10.1007/s42452-025-08174-9

5. Tolosana R., Vera-Rodriguez R., Fierrez J., Morales A., Ortega-Garcia J. Deepfakes and beyond: a survey of face manipulation and fake detection. *Information Fusion*. 2020. Vol. 64. Pp. 131–148.

6. Dolhansky B., Bitton J., Pflaum B. et al. The DeepFake Detection Challenge (DFDC) Dataset. arXiv:2006.07397. 2020.

7. Afchar D., Nozick V., Yamagishi J., Echizen I. MesoNet: A compact facial video forgery detection network. *IEEE International Workshop on Information Forensics and Security*. 2018.

8. Nguyen H.H., Yamagishi J., Echizen I. Use of a capsule network to detect fake images and videos. arXiv:1910.12467. 2019.

9. Verdoliva L. Media forensics and deepfakes: an overview. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*. 2020. Vol. 14. No. 5. Pp. 910–932.

10. Thies J., Zollhofer M., Stamminger M. et al. Face2Face: Real-time face capture and reenactment of RGB videos. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2016. Pp. 2387–2395.

11. *Гонсалес Р. С., Вудс Р. Е.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.

Gonzalez R.S., Woods R.E. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing]. Moscow: Tekhnosfera, 2012. 1104 p. (In Russian)

12. Rana P. et al. Optimizing deepfake detection transformer on FaceForensics++: A hyperparameter grid search study. 2026 2nd International Conference on Big Data & Machine Learning (ICBDML). *IEEE,* 2026. Pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICBDML68582.2026.11544685

13. Li Y., Yang X., Sun P., Qi H., Lyu S. Celeb-DF: A Large-scale Challenging Dataset for DeepFake Forensics. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2020. Pp. 3207–3216.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИИПРУ КБНЦ РАН (тема № 125032004242-7)

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for IIPRU KBSC RAS (Project No. 125032004242-7).

Информация об авторах

Кумыков Азамат Зурикоевич, ст. исследователь лаборатории «Нейрокогнитивные интеллектуальные информационно-интегрированные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

kumykov.a@list.ru

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. отделом «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-код: 3535-2963

Information about the authors

Azamat Z. Kumykov, Senior Researcher, Laboratory of Neurocognitive Intelligent Information-Integrated Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

kumykov.a@list.ru

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department Multi-Agent Systems, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-code: 3535-2963

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.62 + 336.7 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-214-229
KNVURV

Применение метода сингулярного разложения для сегментации клиентов на основе транзакционных данных на примере рынка Индии

В. В. Набатчиков

Российский государственный социальный университет
129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1

Аннотация. Методы снижения размерности, такие как сингулярное разложение (SVD), хорошо разработаны теоретически, но недостаточно освещены в прикладном контексте анализа транзакций.

Цель исследования – разработка и апробация методологии анализа структуры кредитных транзакций на основе сингулярного разложения (SVD) для выявления латентных факторов транзакционного поведения и построения поведенческих сегментов клиентов.

Научная новизна заключается в разработке комплексного аналитического пайплайна, адаптирующего математический аппарат SVD к задаче извлечения интерпретируемых бизнес-инсайтов из транзакционных данных развивающегося рынка, включая алгоритмическую географическую консолидацию, автоматизированный выбор размерности латентного пространства и триангуляцию выводов через анализ нагрузок, визуализацию и кластеризацию.

Методология включает географическую консолидацию высококардинальных категориальных признаков, извлечение временных производных, one-hot кодирование, снижение размерности методом TruncatedSVD с автоматизированным выбором числа компонент на основе порога объясненной дисперсии (70 %), анализ матрицы нагрузок для содержательной интерпретации латентных факторов, оценку совокупной важности признаков как суммы абсолютных нагрузок по всем отобранным компонентам и кластеризацию *K*-means в пространстве латентных переменных с построением профилей сегментов. Исследование выполнено на примере развивающегося индийского рынка.

Результаты. Кластеризация выявила четыре устойчивых сегмента клиентов, различающихся комбинациями используемых типов карт при практически идентичных средних чеках и демографических характеристиках. После этапа предобработки, включавшего географическую консолидацию и кодирование категориальных признаков, размерность данных была снижена с 26 до 14 латентных компонент. Данное сжатие на 46,2 % сохранило 70,4 % исходной дисперсии. Анализ компонент выявил три ключевых фактора, структурирующих транзакционное пространство: временные паттерны (18,3 % дисперсии), географическое распределение (6,1 %) и тип используемой карты (10,3 %).

Выводы. Практическая значимость подтверждается тем, что предложенный подход позволяет выявлять поведенческие сегменты клиентов, не обнаруживаемые при стандартном демографическом или финансовом анализе, и создает основу для таргетированных маркетинговых стратегий и систем мониторинга аномалий.

Ключевые слова: сингулярное разложение (SVD), снижение размерности, кредитные транзакции, анализ данных, машинное обучение, сегментация клиентов, финансовые данные.

Поступила 15.05.2026, одобрена после рецензирования 08.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

© Набатчиков В. В., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Для цитирования. Набатчиков В. В. Применение метода сингулярного разложения для сегментации клиентов на основе транзакционных данных на примере рынка Индии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 214–229. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-214-229

MSC: 68T09, 62H30, 62H25 Original article

Applying singular value decomposition to customer segmentation using transactional data in the Indian market

V.V. Nabatchikov

Russian State Social University
4, Wilhelm Pieck street, building 1, Moscow, 129226, Russia

Abstract. Dimensionality reduction methods, such as Singular Value Decomposition (SVD), are theoretically well-developed but remain insufficiently covered in the applied context of transaction analysis.

Aim. The objective of this study is to develop and validate a methodology for credit transaction structure analysis based on Singular Value Decomposition (SVD) to identify latent transactional behavior factors and construct behavioral customer segments.

The research novelty consists in designing a comprehensive analytical pipeline that applies SVD to extract interpretable business insights from emerging market transaction records, which involves algorithmic geographical consolidation, automated latent space dimensionality determination, and findings triangulation based on loadings analysis, visualization, and clustering.

The methodology involves geographical consolidation of high-cardinality categorical features, extraction of time-derived variables, one-hot encoding, dimensionality reduction via TruncatedSVD with automated component count selection based on a 70% explained variance threshold, loading matrix analysis for substantive latent factor interpretation, evaluation of cumulative feature importance as the sum of absolute loadings over all selected components, and K-means clustering in the latent variable space followed by segment profiling. The research is based on the case of the emerging Indian market.

Results. The clustering process identified four stable customer segments characterized by distinct combinations of card types, while showing nearly identical average checks and demographic traits. After the preprocessing step involving geographic consolidation and encoding of categorical features, we reduced the data dimensionality from 26 to 14 latent components. This 46.2 % data compression preserved 70.4 % of the initial variance. The factor analysis identified three main components structuring the transaction space: time-based patterns (18.3 % variance), geographic distribution (6.1 %), and card type usage (10.3 %).

Conclusions. The practical implications are demonstrated by the proposed approach's ability to uncover behavioral customer segments that remain hidden during conventional demographic or financial analysis, thus establishing a framework for targeted marketing and anomaly detection systems.

***Keywords**:* singular value decomposition (SVD), dimensionality reduction, credit transactions, data mining, machine learning, customer segmentation, financial data

Submitted 15.05.2026, approved after reviewing 08.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Nabatchikov V.V. Applying singular value decomposition to customer segmentation using transactional data in the Indian market. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 214–229. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-214-229

© Nabatchikov V.V., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Введение

Анализ транзакционных данных кредитных карт требует обработки многомерных массивов, содержащих категориальные, временные и числовые признаки. Их прямое использование для моделирования затруднено высокой размерностью и разреженностью после необходимого кодирования. Задача выявления латентных структур в таких данных, особенно на динамичных развивающихся рынках, остается актуальной.

В современной литературе методы снижения размерности, такие как сингулярное разложение (SVD), хорошо разработаны теоретически, но недостаточно освещены в прикладном контексте анализа транзакций. Отсутствуют комплексные методики, переводящие результаты разложения в интерпретируемые бизнес-инсайты для сегментации клиентов.

Целью данного исследования является разработка и апробация сквозного аналитического пайплайна на основе TruncatedSVD для обработки, снижения размерности и содержательного анализа массива индийских кредитных транзакций.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Комплексная предобработка данных с географической консолидацией.
2. Применение TruncatedSVD с автоматическим подбором числа компонент.
3. Интерпретация латентных компонент и оценка их информативности через кластеризацию.
4. Сравнение результатов с методом главных компонент (PCA).

1. Обзор современных методов снижения размерности в контексте анализа финансовых данных

Задача снижения размерности является фундаментальной проблемой анализа многомерных данных, заключающейся в отображении исходного пространства признаков в пространство меньшей размерности с сохранением максимального объема информации. В контексте обработки финансовых данных, особенно транзакционных записей, данная задача приобретает особую актуальность из-за большого количества категориальных признаков, которые после one-hot кодирования порождают разреженные матрицы высокой размерности. Это создает условия для «проклятия размерности»: экспоненциального роста объема пространства признаков, ухудшения обобщающей способности моделей, роста вычислительной сложности и затруднения визуализации данных [2]. При этом понижение размерности позволяет сократить вычислительные затраты, однако его результативность существенно зависит от структуры данных и решаемой задачи, что обосновывает необходимость предварительного анализа целесообразности применения подхода, в том числе и для транзакционных данных финансового сектора [1].

Методы снижения размерности делятся на линейные и нелинейные, а также на ориентированные на визуализацию или на построение прогнозных моделей. Линейные методы предполагают линейную связь между исходными и латентными переменными. Центральное место здесь занимает метод главных компонент (PCA), который осуществляет ортогональное преобразование исходных признаков в некоррелированные главные компоненты, упорядоченные по вкладу в дисперсию [3]. В финансовой аналитике PCA применяется для факторных моделей, выделения источников риска и удаления мультиколлинеарности, однако интерпретация компонент, полученных из сотен бинарных признаков, затруднена.

Более общим подходом, не требующим предварительного вычисления ковариационной матрицы, является сингулярное разложение (Singular Value Decomposition, SVD). Любую вещественную матрицу данных X размерности $n \times m$ можно представить в виде произведения трех матриц: $X = U\Sigma V^T$, где U и V – ортогональные матрицы левых и правых сингулярных векторов соответственно, а Σ – диагональная матрица, элементы которой представляют собой сингулярные числа, упорядоченные по убыванию [4]. Столбцы матрицы V

задают направления максимальной дисперсии в пространстве признаков. Для задач снижения размерности используется усеченная версия разложения (Truncated SVD), сохраняющая только первые k сингулярных чисел и соответствующих сингулярных векторов [5]. В случае центрированных данных результаты Truncated SVD и PCA совпадают с точностью до постоянного множителя. Ключевым преимуществом SVD является возможность его эффективного применения к разреженным данным, что характерно для транзакционных матриц после кодирования категориальных признаков. В финансовой сфере SVD находит применение в алгоритмах коллаборативной фильтрации для построения рекомендательных систем, в анализе семантики текстовых данных (например, новостных лент) и выявлении латентных факторов в динамике временных рядов.

В отличие от линейных методов нелинейные методы снижения размерности не накладывают ограничения линейности на зависимость между исходными и редуцированными признаками [6]. К данному классу относятся такие алгоритмы, как t-распределенное стохастическое вложение соседей (t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding, t-SNE) и равномерное приближение и проекция многообразия (Uniform Manifold Approximation and Projection, UMAP). Эти методы ориентированы прежде всего на визуализацию высокоразмерных данных посредством сохранения локальных структур или топологических свойств исходного пространства. В финансовых приложениях они используются для визуального обнаружения кластеров, аномалий и паттернов мошеннической активности. Однако стохастическая природа этих алгоритмов, высокая вычислительная сложность и непригодность полученных низкоразмерных представлений для последующего моделирования ограничивают их применение в операционных аналитических системах.

Отдельную категорию составляют методы, основанные на искусственных нейронных сетях, в частности автоэнкодеры (Autoencoders). Автоэнкодер представляет собой нейросетевую архитектуру, состоящую из энкодера, который отображает входные данные в скрытое представление меньшей размерности, и декодера, восстанавливающего исходные данные по этому представлению [7]. Обучение сети направлено на минимизацию ошибки реконструкции. Вариационные автоэнкодеры (Variational Autoencoders, VAE) дополнительно накладывают априорное распределение на латентное пространство. Нейросетевые подходы демонстрируют высокую эффективность в задачах обнаружения аномалий в финансовых операциях за счет способности моделировать сложные нелинейные зависимости. Основными ограничениями являются требование к большим объемам данных для обучения, высокая вычислительная стоимость, а также сложность интерпретации внутренних представлений модели, что снижает доверие к таким системам в регулируемой финансовой сфере.

В индустрии кредитных карт наблюдается устойчивый переход от традиционной демографической сегментации к поведенческой и психографической [12]. Как отмечает Krishnan (2024) в своем комплексном обзоре, современные подходы, основанные на анализе транзакционного поведения, позволяют выделять группы клиентов с разными стилями использования платежных инструментов, что напрямую влияет на эффективность кросс-продаж и удержание клиентов. При этом обзор подчеркивает, что наиболее перспективными являются методы, сочетающие снижение размерности с последующей кластеризацией [15]. Этот вывод согласуется с результатами практического проекта SegmentSense (2024), в котором выполнено сопоставление PCA и автоэнкодеров в задаче банковской сегментации: при умеренных объемах данных и необходимости интерпретации результатов линейные методы обеспечивают качество сегментации, сопоставимое с нейросетевыми подходами, при значительно меньших вычислительных затратах [17]. Данное обстоятельство служит дополнительным аргументом в пользу выбора TruncatedSVD в качестве базового метода в настоящем исследовании.

Анализ литературы выявляет методологические пробелы. Во-первых, недостаточно работ по систематическому сравнению методов снижения размерности для сегментации клиентов на основе транзакций. Во-вторых, слабо освещена интерпретация латентных компонент в предметной области финансов, что мешает их практическому использованию. В-третьих, отсутствуют комплексные методологии, охватывающие весь цикл – от предобработки неоднородных данных до извлечения проверяемых инсайтов.

Настоящее исследование направлено на устранение этих пробелов. В качестве базового метода выбрано сингулярное разложение благодаря его эффективности, работе с разреженными данными, детерминированности и потенциальной интерпретируемости. Цель следующего раздела – разработка методологии, превращающей математический аппарат SVD в инструмент для содержательных выводов о поведении держателей кредитных карт на развивающемся рынке.

2. Методология исследования

В качестве эмпирической базы использован публичный датасет «Credit Card Transactions – India», содержащий 26 052 анонимизированные записи транзакций по кредитным картам. Каждая запись включает семь атрибутов: город, дату, тип карты, тип расхода, пол и сумму. Признак «Город» содержит 986 уникальных значений, что при прямом one-hot кодировании привело бы к чрезмерной разреженности, поэтому для него была проведена географическая консолидация. Признак «Тип расхода» (шесть категорий) исключен из анализа для фокусировки на демографических, географических и временных паттернах, а также для сопоставимости с рядом работ, использующих тот же датасет.

На первом этапе для признака «Город» реализована алгоритмическая группировка: крупные города идентифицировались по ключевым словам, остальные локации отнесены к категории «Other». В результате получено 16 региональных категорий, при этом категория «Metro» составила 52,3 % записей.

Вторым этапом выполнено преобразование временных признаков. Атрибут «Дата» (формат «день-месяц-год») преобразован в тип datetime, из которого извлечены числовые признаки: месяц, день месяца, день недели, квартал и порядковый номер дня в году. На основе дня недели создан бинарный признак «IsWeekend» (1 для субботы и воскресенья). Эти производные позволяют алгоритмам учитывать циклические и календарные паттерны поведения.

Третий этап включал кодирование категориальных переменных и масштабирование числовых. Категориальные признаки – «Тип карты» (4 значения), «Пол» (2) и созданный «Регион» (16) – преобразованы one-hot кодированием с отбрасыванием первого уровня для избежания мультиколлинеарности. Числовые признаки (сумма транзакции и все временные производные) стандартизированы методом StandardScaler. Итоговая матрица признаков для обучения содержит 26 столбцов: 7 числовых и 19 бинарных.

Для решения задачи снижения размерности был применен алгоритм Truncated Singular Value Decomposition (TruncatedSVD) [3]. Использована реализация из библиотеки scikit-learn (sklearn.decomposition.TruncatedSVD) с установкой алгоритма 'randomized', оптимизированного для работы с разреженными матрицами. Входными данными для алгоритма служила стандартизированная матрица $X_{\text{scaled}} \in R^{n \times m}$, где n = 20841 (число наблюдений в обучающей выборке), m = 26 (число признаков). Алгоритм строит аппроксимацию исходной матрицы в виде $X_{\text{scaled}} \approx U_k \Sigma_K V_k^T$, где k – заданное число компонент, $V_k \in R^{m \times k}$ – матрица правых сингулярных векторов (нагрузок), $\Sigma_K \in R^{k \times k}$ – диагональная матрица сингулярных чисел, $U_k \in R^{n \times k}$ – матрица проекций данных в новое пространство. Проекции вычисляются как $X_{svd} = X_{\text{scaled}} V_k$.

Ключевым параметром алгоритма является число сохраняемых компонент *k.* В исследовании применялся итеративный подход к его выбору. Для каждого кандидатного значения *k* из диапазона от 2 до минимального значения между количеством признаков и количеством наблюдений производилось обучение модели TruncatedSVD. Для каждой обученной модели вычислялась кумулятивная объясненная дисперсия по формуле

$$Explained\ Variance(k) = \frac{\Sigma_{i=1}^{k} \delta_i^2}{\Sigma_{i=1}^{r} \delta_i^2},$$

где δ_i – сингулярные числа, r – ранг матрицы. В качестве оптимального значения k_{opt} было выбрано минимальное k, для которого выполнялось условие Explained Variance (k) $\geq 0{,}7$. Выбор порога в 70 % обусловлен двумя соображениями. Во-первых, в задачах кластеризации и визуализации эмпирически рекомендуется сохранять 70–80 % исходной дисперсии, чтобы избежать включения шумовых компонент [13, 14]. Во вторых, анализ прироста кумулятивной дисперсии при увеличении числа компонент показывает, что после k = 14 добавление каждой следующей компоненты дает менее 2 % дополнительной дисперсии, что свидетельствует о быстром затухании информативности оставшихся направлений. Таким образом, порог 70 % обеспечивает баланс между компактностью представления и сохранением основных структурных паттернов для последующей кластеризации.

Для интерпретации полученных латентных компонент проводился анализ матрицы нагрузок V_k. Для каждой i-й компоненты (i = 1, ..., k_{opt}) из матрицы V_k извлекался соответствующий вектор весов $v_i \in R^m$. Затем для каждого вектора определялись индексы пяти исходных признаков с наибольшими абсолютными значениями весов $|v_{i,j}|$. Эти признаки формировали смысловое ядро компоненты и использовались для ее содержательного наименования (например, «временной фактор» или «фактор типа карты»).

Для валидации практической полезности низкоразмерного представления применялась кластеризация K-means [11] в пространстве первых двух SVD-компонент ($X_{svd}\, X_{svd}$), объясняющих 18,3 % дисперсии. Число кластеров установлено равным 4. Для каждого кластера вычислены агрегированные статистики (средняя сумма транзакции, модальный тип карты, распределение по регионам). Устойчивость и содержательная различимость кластеров рассматривались как свидетельство выделения существенных латентных факторов.

В качестве дополнительного метода верификации было проведено сравнение с классическим методом главных компонент (PCA). На той же обучающей выборке X_{scaled} был обучен PCA с числом компонент, равным k_{opt}. Сравнение проводилось по двум метрикам: общая объясненная дисперсия и время обучения модели. Полное соответствие значения объясненной дисперсии подтвердило корректность реализации и теоретическую эквивалентность подходов для центрированных данных.

Весь пайплайн – от загрузки данных до построения графиков – собран на Python с использованием pandas 2.1.0, scikit-learn 1.3.0, NumPy 1.24.0 и Matplotlib 3.7.0. Чтобы результаты можно было воспроизвести, на всех этапах (разделение выборки, SVD, K-means) задавалось фиксированное значение random_state.

Вклад каждого исходного признака в латентное пространство мы оценивали по сумме абсолютных нагрузок на все k_{opt} компонент. У такого подхода есть особенность: в отличие от взвешивания нагрузок по доле объясненной дисперсии, здесь все компоненты выступают равноправными осями общего базиса. Это важно – иначе из анализа выпадают минорные компоненты, в которых доля дисперсии невелика, зато может скрываться существенная информация о малых, но содержательно интересных группах клиентов.

3. Результаты экспериментального исследования

Применение методологии к массиву индийских кредитных транзакций позволило получить ряд количественных и качественных результатов. На этапе предобработки исходный набор из семи признаков преобразован в матрицу размерности 26, включающую семь числовых признаков (сумма транзакции и шесть временных производных) и 19 бинарных индикаторов, полученных one-hot кодированием типа карты, пола и региона. Данные разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80/20 со стратификацией.

Ключевым результатом снижения размерности стала зависимость кумулятивной объясненной дисперсии от числа компонент k. При $k = 2$ дисперсия составила 18,3 %, при $k = 5$ – 34,7 %, при $k = 10$ – 54,9 %. Установленный порог в 70 % достигнут при $k = 14$ (70,4 %), при $k = 15$ значение выросло до 74,3 %. Таким образом, оптимальным числом компонент выбрано $k_{opt} = 14$, что позволяет описать 70 % изменчивости исходных 26 признаков с помощью 14 латентных переменных (рис. 1). Степень сжатия признакового пространства составила 46,2 %. Проекция данных осуществлялась умножением стандартизированной матрицы X_{scaled} на матрицу нагрузок V_{14}, извлеченную из усеченного сингулярного разложения:

$$X_{svd} = X_{scaled} \times V_{14}.$$

Анализ матрицы нагрузок V размерностью 26×14 позволил оценить вклад каждого исходного признака в новое латентное пространство. Для этого был вычислен вектор суммарной важности признаков как сумма абсолютных значений нагрузок по всем 14 компонентам:

$$importance_j = \sum_{i=1}^{14} |v_{i,j}|,$$

где $j = 1,2,\ldots,26$ – индекс исходного признака, $v_{i,j}$ – нагрузка j-го признака на i-ю сингулярную компоненту.

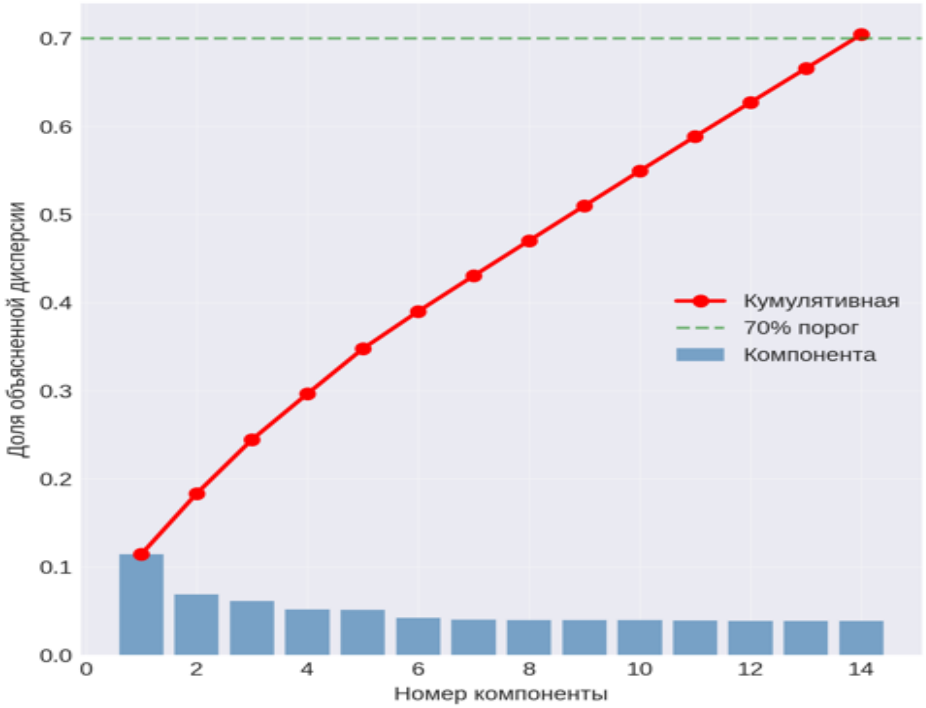


***Рис. 1**. Объясненная дисперсия SVD-компонент*

***Fig. 1**. SVD components explained variance plot*

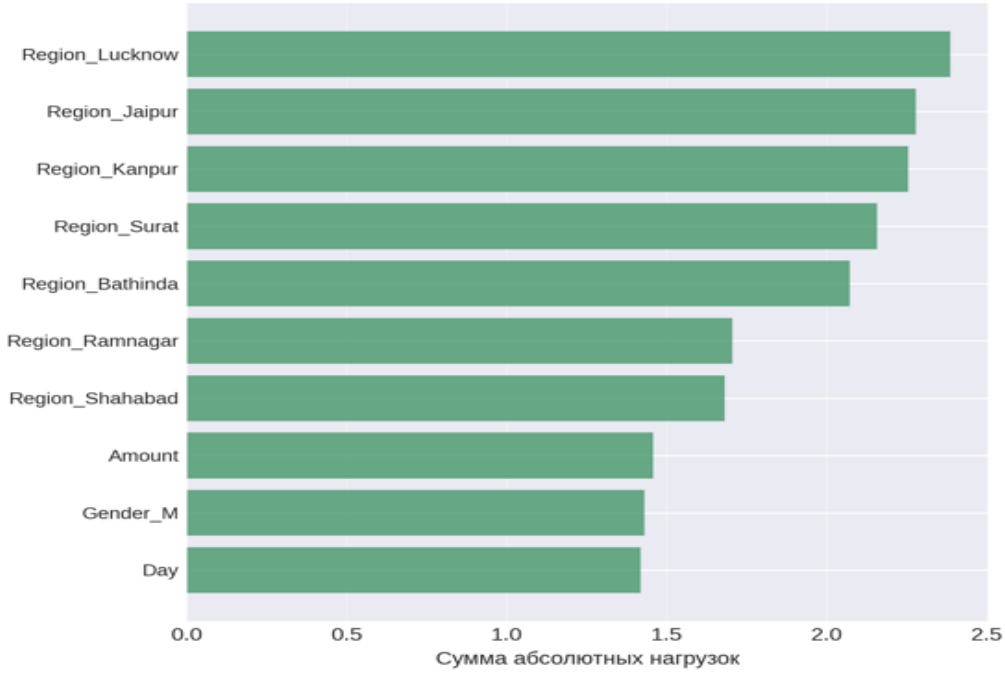


***Рис. 2**. Топ-10 самых важных признаков / **Fig. 2**. Top 10 most important features*

Ранжирование признаков по убыванию данного показателя выявило переменные с наибольшей совокупной нагрузкой на отобранный 14-мерный латентный базис. Первые три позиции заняли признаки, связанные с регионом: Region_Lucknow (важность 2,3855), Region_Jaipur (2,2786) и Region_Kanpur (2,2547). На четвертом и пятом местах также оказались региональные индикаторы Region_Surat (2,1569) и Region_Bathinda (2,0719). Числовой признак Amount занял восьмое место с важностью 1,4580 (рис. 2). Поскольку все 14 компонент, объясняющих в совокупности 70,4 % дисперсии, рассматриваются как единый аналитический базис, для оценки совокупного участия признака в его формировании используется сумма абсолютных нагрузок без взвешивания на долю объясненной дисперсии. Такая схема дает возможность зафиксировать вклад признака в том числе и в минорные компоненты – а они могут хранить важную информацию о небольших, но значимых группах клиентов. Распределение получается красноречивым: наибольшую совокупную нагрузку в латентном базисе несут именно географические индикаторы – выше, чем сумма транзакции. Получается, что смысловую структуру латентного пространства задают в первую очередь региональные факторы, а не финансовые. С практической точки зрения это полезный ориентир: при построении прогнозных моделей в первую очередь имеет смысл опираться именно на эти признаки. По нагрузкам первых пяти компонент удалось дать каждой из них содержательное название. На первой компоненте (11,43 % дисперсии) собрались временные признаки – DayOfYear, Month, Quarter; это явно сезонный фактор. Вторая компонента (6,90 %) формируется признаками дня недели – DayOfWeek и IsWeekend – и по сути разделяет рабочие дни и выходные. Компонента 3 (6,13 %) противопоставляет регионы Metro и Other, выступая фактором урбанизации. Компонента 4 (5,20 %) связана с использованием карт Silver (положительная нагрузка) и отрицательными нагрузками на Platinum и Signature, что идентифицирует ее как фактор типа карты (рис. 3). Компонента 5 (5,11 %) дополнительно сегментирует клиентов по премиальности карт (Signature против Platinum).

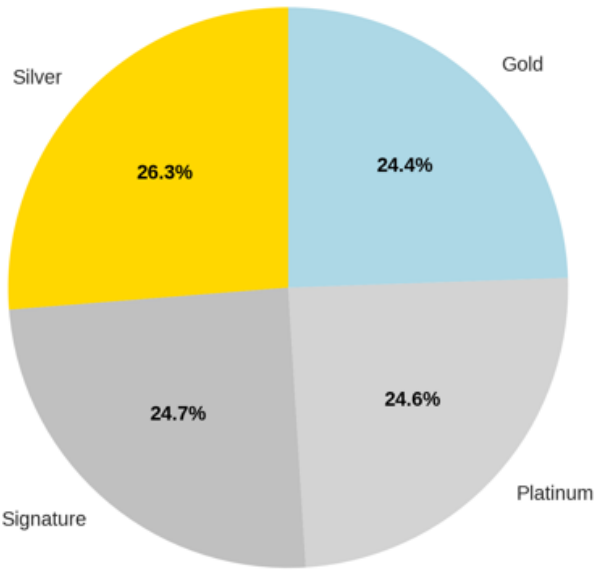


Рис. 3. *Распределение по типам карт* / ***Fig. 3***. *Card type distribution plot*

Для верификации практической ценности низкоразмерного представления был проведен кластерный анализ методом *K*-means в пространстве первых двух SVD-компонент. Оптимальное число кластеров определялось двумя способами: визуально по графику «локтя» (зависимость инерции от числа кластеров) и расчетом коэффициента силуэта для k от 2 до 6. График инерции показывает излом при $k = 4$, а значения коэффициента силуэта составили: для $k = 2$ – 0,6285, для $k = 3$ – 0,5888, для $k = 4$ – 0,5708, для $k = 5$ – 0,5612, для $k = 6$ – 0,5558. Максимальный силуэт достигается при $k = 2$, однако четыре кластера обеспечивают наилучшую содержательную интерпретацию при сохранении высокого качества (силуэт >0,5). Таким образом, выбор четырех кластеров является компромиссом между статистической оптимальностью и практической значимостью сегментов. Результаты кластеризации (табл. 1) демонстрируют формирование четырех статистически различимых сегментов клиентов.

Таблица 1. Профили кластеров, выделенных методом *K*-means в пространстве SVD

Table 1. Cluster profiles obtained via K-means in SVD space

Параметр	**Кластер 0**	**Кластер 1**	**Кластер 2**	**Кластер 3**
Размер (абс., %)	8016 (38,5)	6783 (32,5)	3211 (15,4)	2831 (13,6)
Ср. сумма (₹)	156 507	155 964	158 298	155 541
Доминирующие типы карт (топ-2), %	Silver (27) Platinum (25)	Signature (25) Silver (25)	Silver (27) Gold (25)	Silver (27) Signature (25)
Доля мужчин, %	47	47	49	48
Преобладающий регион	Metro	Metro	Metro	Metro

Для количественной оценки устойчивости полученной кластеризации были вычислены три стандартные метрики: коэффициент силуэта, индекс Калински–Харабаса и индекс Дэвиса–Болдина. Для выбранного разбиения на 4 кластера значения составили: силуэт равен 0,5708, индекс Калински–Харабаса равен 103933,24, индекс Дэвиса–Болдина равен 0,5025. Эти показатели свидетельствуют о хорошей разделимости кластеров (значение силуэта выше 0,5 указывает на выраженную структуру, индекс Дэвиса–Болдина ниже 1 – на компактность кластеров). Таким образом, выделенные сегменты являются статистически устойчивыми и не являются артефактом выбора алгоритма.

Для статистической проверки значимости различий между кластерами был проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для средней суммы транзакции и тест хи-квадрат (χ^2) для распределения типов карт. ANOVA показал, что различия в сумме между кластерами статистически значимы ($F = 72{,}0465$, $p < 0{,}001$). Тест χ^2 для распределения типов карт также подтвердил высокую значимость различий ($p < 0{,}001$). Таким образом, кластеры различаются как по финансовому показателю (сумма транзакции), так и по поведенческому признаку (тип карты), что согласуется с содержательной интерпретацией латентных факторов, выделенных методом SVD.

Ключевым результатом является отсутствие значимой дифференциации кластеров по базовым финансовым и демографическим признакам. По средним суммам транзакций (155 541 – 158 298 ₹), гендерному составу (порядка 47–49 % мужчин) и региональному распределению (доминирует «Metro») группы между собой почти не различаются. А вот по тому, какими типами карт пользуются клиенты, различаются заметно.

В каждом кластере своя характерная пара наиболее частотных типов карт: например, Silver+Platinum в нулевом кластере и Silver+Signature в третьем. Это означает, что SVD-компоненты подхватили не явные характеристики транзакций, а скрытые поведенческие паттерны – то, как именно клиенты выбирают между разными финансовыми продуктами. Кластерный анализ показывает, что методология на основе SVD действительно позволяет уйти от работы с исходными признаками и выйти на уровень устойчивых поведенческих типов клиентов. При обычном анализе эти сегменты остались бы незамеченными, а они вполне могут стать опорой для персонализированного маркетинга и адресных финансовых предложений.

На проекции данных в плоскость первых двух SVD-компонент (цвет точки кодирует сумму транзакции) никакой явной зависимости между координатами и суммой не видно – транзакции разных номиналов размазаны по всему пространству равномерно (рис. 4). С нашим рейтингом важности это согласуется: Amount там оказался лишь восьмым. Получается, что структуру латентного пространства в этой задаче задает точно не сумма транзакции.

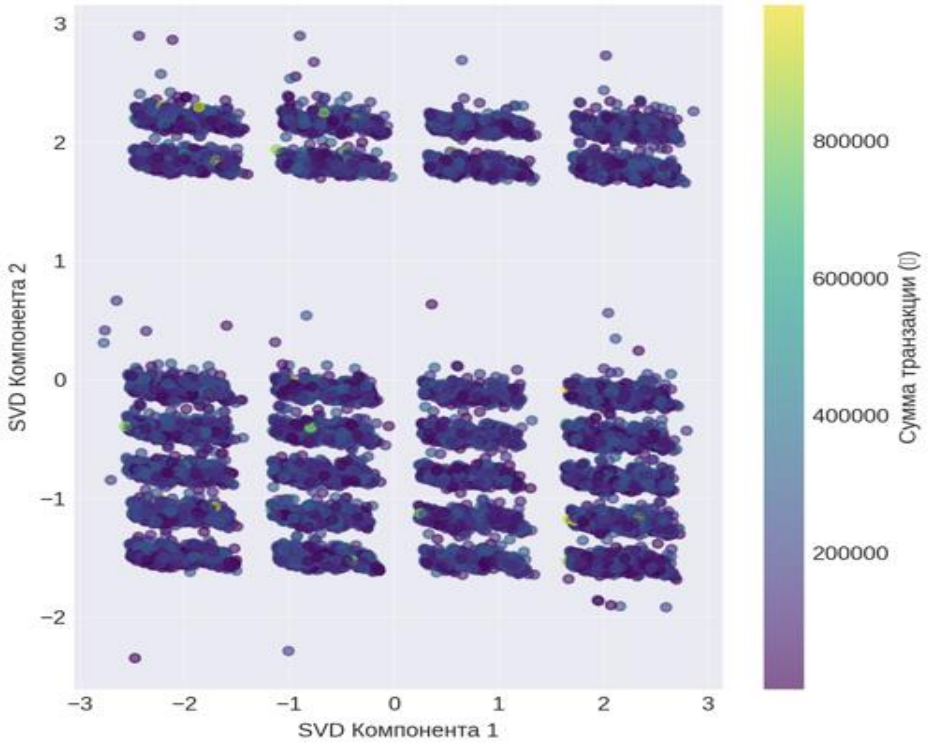


***Рис. 4**. Первые 2 SVD-компоненты / **Fig. 4**. First two SVD components*

Похожая картина и на диаграмме рассеяния «первая SVD-компонента vs сумма транзакции» – ни линейной, ни нелинейной связи там не просматривается (рис. 5). Коэффициент корреляции Пирсона между этими переменными равен −0,036, то есть статистически незначим. Это лишний аргумент в пользу того, что первая компонента – фактор временной, а не финансовый.

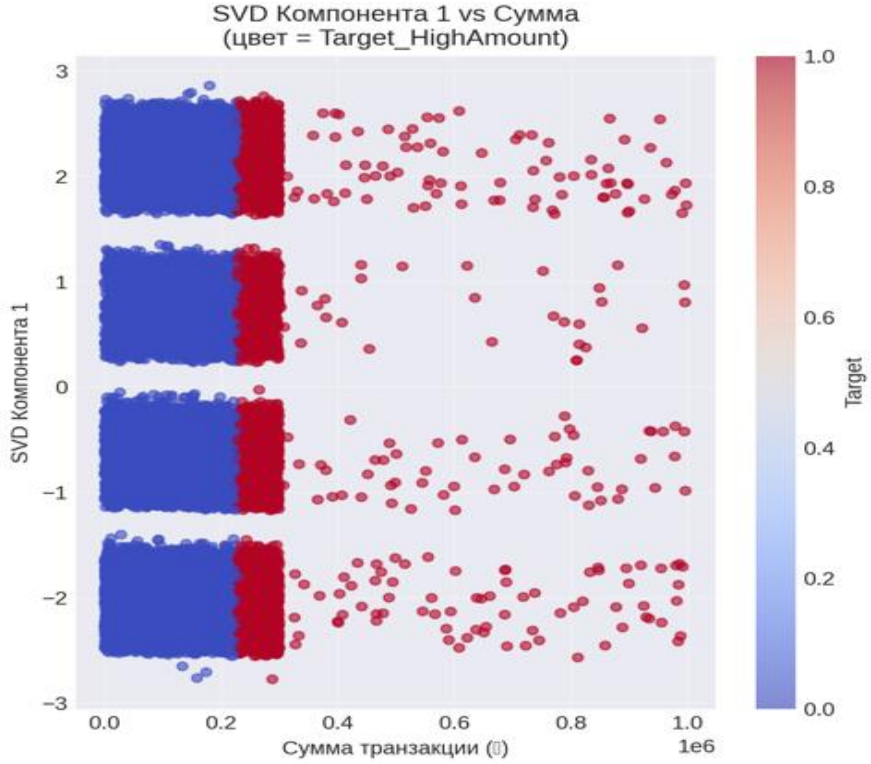


***Рис. 5**. SVD-компонента 1 vs сумма / **Fig. 5** SVD Component 1 vs. total amount*

При одинаковом числе компонент (k = 14) TruncatedSVD и PCA дали полностью совпадающую объясненную дисперсию – 70,4 %. По времени обучения они тоже оказались сопоставимы: 0,104 секунды у TruncatedSVD против 0,098 секунды у PCA. На объемах нашей выборки разницу в вычислительной нагрузке можно считать несущественной. Совпадение результатов согласуется с известным теоретическим фактом – для центрированных данных эти методы эквивалентны – и заодно подтверждает корректность нашей экспериментальной установки.

Дополнительно проведено сравнение методов по качеству последующей кластеризации. На полученных представлениях (первые две компоненты) выполнена кластеризация K-means с k = 4. Метрики качества оказались идентичными: для PCA силуэт равен 0,5708, индекс Калински–Харабаса равен 103933,24, индекс Дэвиса–Болдина = 0,5025, что совпадает с результатами SVD. Это объясняется теоретической эквивалентностью методов для центрированных данных. Однако SVD имеет преимущество в вычислительной эффективности при работе с разреженными матрицами, что важно для масштабирования на большие объемы транзакционных данных.

4. Практические применения и заключение

Результаты исследования имеют прикладную ценность для финансовых организаций, работающих на развивающихся рынках, и одновременно открывают пространство для дальнейших прикладных работ. Три выявленных латентных фактора – временной,

географический и фактор типа карты – могут лежать в основе новых подходов к сегментации клиентов. Следует отметить, что бизнес-сценарии, описанные ниже, являются гипотезами, выведенными из количественных результатов работы, и требуют экспериментальной проверки в рамках A/B-тестирования или пилотных внедрений до промышленного использования.

Стандартную сегментацию по полу, возрасту или среднему чеку можно дополнить – а в ряде задач и заменить – сегментацией по поведенческим паттернам, которые задают SVD-компоненты. Найденные кластеры различаются прежде всего сочетаниями типов карт при близких средних чеках, то есть фиксируют разные стили использования кредитного продукта. Для маркетинга это переход от массовых рассылок к адресным кампаниям: например, точечные акции для держателей карт Silver на выходные в метрополиях или программы лояльности для премиальных карт в тех регионах, которые показали значимый вклад в латентную структуру.

В сфере риска и безопасности обнаруженные паттерны помогают строить более точные модели поиска аномалий. Нормальное поведение клиента описывается не только статистикой его собственных трат, но и тем, где этот клиент располагается в общем латентном пространстве рыночных транзакций. Заметное смещение новой транзакции от типичной для клиента позиции по ключевым компонентам – это, по сути, более тонкий сигнал возможного мошенничества, чем привычные триггеры вроде превышения лимита или нестандартной геолокации. Особенно хорошо работает географический фактор: транзакция в нехарактерном для клиента регионе будет иметь существенно другой вектор нагрузок в SVD-пространстве, и это легко перевести в численную метрику – расстояние или ошибку реконструкции.

Такой подход согласуется с современными исследованиями в области финансовой аналитики, которые подчеркивают необходимость интеграции систем раннего предупреждения с задачами сегментации клиентов. Предложенная методология на основе SVD отвечает этому требованию, поскольку анализ матрицы нагрузок позволяет не только выделить поведенческие сегменты, но и выявлять аномальные транзакции через отклонение от типичного положения клиента в латентном пространстве, формируя единую аналитическую основу для маркетинга и риск-менеджмента [18].

Для аналитических и ИТ-команд предложенный пайплайн – это готовый инструмент для регулярного мониторинга клиентской базы. Если запускать SVD-анализ транзакций раз в месяц или квартал, можно отслеживать, как смещаются центры кластеров и меняется вклад ключевых факторов. По таким сдвигам видны и макроэкономические перемены, и движения в конкурентной среде, и эффект от маркетинговых кампаний. Технически пайплайн уже учитывает специфику разреженных категориальных данных и включает автоматический подбор числа компонент, то есть в продуктовый контур его можно завести с минимальной доработкой.

Papreja et al. (2025) демонстрируют эффективность применения алгоритмов Isolation Forest, Local Outlier Factor и SVM для выявления мошеннических операций. Предлагаемый в настоящей работе подход на основе SVD дает альтернативный механизм: фиксация отклонения новой транзакции от типичного положения клиента в латентном пространстве компонент, что позволяет обнаруживать аномалии, не уступая по чувствительности указанным методам, но при этом обеспечивая более высокую интерпретируемость результатов за счет анализа нагрузок на структурные факторы [16].

В работе предложена и опробована методология анализа структуры кредитных транзакций на основе сингулярного разложения. На данных индийского рынка показано, что SVD хорошо справляется со снижением размерности высокоразмерных матриц, которые

получаются после кодирования категориальных и временных признаков. Для сохранения 70,4 % исходной дисперсии хватает 14 латентных компонент – это дает сжатие признакового пространства на 46,2 %. По нагрузкам мы выделили три структурных фактора: длинные и недельные временные паттерны (вместе 18,33 % дисперсии), оппозицию «метрополия – прочие регионы» (6,13 %) и сегментацию по типу карты (10,31 %). Анализ важности признаков ясно показал: кластеризация в пространстве первых двух SVD-компонент выявила четыре устойчивых сегмента клиентов, различающихся по структуре используемых типов карт и средним суммам транзакций (ANOVA, $p < 0{,}001$; χ^2, $p < 0{,}001$). При этом демографические характеристики (пол) и региональная принадлежность не являются определяющими, что подтверждает, что сегменты отражают поведенческие паттерны, а не просто социально-демографические профили. Сравнение с методом главных компонент подтвердило теоретическую и практическую эквивалентность подходов для данного класса задач.

Основной научный вклад работы заключается в разработке и апробации комплексного аналитического пайплайна, преобразующего математический аппарат SVD в инструмент извлечения интерпретируемых бизнес-инсайтов из транзакционных данных развивающегося рынка, включающего географическую консолидацию, автоматизированный выбор числа компонент и интерпретацию латентных факторов. Полученные результаты демонстрируют, что предложенный подход позволяет выявить нетривиальные структурные закономерности в транзакционном поведении, не обнаруживаемые при стандартном демографическом или финансовом анализе.

В рамках предложенной методологии на примере данных индийского рынка кредитных транзакций получены количественные характеристики трех структурных факторов транзакционного поведения (временного, географического и фактора типа карты) с оценкой их вклада в общую дисперсию данных. Показано, что в исследованном массиве данных географические признаки вносят больший вклад в латентную структуру, чем сумма транзакции. Выявлены устойчивые поведенческие кластеры, отличающиеся от традиционных демографических сегментов по структуре используемых платежных инструментов. Практический вклад состоит в предоставлении финансовым институтам конкретной методологии для поведенческой сегментации клиентов и создания основы для систем мониторинга аномалий нового поколения.

К ограничениям исследования относится добровольное исключение признака «Тип расхода» из анализа, что не позволило изучить категориальную структуру трат, а также эвристический характер процедуры группировки географических признаков. Валидация полезности выделенного латентного пространства была проведена преимущественно методами описательной аналитики и кластеризации.

Разработанная методология может быть распространена на смежные задачи банковской аналитики, где традиционно применяются статистические методы анализа ресурсной базы, например средств физических лиц [8]. Использование аппарата сингулярного разложения и кластеризации позволит расширить такой анализ за счет выявления латентных поведенческих паттернов вкладчиков и построения их сегментации, что открывает новые возможности для прогнозирования и управления пассивами. В отличие от подходов, ориентированных на максимизацию точности прогноза [9], предложенная методология позволяет получить содержательную интерпретацию латентных факторов и выявить поведенческие архетипы клиентов, не сводимые к демографическим или финансовым характеристикам.

Перспективными направлениями для дальнейших исследований являются применение предложенной методологии к транзакционным данным других развивающихся рынков для выявления кросс-культурных различий, сравнительный анализ эффективности SVD

с нелинейными методами снижения размерности (такими как UMAP и вариационные автоэнкодеры) на аналогичных данных, использование полученных SVD-компонент в качестве признаков в задачах контролируемого машинного обучения, а также включение в анализ признака «Тип расхода» для изучения взаимосвязи категорий потребительских трат с выявленными латентными факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мосин В. Г., Козловский В. Н.* Понижение размерности данных методом SVD на примере данных о потреблении контента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 2. С. 599–603. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-599-600

2. *Фомичева С. Г.* Методы машинного обучения в задачах обеспечения информационной безопасности: учебное пособие. Санкт-Петербург: ГУАП, 2023. ISBN: 978-5-8088-1822-4

3. *Столов Е. Л.* Цифровая обработка сигналов. Водяные знаки в аудиофайлах: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2022. ISBN: 978-5-8114-3014-7

4. *Юдин М. Н., Севостьянов Н. А., Юдин О. М.* Прикладные методы гармонического анализа: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. ISBN: 978-5-8114-8210-8

5. *Смутин Д. В., Адонин Л. С.* Компьютерные технологии в биомедицинских исследованиях. Анализ данных секвенирования микробных сообществ: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2025. ISBN: 978-5-89160-364-6

6. Снижение размерности данных для машинного обучения [Электронный ресурс] // GIML-AI. 2022. Обновлено 17.08.2025. URL: https://gimal-ai.ru/blog/snizhenie-razmernosti-dannyh-dlya-mashinnogo-obucheniya/ (дата обращения: 31.03.2024)

7. *Козачок А. В.* Технологии машинного обучения в кибербезопасности: учебное пособие. Москва: РТУ МИРЭА, 2024. ISBN: 978-5-7339-2187-7

8. *Набатчиков В. В., Кочемасова М. А.* Анализ и прогнозирование ресурсной базы банка: применение математико-статистических методов на примере средств физических лиц // Математика в современном мире: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти советского математика, доктора физико-математических наук, профессора П. П. Коровкина, Калуга, 23–24 мая 2025 года. Калуга: Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, 2025. С. 106–113. EDN HJUTOM.

9. *Li X., Lee Y.S.* Customer segmentation marketing strategy based on big data analysis and clustering algorithm // JCIT. Vol. 26. No. 1. 2024. Pp. 1–16. DOI: 10.4018/JCIT.336916

10. *Debaditya B., Chowdhury N.* A novel approach for the customer segmentation using clustering through self-organizing map // IJBAN. 2019. Vol. 6. No. 2. Pp. 23–45. DOI: 10.4018/IJBAN.2019040102

11. *Cui H., Niu S., Li K. et al.* A K-means++ based user classification method for social E-commerce // Intelligent Automation & Soft Computing. 2021. Vol. 28. No. 1. Pp. 277–291. DOI: 10.32604/iasc.2021.016408

12. *Othayoth S.P., Muthalagu R.* Customer segmentation using various machine learning techniques // International Journal of Business Intelligence and Data Mining. 2022. Vol. 20. No. 4. Pp. 480–496. DOI: 10.1504/IJBIDM.2022.123218

13. *Jolliffe I.T.* Principal component analysis. 2nd ed. New York: Springer, 2002. 487 p. (Springer Series in Statistics). ISBN 978 0 387 95442 4

14. *Abdi H., Williams L.J.* Principal component analysis // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. 2010. Vol. 2. № 4. Pp. 433–459

15. *Krishnan G.U.* Customer segmentation strategies in the credit card industry: a comprehensive review // International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology. 2024. Vol. 10. No. 5. Pp. 286–296. https://ijsrcseit.com/index.php/home/article/download/CSEIT241051015/CSEIT241051015/642

16. *Papreja M., Chhabra R., Khurana N. et al.* Securing transactions: machine learning techniques for credit card anomaly detection // Anvi International Conference on Emerging Research and Innovations in Technology, Engineering, and Management. 2025. https://internationalpubls.com/index.php/anvi/article/view/5966

17. SegmentSense: Smart customer segmentation GitHub, 2024. URL: https://github.com/priyanshu-Maniyar/SegmentSense-Smart-Customer-Segmentation (date of access: 27.06.2026).

18. *Amato A., Machado M., Rebelo Moreira J. L., Osterrieder J.* Integrating early warning systems with customer segmentation: an information management approach to identifying business opportunities for commercial customers in the financial industry // SSRN Electronic Journal. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.4989541

REFERENCES

1. Mosin V.G., Kozlovskiy V.N. Data dimensionality reduction using the SVD method for content consumption data. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical Sciences]. 2024. No. 2. Pp. 599–603. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-2-599-600. (In Russian)

2. Fomicheva S.G. *Metody mashinnogo obucheniya v zadachakh obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti* [Machine learning methods in information security tasks]: textbook. Saint Petersburg: GUAP, 2023. ISBN 978-5-8088-1822-4. (In Russian)

3. Stolov E.L. *Tsifrovaya obrabotka signalov. Vodyanyye znaki v audiofaylakh* [Digital signal processing. Watermarks in audio files]: textbook. Saint Petersburg: Lan', 2022. ISBN: 978-5-8114-3014-7. (In Russian)

4. Yudin M.N., Sevostyanov N.A., Yudin O.M. *Prikladnyye metody garmonicheskogo analiza* [Applied methods of harmonic analysis]: textbook for universities. Saint Petersburg: Lan', 2022. ISBN: 978-5-8114-8210-8. (In Russian)

5. Smutin D.V., Adonin L.S. *Kompyuternyye tekhnologii v biomeditsinskikh issledovaniyakh. Analiz dannykh sekvenirovaniya mikrobnykh soobshchestv* [Computer technologies in biomedical research. Data analysis of microbial community sequencing]: textbook. Saint Petersburg: SPbGUT im. M.A. Bonch-Bruyevicha, 2025. ISBN: 978-5-89160-364-6. (In Russian)

6. Dimensionality reduction for machine learning. *GIML-AI*. 2022. Updated 17.08.2025. URL: https://gimal-ai.ru/blog/snizhenie-razmernosti-dannyh-dlya-mashinnogo-obucheniya (date of access: 31.03.2024). (In Russian)

7. Kozachok A.V. *Tekhnologii mashinnogo obucheniya v kiberbezopasnosti* [Machine learning technologies in cybersecurity]: textbook. Moscow: RTU MIREA, 2024. ISBN: 978-5-7339-2187-7. (In Russian)

8. Nabatchikov V.V., Kochemasova M.A. Analysis and forecasting of the bank's resource base: application of mathematical and statistical methods on the example of individuals' funds. *Matematika v sovremennom mire: Sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati sovetskogo matematika, doktora fiziko-matematicheskikh nauk, professora P.P. Korovkina* [Mathematics in the modern world: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the memory of Soviet mathematician, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor P.P. Korovkin]. Kaluga, May 23–24, 2025. Kaluga: Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky, 2025. Pp. 106–113. EDN: HJUTOM. (In Russian)

9. Li X., Lee Y.S. Customer segmentation marketing strategy based on big data analysis and clustering algorithm. *JCIT.* Vol. 26. No. 1. 2024. Pp. 1–16. DOI: 10.4018/JCIT.336916

10. Debaditya B., Chowdhury N. A novel approach for the customer segmentation using clustering through self-organizing map. *IJBAN*. 2019. Vol. 6. No. 2. Pp. 23–45. DOI: 10.4018/IJBAN.2019040102

11. Cui H., Niu S., Li K. et al. A K-means++ based user classification method for social E-commerce. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2021. Vol. 28. No. 1. Pp. 277–291. DOI: 10.32604/iasc.2021.016408

12. Othayoth S.P., Muthalagu R. Customer segmentation using various machine learning techniques. *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*. 2022. Vol. 20. No. 4. Pp. 480–496. DOI: 10.1504/IJBIDM.2022.123218

13. Jolliffe I. T. Principal component analysis. 2nd ed. New York: Springer, 2002. 487 p. (Springer Series in Statistics). ISBN: 978 0 387 95442 4

14. Abdi H., Williams L.J. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2010. Vol. 2. No. 4. Pp. 433–459

15. Krishnan G.U. Customer segmentation strategies in the credit card industry: a comprehensive review. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2024. Vol. 10. No. 5. Pp. 286–296. https://ijsrcseit.com/index.php/home/article/download/CSEIT241051015/CSEIT241051015/642

16. Papreja M., Chhabra R., Khurana N. et al. Securing transactions: machine learning techniques for credit card anomaly detection. *Anvi International Conference on Emerging Research and Innovations in Technology, Engineering, and Management*. 2025. https://internationalpubls.com/index.php/anvi/article/view/5966

17. SegmentSense: Smart customer segmentation GitHub, 2024. URL: https://github.com/priyanshu-Maniyar/SegmentSense-Smart-Customer-Segmentation (date of access: 27.06.2026).

18. Amato A., Machado M., Rebelo Moreira J.L., Osterrieder J. Integrating early warning systems with customer segmentation: an information management approach to identifying business opportunities for commercial customers in the financial industry. *SSRN Electronic Journal*. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.4989541

Финансирование. Работа выполнена в рамках исполнения плана аспиранта.

Funding. This work was conducted as part of the author's postgraduate research plan.

Информация об авторе

Набатчиков Владимир Викторович, аспирант факультета политических и социальных технологий, Российский государственный социальный университет;

129226, Россия, Москва, ул. Вильгельма Пика, 4, стр. 1;

dolomit00@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-6607-7381, SPIN-код: 2318-1176

Information about the author

Vladimir V. Nabatchikov, Postgraduate Student, Faculty of Medical and Social Technologies, Russian State Social University;

4, Wilhelm Pieck street, building 1, Moscow, 129226, Russia;

dolomit00@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-6607-7381, SPIN-code: 2318-1176

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.89 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-230-243
PIAXEA

Нейропсихологическая модель переключения внимания интеллектуального мобильного робота в процессе онтологизации афферентных зрительных образов

З. В. Нагоев, И. А. Мамбетов, О. В. Нагоева✉, И. А. Пшенокова, М. И. Анчёков

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. *Актуальность* данного исследования определяется необходимостью разработки теоретической базы семантического обеспечения и снижения вычислительной сложности задач онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра в системе «интеллектуальный робот – среда» на основе динамической ситуативно детерминированной структурно-функциональной редукции размерности пространства определения этих проблем с помощью алгоритмов реализации внимания интеллектуального мобильного робота.

Цель исследования – разработка теоретических основ и методов автономного построения онтологий в интеллектуальных системах управления поведением мобильных роботов в реальной среде.

Материалы и методы исследования. Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлена данная работа, состоит в разработке теоретических основ имитационного моделирования процессов, протекающих в интеллектуальных системах управления поведением организмов, обеспечивающих реализацию алгоритмов работы и переключения внимания в процессе онтологизации объектов и явлений в условиях реального мира.

Результаты. Разработаны основные принципы системной организации процессов переключения внимания в интеллектуальной системе управления поведением интеллектуального мобильного робота, задействованных при построении онтологий системы «робот – среда» на основе зрительной информации. Построена нейропсихологическая архитектура автономного мобильного робота, предназначенная для имитационного моделирования процессов переключения внимания на основе данных афферентного видеопотока. Разработан мультиагентный алгоритм управления переключением внимания интеллектуального агента в процессе построения онтологий с использованием имитационной модели зрительного анализатора.

Выводы. Результаты исследования могут быть применены для разработки теоретических основ и методов автономного построения онтологий в интеллектуальных системах управления поведением автономных мобильных роботов в реальной среде.

Ключевые слова: нейропсихологическая архитектура, интеллектон, автономный мобильный робот, нейрокогнитивная архитектура, зрительный анализатор, управление вниманием, распознавание образов

Поступила 01.09.2026, одобрена после рецензирования 29.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Нагоев З. В., Мамбетов И. А., Нагоева О. В., Пшенокова И. А., Анчёков М. И. Нейропсихологическая модель переключения внимания интеллектуального мобильного робота в процессе онтологизации афферентных зрительных образов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 230–243. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-230-243

© Нагоев З. В., Мамбетов И. А., Нагоева О. В., Пшенокова И. А., Анчёков М. И., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T42 Original article

Neuropsychological model of attention switching in intelligent mobile robot during ontologization of afferent visual images

Z.V. Nagoev, I.A. Mambetov, O.V. Nagoeva✉, I.A. Pshenokova, M.I. Anchekov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The relevance of this research is driven by the need to develop a theoretical framework for semantic support and to reduce the computational complexity of tasks related to the ontologization, identification, and resolution of a universal spectrum of problems within an "intelligent robot–environment" system. This is achieved through a dynamic, situationally determined, structural-functional reduction of the problem definition space using algorithms implementing attention mechanisms within an intelligent mobile robot.

Aim. To develop theoretical foundations and methods for the autonomous construction of ontologies within intelligent control systems for mobile robot behavior in real-world environments.

Materials and methods. The fundamental scientific problem addressed in this work is the development of theoretical foundations for the simulation modeling of processes occurring within intelligent systems that govern the behavior of autonomous agents. These systems facilitate the implementation of mechanisms for focusing and shifting attention during the ontologization of objects and phenomena of the real-world environment.

Results. The fundamental principles for the systemic organization of attention-switching processes within an intelligent behavior-control system for a mobile robot have been developed. These processes are utilized in constructing ontologies of the "robot–environment" system based on visual information. A neuropsychological architecture for an autonomous mobile robot has been designed, developed to simulate attention-switching processes driven by an afferent video stream. Furthermore, a multi-agent algorithm has been developed to manage the attention-switching of an intelligent agent during the ontology construction process, employing a simulation model of a visual analyzer.

Conclusions. The findings of this study can be applied to developing theoretical foundations and methods for autonomous ontology construction within intelligent control systems designed to govern the behavior of autonomous mobile robots in real-world environments.

Keywords: neuropsychological architecture, intellecton, autonomous mobile robot, neurocognitive architecture, visual analyzer, attention control, pattern recognition

Submitted 01.09.2026, approved after reviewing 29.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Nagoev Z.V., Mambetov I.A., Nagoeva O.V., Pshenokova I.A., Anchekov M.I. Neuropsychological model of attention switching in intelligent mobile robot during ontologization of afferent visual images. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 230–243. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-230-243

Введение

В последние десятилетия на фоне значительного прогресса в разработке и применении различных типов искусственных нейронных сетей и нейростатических генераторов принципиальные трудности решения задач разработки и реализации машинного зрения мобильных роботов, детерминированные свойствами системы «интеллектуальный робот – реальная среда», ориентируют творческую исследовательскую мысль в направлении изучения и создания имитационных моделей и технических реализаций систем оптического зрения автономных биологических организмов, которые, как известно, успешно справляются с такими трудностями [1]. В основе такого исследовательского интереса лежат широчайшие

© Nagoev Z.V., Mambetov I.A., Nagoeva O.V., Pshenokova I.A., Anchekov M.I., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

возможности имитационного моделирования системогенеза управляющих нейронных архитектур, открывающиеся при их интеграции в мобильные робототехнические комплексы на основе парадигмы т.н. «телесного познания» (embodied cognition).

Например, по мнению авторов [2], им удалось объяснить до трех четвертей состава феноменологического комплекса функциональных особенностей алгоритмов переключения и удержания внимания детей дошкольного возраста в процессе формирования понимания контекста текущей ситуации с помощью применения одной из наиболее известных инструментальных систем разработки и поддержки когнитивных архитектур ACT-R для создания имитационной модели зрительного анализатора и подсистемы внимания, функциональные свойства которых идентифицируются и верифицируются по данным магнито-резонансного и электро-энцефалографического исследования.

В [3] устанавливается принципиальная возможность синтеза и структурно-функциональной идентификации имитационной модели зрительного анализатора на основе сверточных искусственных нейронных сетей с помощью данных о корреляции его патогенетических повреждений и изменений с формами и характером протекания заболеваний зрительной системы.

В [4] показано, что имитационная модель зрительного анализатора на основе когнитивной архитектуры, построенной путем композиции различных типов искусственных нейронных сетей в соответствии со структурно-функциональной моделью зрения, предложенной нобелевским лауреатом Хьюбелом [5], позволяет реализовать модель скоординированного переключения активности когнитивных узлов, которую можно интерпретировать как модель фокусировки внимания в соответствии с принципом доминанты Ухтомского [6].

В этой связи следует отметить, что подавляющее большинство исследований и инструментальных средств в области когнитивного и нейроморфного моделирования сенсомоторных систем мобильных роботов в качестве вычислительной абстракции минимального функционального элемента в составе имитационных моделей контуров нервной системы используют модели искусственных нейронов, представляющие собой модификации взвешивающих сумматоров, обучаемых различными градиентными методами [7], способность которых выступать в роли вычислительной абстракции нейронов головного мозга представляется сомнительной.

В качестве формального аппарата принятия решений в системах распознавания образов могут выступать не только когнитивные архитектуры, построенные на основе нейроподобных элементов. Например, в [1] в качестве такого аппарата, применяемого для моделирования зрительного анализатора анимата, применены семантические сети.

В целом представление о зрительном анализаторе человека как о целостном интегрированном нейронном комплексе нервной системы, претендующем на роль основной метафоры проектирования системы машинного зрения, твердо устоялось среди исследователей и разработчиков интеллектуальных программных агентов и автономных мобильных роботов. Эта метафора проектирования в отличие от прямолинейной технической реализации, давно ставшей классической математической постановкой проблемы распознавания образов на основе задачи классификации в многомерном пространстве признаков, основанной на абстрактно-алгоритмическом подходе к обработке однородных афферентных данных, получаемых с видеокамер, позволяет воспользоваться преимуществами биоинспирированной структурно-функциональной декомпозиции, что создает возможности значительного упрощения исходной задачи, повышения эффективности и надежности решения при одновременном снижении его вычислительной трудоемкости.

Актуальность данного исследования определяется необходимостью разработки теоретической базы семантического обеспечения и снижения вычислительной сложности задач онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра в системе «интеллектуальный робот – среда» на основе динамической ситуативно детерминированной структурно-функциональной редукции размерности пространства определения этих проблем с помощью алгоритмов реализации внимания интеллектуального мобильного робота.

В качестве *объекта исследования* рассматриваются основные принципы системной организации процессов переключения внимания в интеллектуальной системе управления поведением биологического организма, задействованных при построении онтологий системы «организм – среда» на основе зрительной информации.

Предмет исследования – возможность использования таких принципов для синтеза подсистемы переключения внимания в интеллектуальной нейропсихологической системе управления автономного мобильного робота.

Онтологизация проблем в нейрокогнитивном фокусе внимания

Идея создания и обучения системы машинного зрения на базе интеллектуального программного агента, выполняющего функции системы управления поведением автономного мобильного робота, является содержательной основой биоинспирированной метафоры проектирования системы машинного зрения, так как формирует концептуальные основания интерпретации зрительного процесса в системно-сущностной парадигме в рамках направления «телесного познания». Системно-сущностная парадигма интеллекта автономных агентов в реальной среде, предложенная в [8], в приложении к направлению телесного познания на базе роботов задает семантические основания их поведения в диалектике детерминант имитационной модели искусственной жизни (Artificial Life) таких интеллектуальных роботов в реальной среде, реализованных с помощью многокритериальной экзистенциальной (связанной с такими детерминантами) целевой функции и методов онтологизации, идентификации и решения априорно не определенных проблем, отражающих отношение ситуативных состояний этой модели искусственной жизни к экзистенциальным целям (в рамках задач функционального назначения) интеллектуальных агентов (роботов).

Сама концепция проблемы, стоящей перед роботом (*проблема робота*) в системе «интеллектуальный агент – среда», основывается на идее нейрокогнитивной редукции пространства состояний, избирательной по критериям, представленным в экзистенциальной целевой функции интеллектуального агента.

В этом смысле подсистема внимания, эволюционно сформировавшаяся в нейропсихологических архитектурах систем управления поведением естественных агентов в реальной среде, является одним из «патентов природы», способных существенно упростить задачи онтологизации, идентификации и решения априорно не определенных проблем на основе нейрокогнитивной редукции, направленной на исключение из рассмотрения осей пространства состояний, сигналы по которым являются несущественными в контексте данной проблемы.

Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлена данная работа, состоит в разработке теоретических основ имитационного моделирования процессов, протекающих в интеллектуальных системах управления поведением организмов, обеспечивающих реализацию алгоритмов работы и переключения внимания в процессе онтологизации объектов и явлений в условиях реального мира.

Целью настоящего исследования является разработка теоретических основ и методов автономного построения онтологий в интеллектуальных системах управления поведением мобильных роботов в реальной среде.

Задача исследования – разработка основных принципов и алгоритмов управления переключением внимания интеллектуального агента в процессе построения онтологий по данным видеопотока.

Зрительный анализатор в нейропсихологической архитектуре интеллектуального мобильного робота

Рассмотрим систему машинного зрения, установленную на универсальном автономном мобильном роботе (рис. 1).

На роботе установлены видеокамеры, данные с которых направляются в систему управления поведением робота, представляющую собой интеллектуального программного агента на базе нейропсихологической архитектуры [9].



Рис. 1. *Автономный мобильный робот* / ***Fig. 1***. *Autonomous mobile robot*

С целью построения имитационной модели процессов переключения фокуса внимания интеллектуального агента при онтологизации зрительных образов, формирующихся по данным афферентной подсистемы мобильного робота, действующего в реальной среде, рассмотрим упрощенную трехуровневую нейропсихологическую архитектуру (рис. 2).

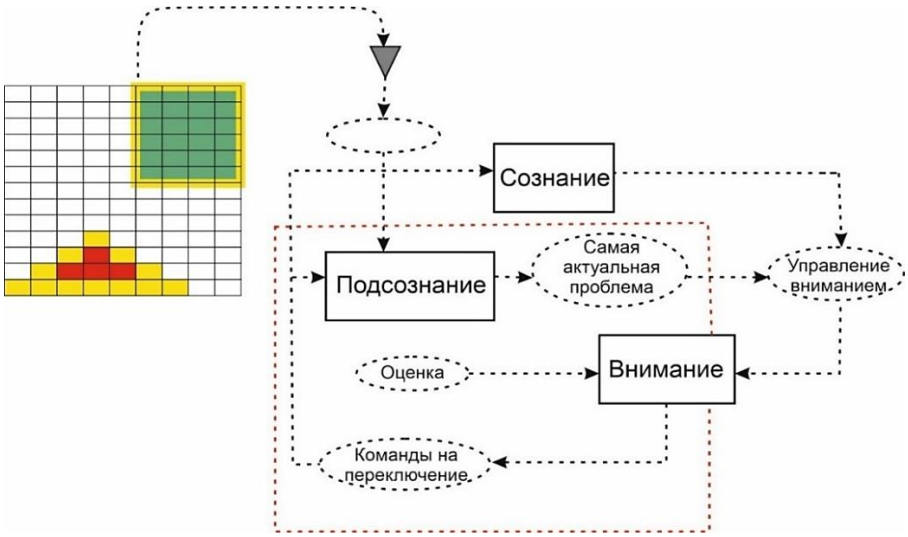


Рис. 2. *Нейропсихологическая архитектура интеллектуальной системы управления робота*

Fig. 2. *Neuropsychological architecture of a robot's intelligent control system*

Как следует из описания, приведенного в [9], все компоненты нейропсихологической архитектуры, такие как подсознание, внимание, сознание, состоят из т.н. *интеллектонов – мультиагентных нейрокогнитивных архитектур*, способных к самоорганизации в интересах построения онтологий, идентификации и решения проблем универсального спектра в системе «интеллектуальный агент – среда» [10].

В данной работе мы исходим из гипотезы о том, что подсознание, первым из интеллектонов вовлекаясь в обработку данных афферентных потоков, помимо прочего реализует функционал предварительного анализа и подготовки информации, на основании которой компоненты внимания и сознания далее выполняют свои задачи в общем децентрализованном процессе синтеза поведения интеллектуального автономного мобильного робота в реальной среде. В этом смысле подсознание действует относительно автономно от других компонентов нейропсихологической архитектуры, которые, в свою очередь, погружены в информационные потоки, циркулирующие между агентами-нейронами (агнейронами) подсознания и управляют этими потоками и агнейронами с помощью своих сенсоров и эффекторов (психосенсоры и психоэффекторы) и являются *психоортогональными* [9] по отношению к интеллектону подсознания.

Рассмотрим подробнее нейрокогнитивную архитектуру интеллектона подсознания. Как следует из рис. 3, этот интеллектон подключен своими сенсорами к видеопотоку с видеокамер. Для целей нашего исследования упростим условия: опишем обработку нейропсихологической архитектурой небольшого фрагмента зрительного поля без учета глубины и необходимости анализа стереоданных. Мы также не рассматриваем в данной работе вопросы, связанные с обработкой динамики наблюдаемых в реальной среде объектов, ограничиваясь описанием алгоритмов анализа статических афферентных данных.

В контексте нашего исследования видеокамеры и их программные драйвера мы рассматриваем как видеосенсоры – первый элемент эфферентного тракта зрительного анализатора в нейропсихологической архитектуре интеллектуального агента, управляющего поведением автономного мобильного робота. Как следует из рис. 2 и 3, сенсоры входят в первый большой структурно-функциональный компонент (отдел) интеллектона подсознания – *топологический* (*топологический отдел зрительного анализатора нейрокогнитивной архитектуры подсознания*).

Топологический отдел зрительного анализатора ранее был описан в [11]. Его основная функция состоит в первичной обработке видеопотока, состоящей в распознавании отдельных топологических примитивов и композиции т.н. топологических событий – мультиагентных нейрокогнитивных фактов [12], с помощью которых функциональные репрезентации этих топологических примитивов в нейрокогнитивной архитектуре связываются между собой конституциональными, контейнерными и структурными отношениями.

На рис. 3 представлены последовательно сменяющие друг друга слои, закрашенные «зеброй» – чередующимися полосами с заливкой цветом и без нее. В областях, обозначенных цветными полосами (*нейрокогнитоны*), располагаются т.н. *агенты-нейроны* (*агнейроны*), представляющие собой имитационные модели нейронов головного мозга [13–14]. Различная форма пиктограмм, обозначающих агнейроны, указывает на разницу в функциональной направленности. Различия в окраске таких пиктограмм введены в рисунок с целью отображения принадлежности агнейронов различным динамическим функциональным системам (по Анохину), выполняющим в нейрокогнитивной архитектуре интеллектона подсознания различные задачи назначения.

В белых полосах, приведенных на рис. 3, размещаются сообщения, которыми агнейроны обмениваются друг с другом в процессе работы интеллектона.

Закрашенные пиктограммы в форме круга соответствуют т.н. *объектным топологическим агнейронам*, выполняющим в топологическом отделе нейрокогнитивной архитектуры функциональную репрезентацию наблюдаемых в афферентном потоке топологических паттернов и примитивов, из которых далее в этом отделе конструируются динамические функциональные системы, описывающие топологию наблюдаемых и распознаваемых объектов реальной среды.

Закрашенные пиктограммы в форме шестиугольника представляют *агнейроны топологических отношений*, описывающие отношения между различными топологическими примитивами.

Пиктограммы в форме трилистника со сглаженными листками соответствуют т.н. *топологическим событийным агнейронам*, выполняющим в нейропсихологической архитектуре функциональную репрезентацию топологических фактов, которые интеллектуальный агент сформировал по данным наблюдений и обучения.

Пиктограмма в форме квадрата соответствует т.н. *локативному агнейрону*, задающему функциональную репрезентацию некоторого конкретного места в реальной среде, в котором мобильному роботу довелось побывать или в котором располагался какой-либо наблюдаемый им объект.

Пиктограммы в форме окружности с волнистой границей соответствуют абстрактным агнейронам, выполняющим в нейропсихологической архитектуре функциональную репрезентацию абстрактных понятий.

Пиктограммы в форме стилизованной латинской буквы «N» соответствуют числовым агнейронам, представляющим в нейрокогнитивной архитектуре конкретные числа.

На рис. 3 видно, что агнейроны вступают друг с другом во взаимодействие путем отправки адресных сообщений. Избирательная обработка сообщений в соответствии с контекстом ситуации может привести агнейрон-получатель такого сообщения к необходимости заключения с агнейроном-отправителем сообщения т.н. *мультиагентного нейрокогнитивного контракта*, что в соответствии с принципами т.н. *алгоритма онтонейрогенеза* [15] составляет содержание имитационной модели процесса ситуативно обусловленного формирования аксо-дендрональной связи между нейронами головного мозга.

В топологическом отделе нейрокогнитивной архитектуры – в верхней и средней частях рис. 3 – мы видим, таким образом, несколько мультиагентных динамических функциональных систем, сформировавшихся на базе таких нейрокогнитивных контрактов с целью репрезентации в интеллектоне мультиагентных фактов, описывающих наличие в афферентном потоке сигнатур, определяющих топологию треугольника, его размеры и ориентацию.

Как следует из рис. 3, вся эта информация в виде сообщений от топологических событийных агнейронов передается агнейрону, обозначенному незакрашенным кругом, который выполняет в нейрокогнитивной архитектуре функциональную репрезентацию объекта, наблюдаемого интеллектуальным агентом во внешней среде. Такой агнейрон называется *объектным агнейроном*, или *концептуальным объектным агнейроном*, так как та часть нейрокогнитивной архитектуры, которая начинается с нейрокогнитона объектных агнейронов и разворачивается далее по ходу дальнейшего направления обработки информации в интеллектоне, называется *концептуальным отделом нейрокогнитивной архитектуры*.

Можно считать, что к данной стадии обработки информации в зрительном анализаторе накопилась сумма топологических событий, которые однозначно были интерпретированы объектным агнейроном «треугольник» как собственная входная сигнатура, что непосредственно активировало срабатывание тех продукционных правил в его базе знаний, которые отвечают за участие этого агнейрона в функциональной системе (по Анохину), включающей в себя все агнейроны всей нейропсихологической архитектуры, которые отвечают за обработку данной конкретной проблемной ситуации, связанной с констатацией факта наличия в рецептивном поле зрительного анализатора именно треугольника.

Однако афферентные данные зрительного анализатора интеллектона подсознания несут в себе гораздо больше информации, чем необходимо для такой констатации. На рис. 3 представлены отделы нейрокогнитивной архитектуры интеллектона подсознания, выполняющие функциональную репрезентацию информации о локации объекта «треугольник», его ориентации в пространстве (в рассматриваемом случае – в 2D) и его размерах. Для представления такой информации используются агнейроны, относящиеся к различным участкам и отделам нейрокогнитивной архитектуры. На рис. 3 такое разделение, вполне соответствующее анатомическим данным о структурно-функциональной организации зрительного анализатора, представлено фигурами, символизирующими агнейроны различных типов, закрашенных к тому же различными цветами.

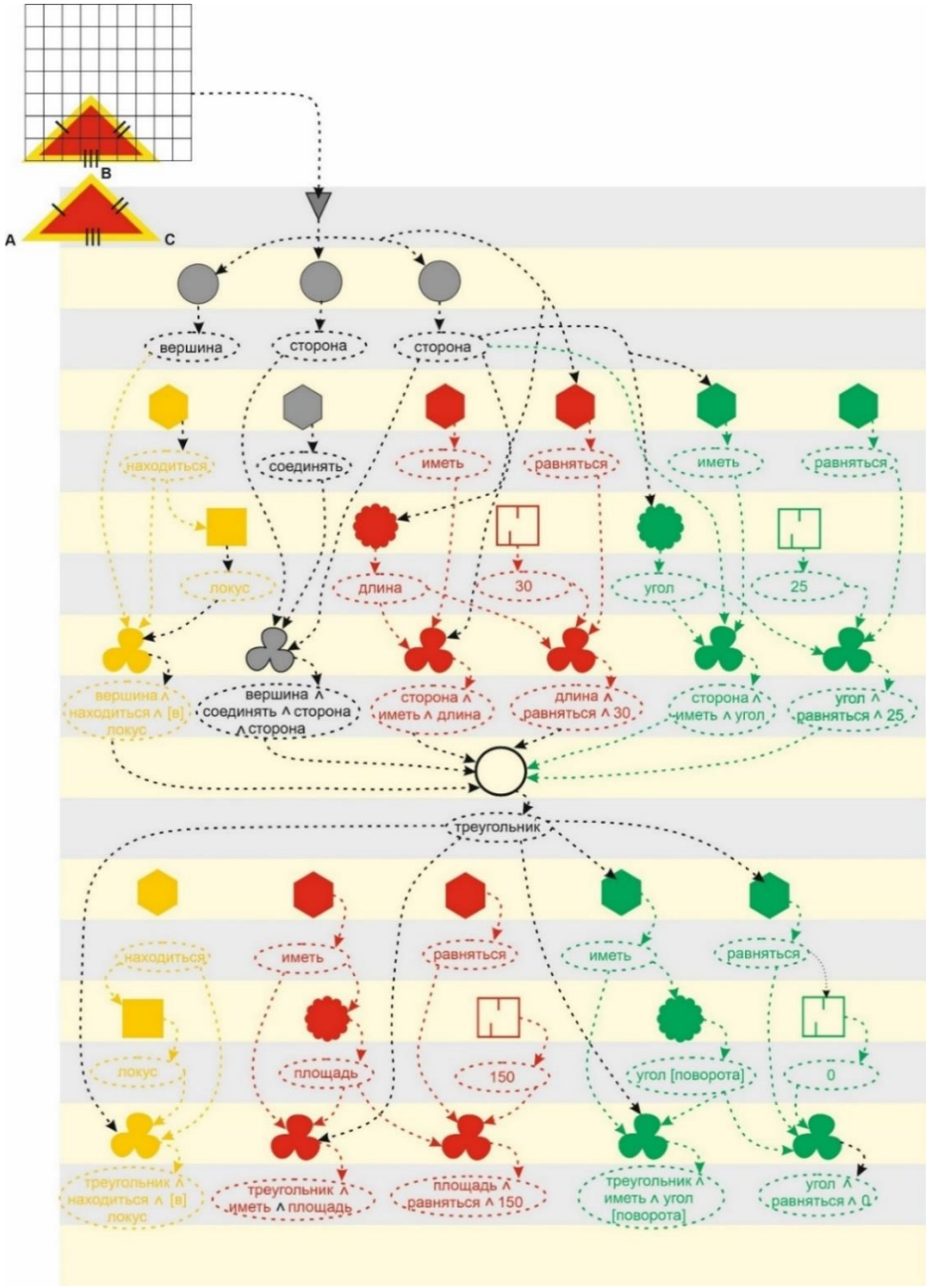


***Рис. 3**. Нейрокогнитивный алгоритм функциональной репрезентации данных о положении, ориентации и размерах объекта в зрительном анализаторе*

***Fig. 3**. Neurocognitive algorithm for the functional representation of object position, orientation, and dimensions within the visual system*

Представление о возможности и способности мультиагентных нейрокогнитивных архитектур формировать различные динамические функциональные системы, описывающие различные свойства наблюдаемых объектов, построенные на основе обработки данных из потока одной модальности, развернуто в [16], где оно получило название «[нейрокогнитивная] внутримодальная дифференциация».

Следует обратить внимание на то, что даже на совсем небольшом фрагменте входного кадра, представленном на рис. 2–4, расположены изображения двух объектов – треугольника и четырехугольника.

Зрительный анализатор в общем случае по данным входного видеопотока с сенсоров в режиме реального времени строит топологические мультиагентные нейрокогнитивные описания всех одноцветных областей, попавших в поле зрения робота. Мы считаем, что малые рецептивные поля агнейронов, регулярная сетка которых составляет общее рецептивное поле афферентного зрительного тракта, обрабатываются параллельно, поэтому процессы формирования функциональной репрезентации всей сцены, представленной в изображении на кадре с видеокамеры, также выполняются параллельно друг другу, что и создает ситуацию, в которой интеллектуальному агенту требуется переключать внимание между различными областями рецептивного поля. Такая же ситуация возникает и тогда, когда новый объект, которого раньше не было в рецептивном поле, в некоторый момент времени появляется там.

В следующем разделе рассмотрим задачу нейрокогнитивного управления переключением внимания для такого случая.

Мультиагентный нейрокогнитивный алгоритм управления вниманием

На рис. 4 представлена нейропсихологическая архитектура, которая, по нашему мнению, способна реализовать алгоритм переключения внимания для случая появления в рецептивном поле изображения зрительного анализатора нового наблюдаемого объекта, которого в предыдущие моменты времени в этом рецептивном поле не было.

На этом рисунке видно, что нейрокогнитивная архитектура подсознания расширяется за счет нейрокогнитонов: эмоционального, целевого, моторного, управляющего.

Интеллектон сознания нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента, управляющего мобильным роботом, с помощью своего афферентного тракта, включающего в себя психоцепторы, интегрированные в интеллектон подсознания, анализирует построенные интеллектоном подсознания нейрокогнитивные описания одноцветных областей и принимает решение о переключении между ними внимания.

Имитационная модель внимания представляет собой базовую («врожденную») подсистему мобильного робота, обеспечивающую переключение схемы движения афферентных сигналов в зрительном анализаторе с целью реализации динамического изменения фокуса ввода информации в нейропсихологическую архитектуру интеллектуального агента, управляющего поведением этого робота.

Нейрокогнитивная архитектура (интеллектон) внимания изображена на рис. 3 психоортогонально [16] по отношению к интеллектону подсознания, что графически отображается поворотом на 90 градусов и направлением психосенсоров и психоэффекторов интеллектона внимания непосредственно в интеллектон подсознания.

Схема движения афферентных сигналов имеет два режима. Первый режим – режим поверхностного (бокового) зрения – обеспечивает ввод огрубленных данных (топологические области, их контуры, информация об ориентации и размерах), на основании которых строится эмоциональная оценка всех событий, связанных с обнаружением в рецептивном поле зрительного анализатора каких-либо объектов.

Эмоциональная оценка выполняется с помощью т.н. *эмоциональных агнейронов*, выполняющих в нейрокогнитивной архитектуре задачи оценки значимости событий и ситуаций с точки зрения их влияния на значения многокритериальной целевой функции интеллектуального агента. Эмоциональные агнейроны изображены на рис. 4 пиктограммами в форме «сердечек».

К отдельным объектам априорно относятся все однородные цветовые области. Второй режим – режим фокуса внимания – обеспечивает передачу в реальном времени точных и полных данных из области зрительного рецептивного поля, соответствующей некоторой однородной области или группе однородных областей, идентифицированных как объект. Этот режим отличается также тем, что в нем полный состав точных данных об объекте передается интеллектону сознания.

Интеллектон сознания изображен на рис. 4 психоортогонально к интеллектонам подсознания и внимания.

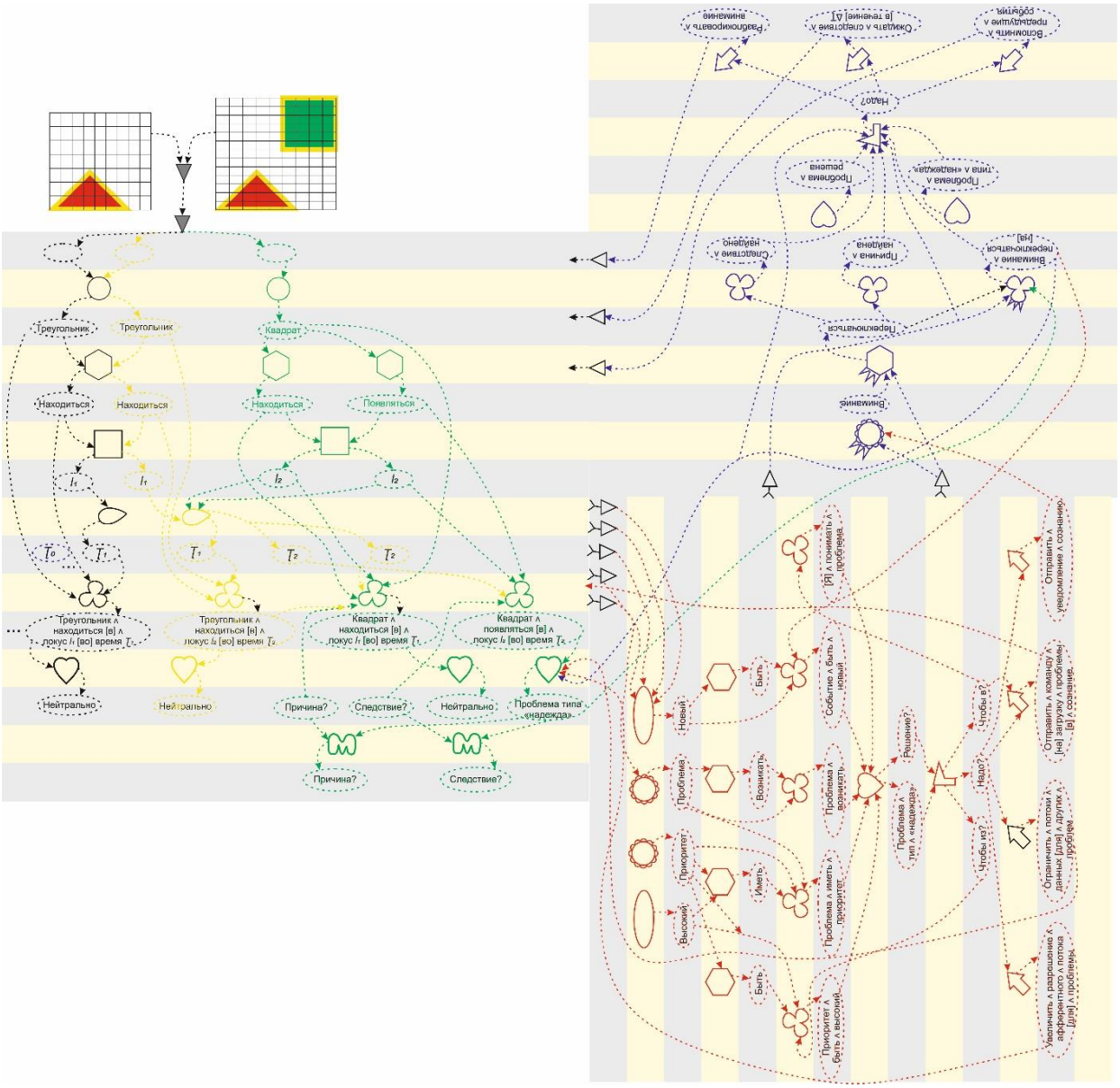


Рис. 4. *Нейропсихологическая архитектура для управления вниманием интеллектуального агента при обработке данных зрительного анализатора*

Fig. 4. *Neuropsychological architecture for intelligent agent attention management during visual analyzer data processing*

Кроме того, самое важное фундаментальное отличие состоит в том, что в режиме фокуса внимания контекст онтологизации связывается именно с объектом, выделенным в соответствии с данной схемой движения афферентных рецептивных сигналов.

Каждый интеллектон в нейропсихологической архитектуре реализует схему переключения внимания на основе функциональной системы анализа значений своих эмоциональных агнейронов, оценивающей степень важности события, связанных с различными обнаруженными в афферентном потоке однородными цветовыми областями (объектами). Совокупная активность эмоциональных агнейронов различных интеллектонов реализует избирательное переключение внимания. Краткосрочный приоритет, основанный на возможности немедленного перехвата управления с помощью целевых и моторных агнейронов, по нашему мнению, принадлежит интеллектону внимания. Такая возможность критически необходима для реализации ориентировочного рефлекса по афферентному видеопотоку.

Целевые агнейроны изображены на рис. 4 в виде «флажков», ориентированных вправо, а *моторные агнейроны* – в виде стрелок, направленных вправо вверх. Целевые агнейроны отвечают в нейропсихологической архитектуре за поиск, удержание и достижение целей в пространстве поведения интеллектуального автономного мобильного робота, а моторные агнейроны – за организацию координированного действия эффекторов при выполнении действий, предписанных нейрокогнитивной архитектурой.

Множество нейрокогнитивных функциональных систем в различных интеллектонах нейропсихологической архитектуры, реализующих функцию управления переключением внимания в соответствии с вышеописанными принципами, нацелено на онтологизацию, идентификацию и решение проблемных ситуаций, формируемых интеллектоном подсознания нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента по данным афферентного потока от зрительного анализатора.

Нейрокогнитивная функциональная подсистема внимания осуществляет автоматическое переключение внимания между зрительными событиями, относящимися к различным синхронным проблемам. В процессе онтогенетического развития интеллектуального управляющего агента интеллектон сознания должен научиться произвольно управлять этим процессом. Таким образом, интеллектуальный агент получит возможность произвольного перемещения фокуса внимания в пространстве своих проблем в режиме «по требованию».

Принципиальное значение имеет то, что как автоматическое переключение фокуса внимания нейрокогнитивной архитектурой интеллектона внимания, так и произвольное его переключение нейрокогнитивной архитектурой интеллектона сознания обеспечивает исключение проблем с дифференцированием различных контекстов ввода информации при онтологизации событий. Основной ожидаемый эффект здесь состоит в том, что проблема онтологизации событий в случае, когда фокус внимания направлен на функциональные системы, динамически репрезентирующие эти события в различных интеллектонах нейропсихологической архитектуры, будет решаться именно и только в отношении данных событий.

Заключение

В результате выполнения данного исследования разработаны некоторые принципы системной организации процессов переключения внимания в интеллектуальной системе управления поведением интеллектуального мобильного робота, задействованных при построении онтологий системы «робот – среда» на основе зрительной информации.

На основе этих принципов разработана нейропсихологическая архитектура автономного мобильного робота, предназначенная для имитационного моделирования процессов, протекающих в интеллектуальных системах управления поведением организмов, обеспечивающих реализацию алгоритмов работы и переключения внимания в процессе онтологизации объектов и явлений в условиях реального мира.

Для этой нейропсихологической архитектуры разработан мультиагентный алгоритм управления переключением внимания интеллектуального агента в процессе построения онтологий по данным видеопотока.

Результаты данного исследования могут быть применены для разработки теоретических основ и методов автономного построения онтологий в интеллектуальных системах управления поведением автономных мобильных роботов в реальной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Московский А. Д., Бургов Е. В., Овсянникова Е. Е.* Зрительный анализатор анимата как основа семантики сенсорной системы робота // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 5. С. 336–345. DOI: 10.17587/mau.19.336-345

2. D'Angiulli A. and Devenyi P. Retooling Computational Techniques for EEG-Based Neurocognitive Modeling of Children's Data, Validity and Prospects for Learning and Education. Front. Comput. Neurosci. Vol. 13. No. 4. 2019. DOI: 10.3389/fncom.2019.00004

3. *Moore J.A., Vigneshwaran V. et al.* Towards realistic simulation of disease progression in the visual cortex with CNNs. Sci Rep 15. 2025. 6099.

4. *Степанян И. В.* Нейрокомпьютерное моделирование зрительного анализатора для обеспечения безопасности человека // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 3. С. 323–329. EDN: NCRSLN

5. *Хьюбел Д.* Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.

6. *Ухтомский А. А.* Доминанта. М. – Л.: Наука, 1966. 273 с.

7. López-Osorio P., Domínguez-Morales J.P., Perez-Peña F. A Neuromorphic Vision and Feedback Sensor Fusion Based on Spiking Neural Networks for Real-Time Robot Adaption. *Advanced Intelligent Systems*. 2024. No. 6. P. 2300646.

8. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* «Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185

9. *Нагоев З. В.* Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208

10. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

11. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

12. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

13. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // Cognitive Systems Research. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

14. *Nagoev Z., Nagoeva O., Anchokov M. et al.* The symbol grounding problem in the system of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architecture // Cognitive Systems Research. 2023. Vol. 79. Pp. 71–84. DOI: 10.1016/j.cogsys.2023.01.002

15. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63. EDN: QZTFLN

16. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

REFERENCES

1. Moskovsky A.D., Byrgov E.V., Ovsyannikova E.E. Visual analyzer of the animat as a semantic basis of robot sensoric system. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. 2018. Vol. 19. No. 5. Pp. 336–345. DOI: 10.17587/mau.19.336-345. (In Russian)

2. D'Angiulli A. and Devenyi P. Retooling Computational Techniques for EEG-Based Neurocognitive Modeling of Children's Data, Validity and Prospects for Learning and Education. Front. Comput. Neurosci. Vol. 13. No. 4. 2019. DOI: 10.3389/fncom.2019.00004

3. *Moore J.A., Vigneshwaran V. et al.* Towards realistic simulation of disease progression in the visual cortex with CNNs. Sci Rep 15. 2025. 6099.

4. Stepanyan I.V. Neurocomputer modeling of visual analyzer designed for securing safety. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2010. No. 3. Pp. 323–329. EDN: NCRSLN. (In Russian)

5. Hubel D. *Glaz, mozg, zreniye* [Eye, Brain, and Vision]. Moscow: Mir, 1990. 239 c.

6. Ukhtomsky A.A. *Dominanta* [Dominant]. M. – L.: Nauka, 1966. 273 p. (In Russian)

7. López-Osorio P., Domínguez-Morales J.P., Perez-Peña F. A Neuromorphic Vision and Feedback Sensor Fusion Based on Spiking Neural Networks for Real-Time Robot Adaption. *Advanced Intelligent Systems*. 2024. No. 6. P. 2300646.

8. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. "What does the brain do?", or Solving a priori undefined problems based on an autonomous agent behavior in real environment". *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 172–185. (In Russian)

9. Nagoev Z.V. Neuropsychological architecture of a general-purpose artificial intelligence agent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208. (In Russian)

10. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

11. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior to automatically replenish ontologies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)

12. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of symbols and multi-agent neurocognitive models of natural language semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022. 150 p. (In Russian)

13. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

14. Nagoev Z., Nagoeva O., Anchokov M. et al. The symbol grounding problem in the system of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architecture. Cognitive Systems Research. 2023. Vol. 79. Pp. 71–84. DOI: 10.1016/j.cogsys.2023.01.002

15. Nagoyev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 56–63. EDN: QZTFLN. (In Russian)

16. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of consciousness of an agent of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект «Методы и алгоритмы синтеза интеллектуальных систем управления распределенными человеко-машинными коллективами в реальной среде на основе обучения нейропсихологических архитектур программных агентов путем извлечения знаний из текстов и высказываний на естественном языке» (№ 26-19-00963).

Funding. This work was supported by the Russian Science Foundation under project "Methods and algorithms for synthesizing intelligent control systems for distributed human-machine teams in real-world environments, based on training neuropsychological architectures of software agents through knowledge extraction from natural language texts and utterances" (No. 26-19-00963).

Информация об авторах

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-код: 6279-5857

Мамбетов Идар Арсенович, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-код: 5951-8195

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. НИЦ «Интеллектуальные интегрированные информационно-управляющие системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-код: 3535-2963

Анчёков Мурат Инусович, заведующий лабораторией «Имитационное моделирование феногенетических процессов» НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-код: 3299-0927

Information about the authors

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-code: 6279-5857

Idar A. Mambetov, Researcher at the Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-code: 5951-8195

Olga V. Nagoeva, Researcher, Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Research Center "Intellectual Integrated Information and Management Systems", Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-code: 3535-2963

Murat I. Anchekov, Head of the Laboratory of Simulation Modeling of Phenogenetic Processes at the Scientific Research Center of Intelligent Genetic Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-code: 3299-0927

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.89 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-244-259
PLDYUS

Основные принципы автономного построения номинативно-локативных онтологий рабочей среды производственного участка универсальным мобильным коботом под управлением нейропсихологической архитектуры

З. В. Нагоев, И. А. Мамбетов, О. В. Нагоева✉, А. А. Унагасов, В. М. Шуганов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Актуальность исследования определяется необходимостью разработки теоретической базы для преодоления технологического барьера обеспечения автономного выполнения мобильными коботами задач назначения в условиях реальной среды.

Цель исследования – разработка теоретических оснований, методов и алгоритмов обучения интеллектуальных автономных коботов согласованному целенаправленному кооперативному поведению в составе человеко-машинных коллективов, действующих в реальной производственной среде.

Материалы и методы исследования. Сложность этой задачи обусловлена прежде всего необходимостью автономного построения семантики объектов и процессов в рабочей среде производственного участка, что в целом пока является нерешенной фундаментальной задачей. Поэтому в данном исследовании мы ограничиваемся постановкой задачи, которая предписывает синтез основных принципов автономного построения номинативно-локативных онтологий такой среды.

Результаты. Разработаны основные принципы построения номинативно-локативных онтологий в системе интеллектуального управления поведением агента в реальной среде. Построен мультиагентный алгоритм автономного синтеза номинативно-локативных онтологий рабочей области в нейропсихологической архитектуре интеллектуального агента, управляющего поведением мобильного кобота на производственном участке.

Выводы. Полученные результаты могут быть применены для разработки теоретических оснований, методов и алгоритмов обучения интеллектуальных автономных коботов согласованному целенаправленному кооперативному поведению в составе человеко-машинных коллективов, действующих в реальной производственной среде.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, коллаборативные роботы, нейропсихологические архитектуры, интеллектоны, номинативно-локативные онтологии, человеко-машинные коллективы

Поступила 02.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Нагоев З. В., Мамбетов И. А., Нагоева О. В., Унагасов А. А., Шуганов В. М. Основные принципы автономного построения номинативно-локативных онтологий рабочей среды производственного участка универсальным мобильным коботом под управлением нейропсихологической архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 244–259. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-244-259

© Нагоев З. В., Мамбетов И. А., Нагоева О. В., Унагасов А. А., Шуганов В. М., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T42 Original article

Fundamental principles for autonomously constructing nominative-locative ontologies of production area's working environment by universal mobile cobot under control of neuropsychological architecture

Z.V. Nagoev, I.A. Mambetov, O.V. Nagoeva✉, A.A. Unagasov, V.M. Shuganov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The relevance of this research is driven by the need to develop a theoretical framework for overcoming the technological barriers that prevent mobile collaborative robots (cobots) from autonomously performing assigned tasks in real-world environments.

Aim. This study aims to develop the theoretical foundations, methods, and algorithms for training intelligent autonomous cobots to exhibit coordinated, goal-oriented, and cooperative behavior within human-machine teams operating in real-world industrial environments.

Research materials and methods. The complexity of this task stems primarily from the need to autonomously construct the semantics of objects and processes within a production site's operational environment – a fundamental challenge that remains largely unsolved. Consequently, this study focuses on defining a framework to synthesize the core principles required for building "nominative-locative" ontologies of such environments.

Results. We have developed the fundamental principles for constructing nominative-locative ontologies within an intelligent agent behavior control system for real-world environments. Furthermore, we have devised a multi-agent algorithm for the autonomous synthesis of workspace-representing nominative-locative ontologies within the neuropsychological architecture that governs a mobile cobot's (collaborative robot) behavior on the production floor.

Conclusions. These findings establish a robust foundation for advancing intelligent robotics, offering actionable methods to train autonomous cobots for complex, goal-oriented cooperation within human-machine teams in dynamic industrial environments.

Keywords: intelligent control, collaborative robots, neuropsychological architectures, intellectons, nominative-locative ontologies, human-machine teams

Submitted 02.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Nagoev Z.V., Mambetov I.A., Nagoeva O.V., Unagasov A.A., Shuganov V.M. Fundamental principles for autonomously constructing nominative-locative ontologies of production area's working environment by universal mobile cobot under control of neuropsychological architecture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 244–259. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-244-259

Введение

Проблема автономного построения онтологий рабочей среды в условиях реального мира и ее частный случай – проблема построения онтологий рабочей среды производственного участка – приобретают особую *актуальность* в связи с потребностями массовой роботизации практически во всех сферах деловой, инженерной и индустриальной деятельности, необходимость которой все отчетливее проступает в качестве лейтмотива решения задач повышения производительности труда и роста экономической эффективности.

© Nagoev Z.V., Mambetov I.A., Nagoeva O.V., Unagasov A.A., Shuganov V.M., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Сущность задачи *онтологизации среды* состоит в построении системы знаний – *онтологий* – интеллектуального робота, описывающих все необходимые объекты, свойства, отношения и закономерности, присущие этой среде, в объеме, достаточном для того, чтобы этот робот мог с определенным уровнем качества, эффективности, надежности и точности выполнять в этой среде задачи назначения.

Создание онтологий в ручном или автоматизированном режиме является задачей исключительно трудоемкой, что прежде всего связано с высокой интенсивностью потоков данных, как правило, необходимых для работы в условиях реальной среды с ее неопределенностью, стохастичностью, динамичностью, частичной наблюдаемостью, эпизодичностью, активностью и другими свойствами, существенно затрудняющими управление и принятие решений [1].

Автоматическое построение онтологий реальной среды в биоинспирированном стиле, такое, каким оно сформировалось в процессе эволюции видов, особи которых эффективно решают эту проблему в процессе индивидуального развития, позволило бы, с одной стороны, исключить затраты дорогостоящего ручного труда и, с другой стороны, улучшить качество самих онтологий, допуская для размещения в их составе только те знания, которые действительно востребованы, полезны и эффективны.

Задача усложняется для т.н. *коботов – коллаборативных роботов*, так как в этом случае интеллектуальной системе управления необходимо онтологизировать не только статичные объекты в рабочей области или динамические, но ограниченные в своих эволюциях устройства и аггрегаты, но и своих партнеров по человеко-машинному коллективу – людей и других мобильных коботов, активная деятельность которых в рабочей области существенно снижает структурированность и повышает уровень неопределенности, динамизма и стохастичности среды. Кроме того, для коботов существенны дополнительные ограничения, связанные с необходимостью построения таких онтологий рабочей области и всех агентов в ней, применение которых для планирования совместного поведения исключило бы риск столкновения с человеком, его повреждения, нанесения ему какого-либо увечья или ущерба.

В [2, 3] показано, что вычислительной абстракцией задач онтологизации, идентификации и решения априорно не определенных проблем универсального спектра в реальной среде является целенаправленный автономный синтез траекторий движения робота в пространстве состояний системы «интеллектуальный агент – среда», субоптимальных по критериям экзистенциальной целевой функции. При этом одной из ключевых проблем является преодоление барьера вычислительной сложности, детерминированного прежде всего значительной размерностью пространства состояний и интенсивностью потоков данных, генерируемых афферентной подсистемой мобильного робота в реальной среде [4].

Как показывает анализ интеллектуальных систем управления поведением автономных биологических агентов, основным эволюционно-детерминированным средством борьбы с вычислительной сложностью является структурно-функциональная редукция пространства состояний, как правило, реализуемая в системах управления интеллектуальных агентов естественного происхождения на базе процессов самоорганизации сетей нейронов головного мозга в результате перманентного действия ситуативно детерминированных алгоритмов нейропластичности (*алгоритм онтонейроморфогенеза*) [5].

Структурно-функциональная редукция на основе алгоритмов нейропластичности (*нейрокогнитивная редукция*) эксплуатирует способность нейронов в составе когнитивных архитектур, управляющих поведением интеллектуальных агентов, к избирательному формированию аксо-дендрональных связей, что на уровне математической абстракции управления процессами решения задач интерпретируется как ситуативно-детерминированная динамическая редукция размерности пространства состояний, направленная на минимизацию количества осей подобного пространства, таких, что ненулевые значения соответствующих им переменных определяли бы координаты точек, в конечном счете составляющих траекторию движения робота в пространстве состояний системы «интеллектуальны агент – среда».

В [6] показано, что задачи синтеза поведения, направленного на онтологизацию, идентификацию и решение априорно недетерминированных задач универсального спектра, решаются в природных (естественных) биологических агентах на базе интеллектуальной системы управления, представляющей собой т.н. *нейропсихологическую когнитивную архитектуру*.

В данной работе предпринимается попытка разработки основных принципов онтологизации рабочей среды производственного участка как частично структурированной, локализованной в пространстве рабочего помещения части реального мира. Предполагая, что онтологизация простых технологических операций, которые уже роботизированы с помощью производственных линий и агрегатов, установленных в этих помещениях, не представляет затруднений, в данном исследовании мы исходим из необходимости онтологизации всей рабочей среды, частью которой и являются эти производственные линии и агрегаты, мобильным автономным коботом, задачей функционального назначения которого является обеспечение штатной бесперебойной работы данного производственного участка при взаимодействии в составе человеко-машинного коллектива.

Сложность этой задачи обусловлена прежде всего необходимостью автономного построения семантики объектов и процессов в рабочей среде производственного участка, что в целом пока является нерешенной фундаментальной задачей. Поэтому в данном исследовании мы ограничиваемся постановкой задачи, которая предписывает синтез основных принципов автономного построения *номинативно-локативных онтологий* такой среды.

Объектом исследования настоящей работы являются процессы построения номинативно-локативных онтологий в системе интеллектуального управления поведением агента в реальной среде.

Предмет исследования – возможность синтеза таких онтологий в управляющей нейропсихологической архитектуре автономного мобильного робота в ограниченной частично структурированной части реального мира.

Интеллектуальный мобильный кобот в рабочей среде

Рассмотрим мобильного автономного кобота под управлением нейропсихологической архитектуры (рис. 1). Кобот представляет собой антропоморфный торс, установленный на колесное одноосное шасси, оснащенный двумя антропомиметическими манипуляторами, соединенный с подвижной головой шарнирным соединением с тремя степенями свободы.

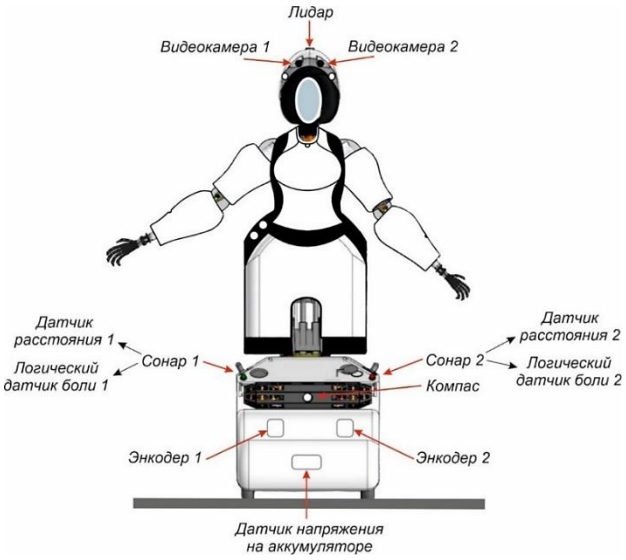


Рис. 1. *Мобильный автономный антропоморфный кобот*

Fig. 1. *Mobile autonomous anthropomorphic cobot*

Кобот оснащен лидаром и ультразвуковыми датчиками расстояния, цифровым компасом и датчиками поворота маршевых двигателей, которые *интеллектуальный программный агент*,

осуществляющий управление поведением кобота, использует для синтеза событий взаимодействия с объектами рабочей области с целью построения онтологий, необходимых для решения задач ориентации и навигации кобота, а также для построения локативных онтологий. Кроме того, у кобота есть датчик напряжения на аккумуляторе, который используется для анализа периода времени, в течение которого кобот способен сохранить функциональность без смены или дозарядки своего аккумулятора.

В нейропсихологической архитектуре интеллектуального агента также реализованы т.н. «логические датчики боли», работа которых основывается на обработке сигналов с физических датчиков расстояния (ультразвуковых дальномеров), в результате которой приближение на определенное достаточно близкое расстояние к препятствию интерпретируется как причина возникновения ощущения условной «боли» от столкновения с этим препятствием.

Среди прочих датчиков на голове кобота расположены две видеокамеры, обеспечивающие систему управления стереоданными видеопотока. Зрение в целом является наиболее информативной когнитивной сенсорной функцией, что, вероятно, в общем случае будет верно и для интеллектуальных мобильных роботов. Системы машинного зрения интеллектуальных роботов, функционирующих в условиях реальной среды, несмотря на ряд успехов последних лет [7], сталкиваются со значительными трудностями в разработке, реализации и функционировании, обусловленными невысокой степенью повторяемости, существенной вариативностью, фрагментарностью, интенсивностью и динамикой данных, регистрируемых сенсорной подсистемой робота в такой среде [1].

Для управления роботами широко используются нейроморфные формализмы и реализации систем машинного зрения [8, 9]. Однако добиться уровня эффективности подобных решений, необходимого для достижения управляемости автономных мобильных роботов, достаточной для их массового внедрения в процессы решения универсального спектра задач в составе человеко-машинных коллективов, действующих в условиях реального мира, пока не удается. В целом можно сделать вывод, что исследователи и разработчики бортовых систем машинного зрения автономных мобильных роботов, действующих в условиях реальной среды, в настоящее время активно осмысливают, перенимают и утилизируют концептуальные находки эволюции, реализованные в биологических нейронных когнитивных архитектурах мозга, что обосновано неспособностью традиционных решений составить основу для преодоления технологических барьеров имитационного моделирования интеллектуального управления поведением робота в реальной среде.

Для целей настоящего исследования считаем, что мобильный робот размещается в рабочей среде на производственном участке, оснащенном различными устройствами, элементами производственных линий, инструментами и агрегатами (рис. 2). В общем случае на этом производственном участке также постоянно трудятся сотрудники предприятия – участники человеко-машинного коллектива – люди и другие коботы.

Задача автономного синтеза номинативно-локативных онтологий рабочей среды состоит в самостоятельном исследовании этой среды мобильным роботом под управлением интеллектуального агента и построении в нейропсихологической архитектуре этого агента динамических нейронных функциональных систем (по Анохину), обеспечивающих взаимосвязанное и взаимообусловленное представление знаний интеллектуального агента о наличии (*номинации*) и расположении (*локации*) предметов (устройств, производственных линий, агрегатов), рабочих мест сотрудников, самих этих сотрудников в данной рабочей среде в объеме, достаточном для эффективного выполнения коботом задач своего назначения на данном производственном участке.

Конечно, таким набором знаний состав онтологий, необходимых для успешной автономной работы кобота в человеко-машинном коллективе по задачам назначения, далеко не исчерпывается, и данная работа представляет собой лишь первый шаг в реализации системы, способной в конечном итоге полностью решить эту сложную фундаментальную проблему и связанные с ней прикладные задачи.

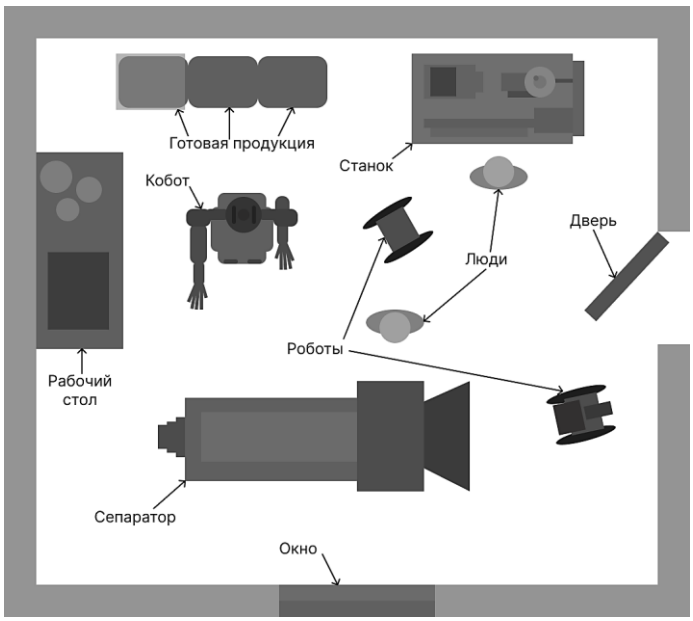


***Рис. 2**. Структура рабочей области производственного участка человеко-машинного коллектива с участием автономного мобильного кобота*

***Fig. 2**. Structure of the workspace in a production area featuring a human-machine team with an autonomous mobile cobot*

Система управления роботом представляет собой интеллектуального программного нейропсихологического агента, общие принципы структурно-функциональной организации и основные алгоритмы работы которого описаны в [10]. На рис. 3 представлены основные компоненты нейропсихологической архитектуры – *мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры*, или *интеллектоны* [6]. Интеллектоны имеют инвариантную структуру – т.н. *инвариант системы интеллектуального принятия решений* [11], в состав которой входят т.н. *нейрокогнитоны*, условно соответствующие некоторым отделам и участкам головного мозга [12].



***Рис. 3**. Нейропсихологическая архитектура управляющего интеллектуального агента автономного мобильного кобота*

***Fig. 3**. Neuropsychological Architecture of the Intelligent Control Agent for an autonomous mobile cobot*

В составе нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента интеллектоны взаимосвязаны по данным и управлению, что иллюстрирует рис. 3, с целью повышения эффективности процесса онтологизации, идентификации и решения априорно не определенных и известных проблем [4, 10]. *Интеллектон подсознания* обеспечивает первичную об-

работку афферентных данных со всех сенсоров кобота. *Интеллектон интерскрина* реализует управление динамической подготовкой, фильтрацией, композицией и предоставлением потоков данных, разделяемых остальными интеллектонами нейропсихологической архитектуры. *Интеллектон сознания* обеспечивает произвольное и непроизвольное переключение фокуса ввода данных и направления онтологизации между различными синхронными проблемами в соответствии с их приоритезацией по отношению к значениям и динамике многокритериальной целевой функции интеллектуального агента. *Интеллектон* «*Я*» реализует функционал волевого целеполагания и контроля.

Целью настоящего исследования является разработка теоретических оснований, методов и алгоритмов обучения интеллектуальных автономных коботов согласованному целенаправленному кооперативному поведению в составе человеко-машинных коллективов, действующих в реальной производственной среде.

Задачей исследования является разработка основных принципов и алгоритмов автономного синтеза номинативно-локативных онтологий рабочей области в нейропсихологической архитектуре интеллектуального агента, управляющего поведением мобильного кобота на производственном участке.

Афферентные подсистемы интеллектуального мобильного робота

Рассмотрим работу некоторых компонентов интеллектона подсознания в процессе анализа афферентного потока на примере данных с видеокамеры кобота.

На рис. 4 показано, что рецептивное поле видеосенсора разбивается на регулярные области, каждая из которых обрабатывается самостоятельно, параллельно другим таким же областям, с помощью одинакового набора топологических агнейронов, относящихся к последовательным когнитивным узлам (нейрокогнитонам) *топологического отдела нейрокогнитивной архитектуры интеллектона подсознания*. По аналогии со структурно-функциональным делением отделов мозга будем также называть такие функциональные узлы *участками* в *отделах* нейрокогнитивной архитектуры.

Структурно-функциональный параллелизм участков топологического отдела интеллектона мотивирован необходимостью быстрого и надежного выполнения сходных операций по обработке данных видеопотока, что детерминировано общей схемой информационных потоков в зрительном анализаторе – «снизу – вверх» (от деталей – к целому), которая вытекает из архитектуры зрительных анализаторов природных биологических систем [13].

В этом смысле природным прототипом регулярных наборов агнейронов нейрокогнитонов топологического отдела нейрокогнитивной архитектуры интеллектона подсознания в нашей нейропсихологической архитектуре мы считаем группы регулярных нейроморфных структур сетчатки глаза вместе с отходящими от них зрительными нервами нейронов зрительного тракта, а также с самими этими нейронами и образуемыми ими участками в различных отделах мозга.

Анатомия этой части нервной системы определяет примерное соотношение 500 окончаний дендритов к 1 зрительному нейрону, что неоспоримо свидетельствует о конвергентном характере обработки информации. *Топологические агнейроны* в различных участках топологического отдела интеллектона также являются конвергентными элементами: принимая на вход множество значений параметров, характеризующих отдельные пикселы изображения с видеосенсора, они выдают на выход обобщенные символы, кодирующие комбинации входов в сигнатуры, которые затем отправляются для дальнейшей обработки агнейронам в других участках топологического отдела.

Кодирование, как и все поведение агнейрона в целом, выполняется с помощью внутренней когнитивной архитектуры (*мультиакторная когнитивная архитектура*) агнейрона [14, 15] по данным хранящейся в ней же базы знаний агнейрона.

Так, *объектные топологические агнейроны*, изображенные на рис. 4 закрашенными кругами, обобщают информацию с пиксельных входов в *топологические концепты* «линия», «точка», «угол» и др. *Топологические агнейроны отношений* (закрашенные шестиугольники) выполняют

функциональную репрезентацию отношений между распознанными топологическими концептами. Наблюдаемая в соответствующей части рецептивного поля топология описывается в итоге совокупной скоординированной активностью вовлеченных топологических объектных агнейронов, топологических агнейронов отношений и *топологических событийных агнейронов* (закрашенные трилистники с закругленными лепестками), а также *числовых агнейронов*, выполняющих функциональную репрезентацию количества. Все отношения между агнейронами строятся на основе т.н. *мультиагентных нейрокогнитивных контрактов* [6], описывающих динамику совместного участия этих агнейронов в процессах ситуативно детерминированного отражения данных в афферентном зрительном потоке.

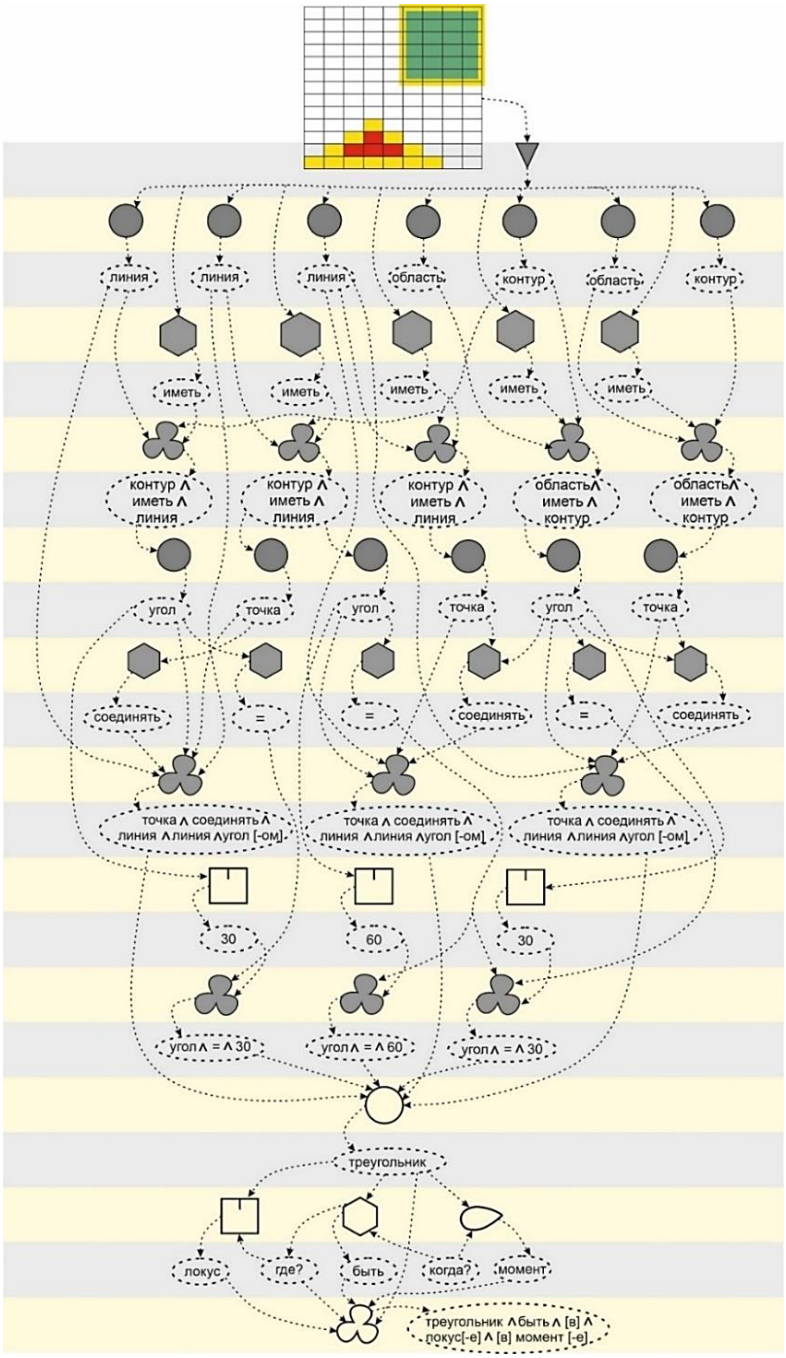


Рис. 4. *Нейрокогнитивный алгоритм синтеза представления объекта в топологическом и концептуальном отделах зрительного анализатора кобота*

Fig. 4. *Neurocognitive algorithm for synthesizing an object representation within the topological and conceptual components of a cobot's visual analyzer*

Следует обратить внимание на то, что топологические событийные агнейроны располагаются в нескольких *нейрокогнитонах* (*участках*) *топологического отдела* интеллектона, и, как видно из рис. 4, эти различные топологические событийные нейрокогнитоны взаимосвязаны друг с другом нейрокогнитивными контрактами. Такая структурно-функциональная топология нейрокогнитонов обусловлена стремлением отразить в нейрокогнитивной архитектуре топологического отдела интеллектона феноменологию состава и кооперации различных участков зрительного анализатора мозга, которые в парадигме современных представлений о функциональной архитектонике афферентных зрительных путей реализуют репрезентацию и обработку концептуальных примитивов и объектов различной степени сущностной интеграции.

Например, как уже указывалось выше, событийные агнейроны первого по порядку (и по степени интеграции) топологического нейрокогнитона реализуют функциональную репрезентацию примитивов нижнего уровня и отправляют соответствующие сигнатуры агнейронам второго топологического событийного нейрокогнитона. Эти топологические событийные агнейроны на основании полученных сигнатур, описывающих примитивы нижнего уровня, строят мультиагентные нейрокогнитивные описания концептов и объектов более высокого уровня интеграции (углы между линиями), что также показано на рис. 4.

Схематическое изображение, приведенное на рис. 4, предполагает, что повторение топологических событийных нейрокогнитонов в восходящих уровнях топологического отдела нейрокогнитивной архитектуры интеллектона подсознания в принципе не ограничено уровнями вложенности, в нашем представлении оно ограничено только логикой процесса формирования целостного завершенного топологического описания объектов, представленных в зрительном афферентном потоке.

В нижней части рис. 4 появляются нейрокогнитоны, содержащие незакрашенные фигуры. По нашему замыслу этими фигурами обозначены агнейроны следующего по порядку отдела в нейрокогнитивной архитектуре интеллектона подсознания – *концептуального*. Как показано в [16], нейрокогнитоны этого отдела описывают имитационные модели участков мозга, выполняющих в интеллектоне функциональную репрезентацию *концептов* (*понятий*) и их *отношений* друг к другу. Сходная геометрия обозначений агнейронов (круги, шестиугольники, трилистники) связана с типологическим единством функций по аналогии с агнейронами топологического отдела. Разница состоит только в том, что агнейроны нейрокогнитонов топологического отдела выполняют функциональную репрезентацию топологических отношений между топологическими примитивами и объектами, а агнейроны нейрокогнитонов *концептуального отдела* (*концептуальные агнейроны*) – функциональную репрезентацию *концептуальных отношений* между *концептуальными объектами*.

Следует обратить внимание на то, что в соответствии с рис. 3 концептуальный и топологический отделы интеллектона связаны друг с другом мультиагентными нейрокогнитивными контрактами, и это подчеркивает тот факт, что у каждого объекта, который находит свое отражение в мышлении, с необходимостью есть топологическое описание. Именно это описание использует интеллектон в качестве суммы входных сигнатур, на основании которых в топологической части зрительного анализатора концептуальными агнейронами реализуется констатация наличия в системе «интеллектуальный агент (робот) – среда» определенных объектов и некоторых отношений между ними, что также по аналогии с топологическими событийными агнейронами фиксируется в формате мультиагентных нейрокогнитивных фактов – на основе множественных попарных двунаправленных контрактов между концептуальными агнейронами.

Функциональную репрезентацию мультиагентных нейрокогнитивных фактов в концептуальном отделе интеллектона выполняют концептуальные событийные агнейроны, один из которых изображен в самой нижней части рис. 4 в виде незакрашенного трилистника с закругленными лепестками. Как следует из рис. 4, этот событийный агнейрон выполняет функциональную репрезентацию факта наличия объекта «треугольник» в поле зрения мобильного робота.

Процессы и алгоритмы построения номинативно-локативных онтологий рабочей области автономного кобота

Алгоритм синтеза номинативно-локативных онтологий рабочей области производственного участка в нейропсихологической архитектуре мобильного робота основывается на принципе реализации автономного исследовательского поведения. Такое поведение является неотъемлемым компонентом феноменологии поведения естественных интеллектуальных агентов в реальной среде и имеет своей целью радикальное упрощение пространства определения проблем, онтологизируемых, идентифицируемых и решаемых интеллектуальным агентом в реальной среде, за счет снижения размерности этого пространства путем ввода в рассмотрение ограничений, связанных с актуальной картиной мира, которую строит этот интеллектуальный агент, как сумму онтологий системы «робот – среда».

Формирование модели мира как преформатирование пространства решения проблем обеспечивает редукцию пространства альтернатив при решении задачи синтеза поведения агента в реальной среде как по осям, так и по значениям параметров на этих осях. Например, такая редукция априори переопределяет любую задачу в некоторой локации с учетом фактических ограничений и свойств этой локации, выраженных в ранее построенных онтологиях, описывающих существенные свойства этой локации (локативные онтологии).

Для того чтобы интеллектуальный агент приступил к исследовательскому поведению, необходимо, чтобы в его нейрокогнитивной архитектуре была заранее сформирована динамическая функциональная система, мотивирующая такое поведение в формате проблемной ситуации, разрешение которой связано с поиском новых знаний (рис. 5). На рисунке представлен фрагмент нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента, включающий в себя интеллектоны подсознания и сознания.

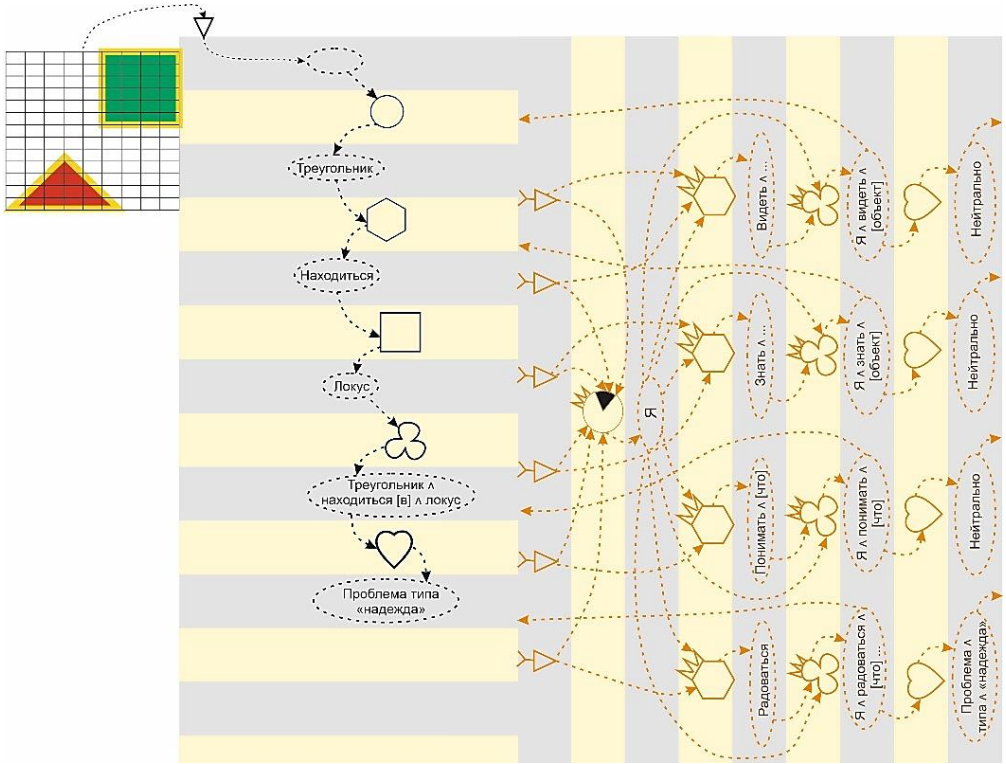


***Рис. 5**. Фрагмент динамической функциональной системы мотивации исследовательского поведения кобота в психоортогональной паре интеллектонов подсознания и сознания интеллектуального агента*

***Fig. 5**. A fragment of the dynamic functional system for motivating a cobot's exploratory behavior within a psycho-orthogonal pair of intellectons comprising the subconscious and the conscious of an intelligent agent*

При *психоортогональном подключении* [10] интеллектон сознания анализирует наличие в интеллектоне подсознания функциональных систем, отвечающих за распознавание и обработку определенных объектов, отношений и событий, и в случае отсутствия таких функциональных систем констатирует наличие проблемы типа «надежда», решение которой сулит обоим интеллектонам вознаграждение, которое функциональная система мотивации к исследовательскому поведению сделает доступным в этом случае.

Для автономного мобильного кобота на производственном участке мотивация к исследовательскому поведению в соответствии с вышеописанными принципами детерминирована необходимостью решения проблем, идентифицированных в связи с отсутствием в нейрокогнитивной архитектуре подсознания функциональных систем агнейронов, отвечающих за представление объектов и агентов в рабочей области, ранее не знакомых интеллектуальному агенту, информация о наличии которых в некоторой локации, попавшей в рецептивное поле афферентной подсистемы робота, предобработана и передана для рассмотрения в интеллектон подсознания.

Первым изменением в составе этого интеллектона в этом случае должно стать производство (порождение) с помощью *функции нейрогенеза* [17] *концептуальных объектных агнейронов*, которые в дальнейшем будут выполнять функциональную репрезентацию онтологизируемого объекта.

Сущность процесса онтологизации проблемы, которая в данном случае связана с наличием незнакомого объекта, состоит в том, чтобы вписать факт наличия объекта в рабочей области в систему причинно-следственных зависимостей, из которых состоит картина (онтологическая модель) мира (производственного участка) мобильного кобота. Для того чтобы вписать новый объект в систему причинно-следственных зависимостей, необходимо найти все причины и следствия события, связанного с обнаружением этого объекта.

Мультиагентный нейрокогнитивный алгоритм поиска причины состоит в том, что интеллектон сознания мотивирует интеллектон подсознания к воспоминанию (поиску) предыдущих событий, которые могли бы стать причиной, а интеллектон подсознания выполняет такой поиск. Для этого, в частности, используется алгоритм онтонейроморфогенеза, который ставит в соответствие друг другу события, устойчиво повторяющиеся друг за другом в системе «интеллектуальный агент – среда» [5].

Для поиска следствия интеллектон сознания мотивирует интеллектон подсознания на активное ожидание наступления событий, которые могут быть интерпретированы и оформлены как следствия соответствующими нейрокогнитивными контрактами – также на основе алгоритма онтонейроморфогенеза.

Если онтологизируемый объект находится от робота на расстоянии, превышающем расстояние возможного контакта (прикосновения) робота с помощью его манипуляторов, то в качестве тактического действия интеллектон подсознания применяет сближение с объектом.

Для этого робот использует маршевые двигатели, вращающие его колеса, и корректирует свой курс, ориентируясь на показания компаса, лидара и дальномеров.

Локативная онтология рабочей области, применимая для эффективного выполнения задач назначения робота в этой области, должна позволять этому роботу в дальнейшем быстро и точно решать задачи ориентации на объекты, расположенные в этой рабочей области, и перемещения к данным объектам.

Для этого в нейрокогнитивной архитектуре интеллектуального агента используются *локативные, временные и событийные агнейроны*, а также *агнейроны действия* и *объектные агнейроны* (рис. 6). Как видно из этого рисунка, локативные агнейроны (представленные на рисунке пиктограммой в форме квадрата) вступают с агнейронами действия в контрактные отношения, в соответствии с которыми локативные агнейроны получают от агнейронов действия вознаграждение в случае, когда они отправляют этим, последним, агнейронам однозначно идентифицирующее их самих сообщение в ответ на запрос «Где?». Тем самым они реализуют в нейрокогнитивной архитектуре подсознания семантические отношения обстоятельства места.

Аналогично временные агнейроны (на рисунке – каплевидная форма, обращенная направо острым концом) отвечают на вопрос «Когда?».

Как следует из рис. 6, система мультиагентных контрактов, заключаемых агнейронами различных типов с целью описания факта пребывания некоторого объекта в некоторой локации в определенное время, таким образом, формирует в нейрокогнитивной архитектуре интеллектона динамическую функциональную систему, выполняющую роль онтологии в картине мира интеллектуального агента, в составе которой номинативная часть описывается концептуальным объектным агнейроном, а локативная часть – локативными и временными агнейронами. При этом и те и другие агнейроны связаны между собой посредством контрактов, которые они заключают с агнейронами действий и событийными агнейронами.

На рис. 6 также показано, что с целью обеспечения решения задач ориентации и навигации мобильного робота, реализации пространственных рассуждений при синтезе планов поведения робота локативные агнейроны заключают друг с другом и с агнейронами действий нейрокогнитивные мультиагентные контракты, характеризующие относительное расположение в реальной среде производственного участка тех локаций, функциональную репрезентацию которых выполняют эти локативные агнейроны. Можно сказать, что такие локативные агнейроны благодаря этим контрактам организуются в своеобразное «поле», или в активную «карту» местности, в которой каждая онтологизированная локация представлена локативным агнейроном.

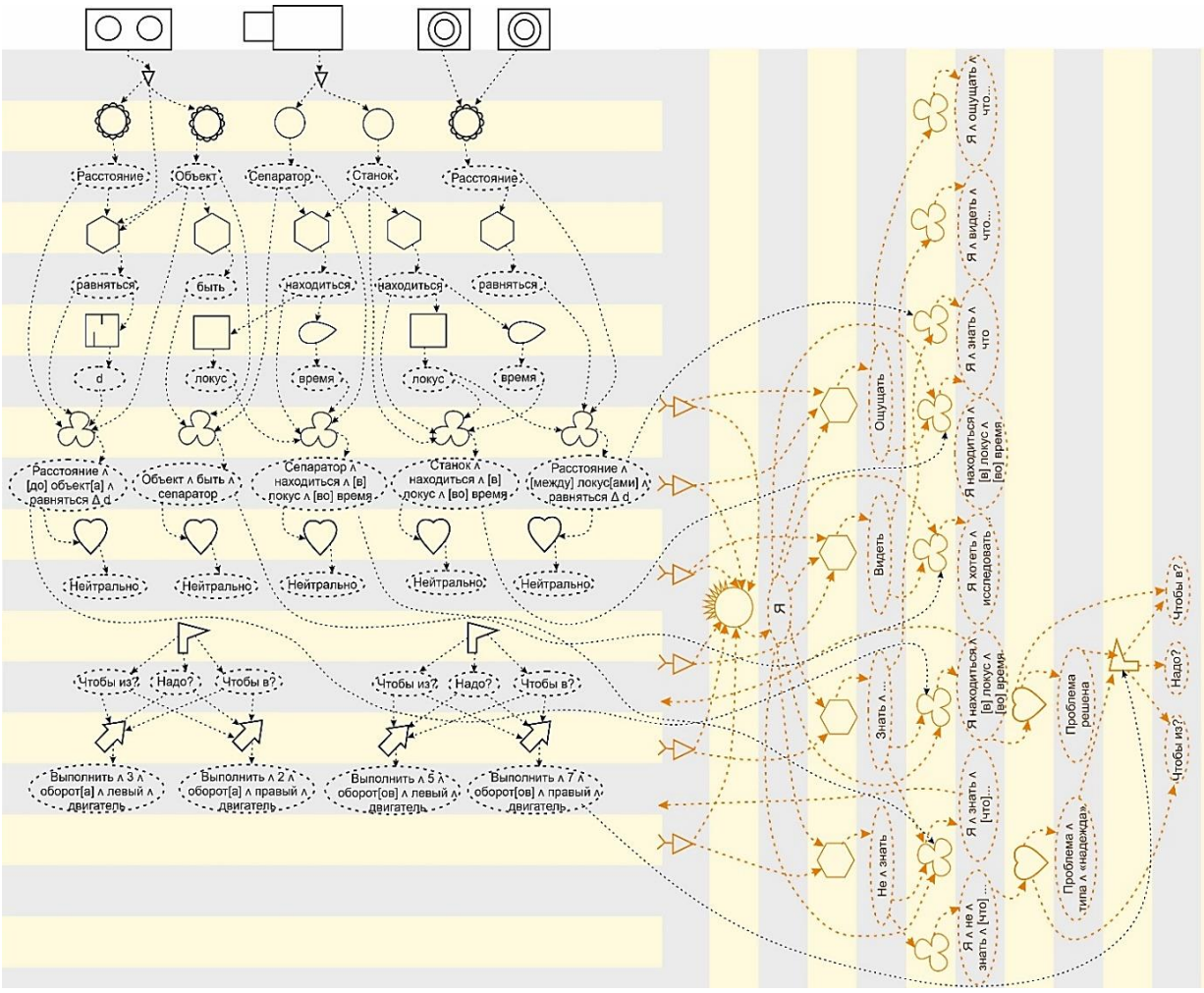


***Рис. 6**. Фрагмент мультиагентного алгоритма синтеза номинативно-локативных онтологий рабочей среды производственного участка в нейропсихологической архитектуре управляющего интеллектуального агента кобота*

***Fig. 6**. A fragment of a multi-agent algorithm for synthesizing nominative-locative ontologies of a production area's working environment within a cobot's intelligent agent neuropsychological control architecture*

В начале реализации алгоритма интеллектуальный агент онтологизирует свою текущую локацию как стартовую. Далее кобот движется в направлении нового объекта, подлежащего онтологизации до выхода на расстояние срабатывания логического датчика боли. После чего кобот останавливается. При движении он использует данные с датчиков поворотов маршевых колес и компаса для того, чтобы измерить расстояния и азимуты от данной локации до места остановки. В нейрокогнитивной архитектуре на основании этих данных синтезируется динамическая функциональная система, описывающая пространственные отношения стартовой и текущей локаций.

Относительно всех локаций, в которых побывал сам кобот, в нейрокогнитивной архитектуре интеллектона создается функциональная система, события которой описывают факт пребывания кобота в некоторой локации в некоторое время. Таким образом, кобот в таких номинативно-локативных мультиагентных фактах выступает сам в роли номинанта.

При онтологизации объектов, к которым кобот подъехал на расстояние вытянутой руки, интеллектуальный агент формирует в нейрокогнитивной архитектуре интеллектона подсознания номинативно-локативный мультиагентный факт, в котором в качестве номинанта выступает данный объект, а в качестве локуса – локация, в которой этот объект находится.

По мере того как кобот исследует всю рабочую область производственного участка, новых предметов в ней не остается, так как такие номинативно-локативные мультиагентные факты строятся интеллектуальным агентом для всех объектов, обнаруженных коботом в этой области.

Так как афферентные подсистемы кобота работают в режиме обработки непрерывных потоков многомодальных данных, получаемых с сенсорных систем, интеллектуальный агент в общем случае не успевает сразу же обработать информацию обо всех обнаруженных новых объектах. Поэтому проблемы типа «надежда», связанные с ожиданием вознаграждения от системы мотивации в случае реализации плана построения номинативно-локативной онтологии, должны с помощью *эмоциональных агнейронов* (на рисунках представлены пиктограммой в форме «сердечка») распределить приоритеты между всеми динамическими функциональными системами, описывающими такие проблемы. После чего интеллектон сознания должен организовать последовательное решение этих проблем на основе использования механизма произвольного переключения внимания между ними.

Заключение

Исследованы процессы построения номинативно-локативных онтологий в системе интеллектуального управления поведением агента в реальной среде. Показана принципиальная возможность синтеза таких онтологий в управляющей нейропсихологической архитектуре автономного мобильного робота в ограниченной частично структурированной части реального мира.

Разработан мультиагентный алгоритм автономного синтеза номинативно-локативных онтологий рабочей области в нейропсихологической архитектуре интеллектуального агента, управляющего поведением мобильного кобота на производственном участке.

Полученные результаты могут быть применены для разработки теоретических оснований, методов и алгоритмов обучения интеллектуальных автономных коботов согласованному целенаправленному кооперативному поведению в составе человеко-машинных коллективов, действующих в реальной производственной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

2. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

3. *Апшев А. З., Аталиков Б. А., Канкулов С. А. и др.* Онтофилогенетические алгоритмы синтеза фенотипов интеллектуальных программных агентов для применения в задачах многопоколенной оптимизации управляющих нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91

4. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* «Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185

5. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63. EDN: QZTFLN

6. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

7. *Cohen Y., Biton A., Shoval S.* Fusion of computer vision and ai in collaborative robotics: A review and future prospects // Applied Sciences. 2025. Vol. 15. No. 14. Art. 7905.

8. Das R., Chaudhari P. Neurosim: A fast simulator for neuromorphic robot perception. Препринт. https://arxiv.org/pdf/2602.15018

9. *Mitrokhin A., Sutor P., Fermüller C., Aloimonos Y.* Learning sensorimotor control with neuromorphic sensors: Toward hyperdimensional active perception // Science Robotics. 2019. Vol. 4. No. 30. DOI: 10.1126/scirobotics.aaw6736

10. *Нагоев З. В.* Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208

11. *Nagoev Z.V.* Multiagent recursive cognitive architecture // Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society, in Advances in Intelligent Systems and Computing series, Springer. 2012. Pp. 247–248.

12. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

13. *Хьюбел Д.* Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.

14. *Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U.* Architecture and algorithm of the information security system for autonomous intelligent systems and complexes // Information Society. 2025. No. 1. Pp. 118–127. DOI: 10.52605/16059921_2025_01_118

15. *Pshenokova I., Anchokov M., Kankulov S. et al.* Simulation model of the decentralized control of autonomous software agents' teams and mobile robots // In: Samsonovich A.V., Liu T. (eds). Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024. BICA. Studies in Computational Intelligence. 2024. No. 477. Pp. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-76516-2_31

16. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // Cognitive Systems Research. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

17. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

REFERENCES

1. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

2. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior to automatically replenish ontologies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)

3. Apshev A.Z., Atalikov B.A., Kankulov S.A. et al. Ontophylogenetic algorithms for the synthesis of intellectual phenotypes of software agents for use in tasks of multigenerational optimization of control neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91. (In Russian)

4. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. "What does the brain do?", or Solving a priori undefined problems based on an autonomous agent behavior in real environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185. (In Russian)

5. Nagoev Z.V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 63–71. EDN: QZTFLX. (In Russian)

6. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

7. Cohen Y., Biton A., Shoval S. Fusion of computer vision and ai in collaborative robotics: A review and future prospects. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. No. 14. Art. 7905.

8. Das R., Chaudhari P. Neurosim: A fast simulator for neuromorphic robot perception. arXiv Preprint. https://arxiv.org/pdf/2602.15018

9. Mitrokhin A., Sutor P., Fermüller C., Aloimonos Y. Learning sensorimotor control with neuromorphic sensors: Toward hyperdimensional active perception. *Science Robotics*. 2019. Vol. 4. No. 30. DOI: 10.1126/scirobotics.aaw6736

10. Nagoev Z.V. Neuropsychological architecture of a general-purpose artificial intelligence agent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208. (In Russian)

11. Nagoev Z.V. Multiagent recursive cognitive architecture. *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the third annual meeting of the BICA Society*, *in Advances in Intelligent Systems and Computing series,* Springer. 2012. Pp. 247–248.

12. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovanie simvolov i mul'tiagentnye nejrokognitivnye modeli semantiki estestvennogo yazyka* [Symbol Grounding and Multi-Agent Neurocognitive Models of Natural Language Semantics]. Nalchik: Izdatelstvo KBNC RAS, 2022. 150 p. (In Russian)

13. Hubel D. *Glaz, mozg, zrenie* [Eye, brain, vision]. Moscow: Mir, 1990. 239 p. (In Russian)

14. Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U. Architecture and Algorithm of the Information Security System for Autonomous Intelligent Systems and Complexes. *Information Society*. 2025. No. 1. Pp. 118–127. DOI: 10.52605/16059921_2025_01_118

15. Pshenokova I., Anchokov M., Kankulov S. et al. Simulation model of the decentralized control of autonomous software agents' teams and mobile robots. In: Samsonovich A. V., Liu T. (eds). *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024*. *BICA*. Studies in Computational Intelligence. 2024. No. 477. Pp. 1–8. DOI: 10.1007/978-3-031-76516-2_31

16. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

17. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of consciousness of an agent of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КБНЦ РАН, тема «Разработка теоретических основ, алгоритмов, методов и прикладных систем создания интеллектуальных робототехнических комплексов полного цикла селекции и семеноводства зерновых культур» (№ 125033104604-9).

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment for KBSC RAS under the research project “Development of theoretical foundations, algorithms, methods, and applied systems for creating intelligent robotic complexes for the full cycle of breeding and seed production of grain crops” (No. 125033104604-9).

Информация об авторах

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-код: 6279-5857
Мамбетов Идар Арсенович, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-код: 5951-8195
Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960
Унагасов Алим Ахмедханович, мл. науч. сотр., Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
alim.unagasov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3828-7468
Шуганов Владислав Миронович, д-р с.-х. наук, зав. научно-инновационным центром «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
vmshuganov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5189-998X, SPIN-код: 6767-7554

Information about the authors

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-code: 6279-5857
Idar A. Mambetov, Researcher, Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
idar.mam12@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4723-9874, SPIN-code: 5951-8195
Olga V. Nagoeva, Researcher, Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
nagoeva_o@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2341-7960
Alim A. Unagasov, Junior Researcher, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
alim.unagasov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3828-7468
Vladislav M. Shuganov, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Scientific and Innovation Center “Intelligent Systems and Environments of Food Production and Consumption”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
vmshuganov@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5189-998X, SPIN-code: 6767-7554

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 004.89 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-260-270
LXQYVF

Основные принципы нейрокогнитивного представления и визуализации феногенетических данных

З. В. Нагоев✉, И. А. Пшенокова, М. И. Анчёков, А. А. Хамов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Актуальность данного исследования определяется необходимостью разработки теоретической базы функциональной репрезентации нейрокогнитивных моделей феногенетических процессов в интересах повышения производительности, качества и эффективности селекции растений и животных.

Цель исследования – разработка основных принципов и методов создания имитационных моделей феногенетических процессов.

Материалы и методы исследования. Разработка основных принципов и алгоритмов онтонейроморфогенетического моделирования и нейрокогнитивной визуализации феногенетических процессов. В основе нейрокогнитивных моделей феногенетических процессов лежит применение коллективов программных агентов универсального искусственного интеллекта в качестве агрегаторов гетеромасштабной и разнородной информации о сущности, характере и свойствах таких процессов, специализирующихся на сборе, накоплении, синтезе знаний, которые могут быть использованы для коллаборативного проектирования имитационных экспериментов и синтеза генотипов организмов, обеспечивающих генезис заданных фенотипических свойств.

Результаты. Разработаны некоторые принципы представления и визуализации гетеромасштабных многомодальных данных в функциональных репрезентациях сложных объектов и явлений реального мира в нейропсихологических архитектурах естественных интеллектуальных агентов. Разработаны основные принципы и алгоритмы онтонейроморфогенетического моделирования и нейрокогнитивной визуализации феногенетических процессов, использующие метафору проектирования решения проблем на основе децентрализованного синтеза агнейронами в составе нейропсихологической архитектуры планов поведения интеллектуального агента в пространстве его состояний.

Выводы. Результаты исследования могут быть применены для разработки методов и алгоритмов создания имитационных моделей феногенетических процессов.

Ключевые слова: нейропсихологическая архитектура, онтонейроморфогенетическое моделирование, нейрокогнитивное моделирование, нейрокогнитивная визуализация, феногенетические процессы

Поступила 04.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Анчёков М. И., Хамов А. А. Основные принципы нейрокогнитивного представления и визуализации феногенетических данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 260–270. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-260-270

© Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Анчеков М. И., Хамов А. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 68T42 Original article

Basic principles for neurocognitive representation and visualization of phenogenetic data

Z.V. Nagoev✉, I.A. Pshenokova, M.I. Anchekov, A.A. Khamov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. This research is driven by the need to develop a theoretical framework for the functional representation of neurocognitive models in phenogenetic processes, ultimately aiming to enhance the productivity, quality, and efficiency of plant and animal breeding.

Aim. To develop fundamental principles and methodologies for constructing simulation models of phenogenetic processes.

Research materials and methods. This research involves developing foundational principles and algorithms for ontoneuromorphogenetic modeling and the neurocognitive visualization of phenogenetic processes. The underlying neurocognitive models leverage software agent collectives representing a form of universal artificial intelligence. These agents act as aggregators of multi-scale, heterogeneous data regarding the nature, characteristics, and properties of the targeted processes. Specializing in knowledge acquisition, accumulation, and synthesis, the agents enable the collaborative design of simulation experiments and the synthesis of organism genotypes engineered to express specific phenotypic traits.

Results. Core principles have been established for representing and visualizing multi-scale, multimodal data within the functional models of complex real-world objects and phenomena, as embedded in the neuropsychological architectures of natural intelligent agents. Furthermore, fundamental principles and algorithms for "ontoneuromorphogenetic" modeling and the neurocognitive visualization of phenogenetic processes have been established. These methods utilize a problem-solving design metaphor based on the decentralized synthesis of behavioral plans by "agneurons" (agent-neurons) within the agent's neuropsychological architecture as it navigates its state space. The study establishes foundational principles for representing and visualizing multi-scale, multimodal data within the functional models of complex real-world objects and phenomena, reflecting their embedment in the neuropsychological architectures of natural intelligent agents.

Conclusions. The findings of this research provide a valuable basis for developing advanced methodologies and algorithms to engineer simulation models of phenogenetic processes.

Keywords: neuropsychological architecture, ontoneuromorphogenetic modeling, neurocognitive modeling, neurocognitive visualization, phenogenetic processes

Submitted 04.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Anchekov M.I., Khamov A.A. Basic principles for neurocognitive representation and visualization of phenogenetic data. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 260–270. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-260-270

Введение

В [1] предложена концепция нейрокогнитивного моделирования феногенетических процессов, дано общее описание проекта коллаборативной диалоговой системы имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта, приведены варианты использования такой системы в селекционно-семеноводческой деятельности. В основе нейрокогнитивных моделей феногенетиче-

© Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Anchekov M.I., Khamov A.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

ских процессов лежит применение коллективов программных агентов универсального искусственного интеллекта в качестве агрегаторов гетеромасштабной и разнородной информации о сущности, характере и свойствах таких процессов, специализирующихся на сборе, накоплении, синтезе знаний, которые могут быть использованы для коллаборативного проектирования имитационных экспериментов и синтеза генотипов организмов, обеспечивающих генезис заданных фенотипических свойств.

Данная работа посвящена более детальному анализу основных принципов представления и визуализации гетерогенных данных, используемых в нейрокогнитивных моделях феногенетических процессов.

В качестве *объекта исследования* рассматриваются основные принципы представления и визуализации гетеромасштабных многомодальных данных в функциональных репрезентациях сложных объектов и явлений реального мира в нейропсихологических архитектурах естественных интеллектуальных агентов.

Предмет исследования – возможность использования таких принципов для синтеза функциональных репрезентаций и визуализации гетерогенных гетеромасштабных феногенетических данных в нейропсихологической архитектуре агента универсального искусственного интеллекта.

Основные требования к нейрокогнитивным моделям феногенетических процессов

Под *феногенетическими процессами* для целей настоящего исследования мы понимаем формирование фенотипических признаков организмов в процессе реализации программы управления ростом и развитием, заложенной в геноме этого организма. Имитационная модель таких процессов, достаточно корректная для того, чтобы обладать прогностической силой, стала бы средством достижения качественного прорыва в селекции растений и животных, решении значительного количества критических биомедицинских проблем человека.

Такая имитационная модель должна позволять агрегировать и интерпретировать в режиме псевдореального времени как полное генетическое, так и полное фенотипическое описание организма, а также полный набор процессов экспрессии генов, непосредственно связывающих между собой оба эти описания.

Кроме того, эта модель должна реализовывать учет всей совокупности эпигенетических факторов, включая динамику физико-химических параметров среды обитания и развития организма.

В [1] обосновано, что имитационная модель феногенетических процессов должна строиться по принципу открытой системы в том смысле, что состав знаний, которые человечество накопило в отношении феногенетических процессов, с одной стороны, не является исчерпывающим, с другой стороны, он постоянно пополняется и, с третьей стороны, в целом не представляется возможным сразу включить в состав такой модели все знания, накопленные на данный момент.

Из этих условий вытекает следующее требование к имитационной модели феногенетических процессов: она должна поддерживать самые различные форматы входных данных, так как знания об этих процессах представлены как в текстовом, так и в графическом, формализованном вербальном, неформализованном внутреннем мнении специалистов, а также в результатах разномодальных измерений самых различных параметров, характеризующих эти процессы. В данном случае «поддерживать» в первую очередь означает уметь приводить все эти разнородные данные к единому внутреннему формату представления знаний, позволяющему развивать имитационную модель и использовать ее по прямому назначению – исследование характера протекания феногенетических процессов и формирование предиктивной аналитики в этой области.

Требование гетеромасштабности для имитационной модели таких процессов является принципиально важным, так как генетические процессы, протекающие на молекулярном

уровне, детерминируют процессы формирования фенотипических признаков, существенных только для уровня макроскопического восприятия человеком или измерения приборами. Инструментальная среда, в которой реализована такая имитационная модель, должна позволять быстро переходить с микроскопического на мезоскопический и макроскопический уровни рассмотрения феногенетических процессов, допуская при этом возможность исследования влияния конкретных факторов, формирующихся на одном из этих уровней рассмотрения, на явления, регистрируемые на двух других уровнях.

Конструктивный анализ подходов к имитационному моделированию, методов построения таких моделей и существующих инструментальных систем приводит нас к идее о безальтернативности метода *онтонейроморфогенетического* (*нейрокогнитивного*) *моделирования* для построения методологии создания феногенетических моделей.

Онтонейроморфогенетическое моделирование было впервые описано в [2, 3]. Позже родился термин «нейрокогнитивное моделирование», который в силу его компактности в настоящее время представляется применимым в качестве эквивалентного. Так как термин «онтонейроморфогенетический» в самом своем лексикологическом составе содержит основы, несущие коннотативную семантику детализации процесса, в зависимости от степени необходимости такой детализации будем в дальнейшем по контексту употреблять оба термина.

Онтонейроморфогенетическим моделированием объектов и явлений в [1–3] был назван процесс создания в мозге (системе управления) интеллектуального агента динамических мультиагентных нейронных функциональных систем, выполняющих задачи функциональной репрезентации этих объектов и явлений. Такие функциональные системы создаются с помощью сетей нейронов головного мозга, порождаемых функцией *нейрогенеза* и образующих связи в ситуативно детерминированном стиле на основе т.н. *мультиагентных нейрокогнитивных контрактов* [2, 3] в процессе онтологизации, идентификации и решения интеллектуальным агентом априорно определенных и новых проблем в реальной среде.

Функциональная система, сформировавшаяся таким образом, включает в свой состав только те агнейроны, которые описывают существенные, наиболее важные свойства всей проблемной ситуации, событий в ее составе, вовлеченных в них объектов, свойств и отношений. Повторное обращение к тем же проблемным ситуациям и событиям влечет за собой развитие описывающих их ранее сформированных динамических мультиагентных нейрокогнитивных функциональных систем путем вовлечения новых агнейронов либо формирование новых дополнительных функциональных систем с участием агнейронов, выполняющих в нейрокогнитивной архитектуре репрезентацию ранее вовлеченных событий, объектов, свойств и отношений. Таким образом, происходит инкрементное развитие онтонейроморфогенетической модели проблемной ситуации и событий в ней, расширение состава агнейронов, вовлеченных в работу динамических функциональных нейрокогнитивных систем, обеспечивающих ее работу.

Так как этот процесс вовлекает в себя нейроны головного мозга, а подход к созданию интеллектуальных систем управления поведением автономных программных и «телесных» (embodied) агентов на основе мультиагентных нейропсихологических архитектур, который мы развиваем в течение длительного периода времени [3, 4], основан на создании имитационных моделей нейронов головного мозга – т.н. программных «агентов-нейронов» (*агнейроны*), в указанных работах была постулирована принципиальная возможность создания онтонейроморфогенетических моделей феногенетических процессов в мультиагентной когнитивной архитектуре интеллектуального программного агента.

Представление об онтонейроморфогенетических моделях было развито в серии более поздних работ [5–7], в которых было показано, что подлинный смысл префикса «нейро» в терминах, характеризующих свойства вычислительных абстракций современной информатики, инспирированных строением и функциями нейронов головного мозга и составленных из них систем и сетей нервной системы, заключается именно в избирательной редукции пространства определения проблем (их составных компонентов), с которыми сталкивается интеллектуальный агент в

реальной среде, позволяющей, с одной стороны, радикально снизить мощность пространства альтернативных решений этих проблем за счет исключения из рассмотрения элементов реальной среды, несущественных для таких решений, и, с другой стороны, сохранить в нейрокогнитивных описаниях этих проблем действительно значимые свойства и отношения.

Нейрокогнитивная композиция и визуализация

Сущность процесса нейрокогнитивной визуализации состоит в организации комплекса согласованных действий агнейронов нейрокогнитивных компонентов нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента, результат которых во многом обратен динамическому формированию функциональных систем, обеспечивающих работу онтонейроморфогенетических моделей. Различие между созданием таких моделей и визуализацией содержащейся в них информации можно пояснить аналогией с процессами декомпозиции и композиции.

При формировании нейрокогнитивной функциональной системы происходит нейрокогнитивная редуцирующая декомпозиция проблемной ситуации, определенной как траектория в т.н. *пространстве поведения* интеллектуального агента, представляющем собой прямое произведение всех значений всех сенсоров и эффекторов этого интеллектуального агента друг на друга, в функционально эквивалентную ей траекторию интеллектуального агента в локальном пространстве определения данной проблемы (*локальное пространство проблемы*), представленную значениями входов и выходов агнейронов, вовлеченных в состав динамической функциональной системы, описывающей эту проблему.

В процессе нейрокогнитивной визуализации, наоборот, необходимо выполнить композицию, эксдуцирующую построенную онтонейроморфологическую модель за счет восстановления ранее элиминированных осей пространства определения и тем самым вновь переопределяющую рассматриваемую проблему в исходном пространстве поведения. Концепция нейрокогнитивных трансформаций пространства определения проблемы введена в [6].

Цель нейрокогнитивной редукции понятна – необходимо снизить вычислительную трудоемкость решения проблемы за счет ее переопределения в пространстве гораздо меньшей размерности.

Цель же нейрокогнитивной эксдукции становится ясной в связи с переходом к рассмотрению нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента (рис. 1).

В [8] ее гипотетический состав, структура и функции вводятся в связи с обоснованием необходимости интеллектуальному агенту, погруженному в реальную среду, одновременно решать не одну, а множество проблем. Пространства определения каждой из таких проблем, построенные динамически на основе нейрокогнитивной редукции, стремятся к состоянию минимальной достаточности своей размерности, которая должна быть такой, чтобы в дальнейшем обеспечить своевременную идентификацию проблемы по анализу событий, ее предваряющих, и оперативное решение (лучше – недопущение ее наступления).

Если идентификация и решение проблемы доведены до автоматизма, сознанию интеллектуального агента нет необходимости даже переключать внимание для обеспечения этих процессов. Однако в случае, когда идентификацию или решение проблемы не удается выполнить только силами функциональных систем подсознания, сознанию необходимо использовать механизм внимания для того, чтобы скорректировать алгоритмы идентификации и решения этой проблемы. Такая коррекция с необходимостью требует учета новых факторов, так как тех факторов, которые уже были учтены в редуцированных онтонейроморфогенетических моделях данной проблемы, оказалось недостаточно.

Для того чтобы учесть новые факторы, сознанию необходимо реконструировать исходные условия, в которых выполнялись процессы онтологизации алгоритмов идентификации и решения данной проблемы (метаалгоритмы). С этой целью сознание использует механизм внимания и специализированный компонент нейропсихологической архитектуры – *интерскрин*, основной задачей которого является синтез внутренних нейрокогнитивных

визуализаций сценариев возникновения, развертывания и решения проблем в том виде, в котором они наблюдались бы интеллектуальным агентом в реальной среде, т.е., в тех форматах, в которых многомодальный сенсорный поток представляет интеллектуальному агенту реальность в виде траектории в пространстве поведения.

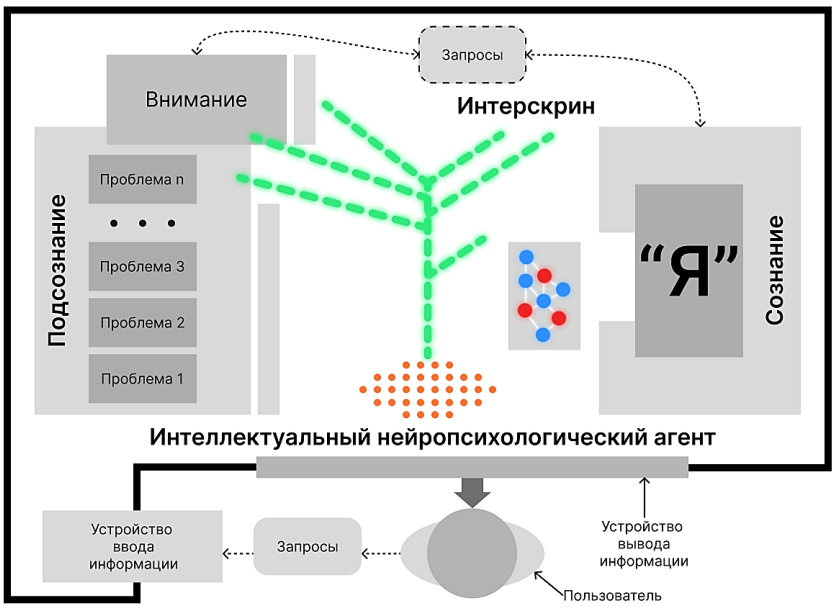


***Рис. 1**. Пользователь в картезианском театре нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента*

***Fig. 1**. A user within the Cartesian theater of an intelligent agent's neuropsychological architecture*

Иными словами, интерскрин по команде сознания переопределяет проблему в пространстве поведения за счет эксдуктивной композиции, достраивая ранее элиминированные оси. Интроспективно-рефлексивное осмысление феноменологии многозадачного решения проблем интеллектуального агента в реальной среде с использованием механизма двунаправленной нейрокогнитивной трансформации пространства определения этих проблем нейрокогнитивными компонентами нейропсихологической архитектуры – подсознанием, сознанием, вниманием и интерскрином – вероятнее всего, и породило в свое время весьма выразительную метафору *картезианского театра*.

Возвращаясь к проблеме нейрокогнитивного моделирования и визуализации феногенетических процессов, мы можем несколько расширить эту метафору, определив, что агент универсального искусственного интеллекта, выполняющий функции управления нейрокогнитивными моделями феногенетических процессов, может использовать мультиагентные алгоритмы динамической самоорганизации нейрокогнитивных компонентов нейропсихологической архитектуры для формирования онтонейроморфогенетических моделей и выполнять визуализацию в картезианском театре, доступном для просмотра не только своим нейрокогнитивным компонентам сознания и «Я», но и пользователю системы, формируя проблемные ситуации вокруг запросов пользователя и задач, которые он ставит этому интеллектуальному агенту в целях использования онтонейроморфогенетических моделей феногенетических процессов для решения задач назначения системы (рис. 1).

Цель данного исследования – разработка основных принципов и методов создания имитационных моделей феногенетических процессов.

Задача исследования – разработка основных принципов и алгоритмов онтонейроморфогенетического моделирования и нейрокогнитивной визуализации феногенетических процессов.

НЕЙРОКОГНИТИВНЫЙ СИНТЕЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ ФЕНОГЕНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

На рис. 2 представлен фрагмент мультиагентного алгоритма функциональной репрезентации нейрокогнитивной феногенетической модели в компоненте подсознания нейропсихологической архитектуры, где видно, что знания о генотипе и фенотипе растения представлены в нейрокогнитивной архитектуре подсознания интеллектуального агента в формате т.н. *мультиагентных фактов* [4], являющихся элементами динамических функциональных систем, состоящих из агентов-нейронов (агнейронов) различных типов, установивших между собой кооперативные отношения с целью максимизации значений своих комплексных целевых функций. Такая кооперация имеет своей непосредственной целью создание условий для получения метаболического вознаграждения от других агнейронов и резервуаров метаболитов, которые функционируют в составе нейропсихологической архитектуры.

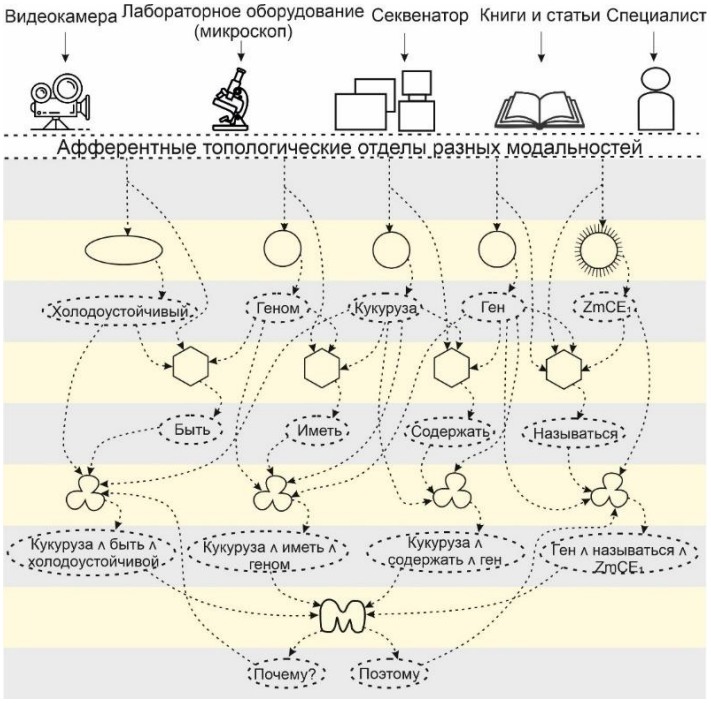


***Рис. 2**. Функциональная репрезентация феногенетических знаний в нейрокогнитивном компоненте подсознания нейропсихологической архитектуры интеллектуального агента*

***Fig. 2**. Functional representation of phenogenetic knowledge within the neurocognitive component of the subconscious, as part of the neuropsychological architecture of an intelligent agent*

Источником дополнительного вознаграждения для интеллектуального агента, погруженного в реальную кооперативную среду, является прежде всего пользователь системы, который поощряет интеллектуального агента за корректные прогнозы и нейрокогнитивные визуализации, выполненные по запросам в контексте вариантов использования нейрокогнитивной системы имитационного моделирования феногенетических процессов.

На рис. 2 показано, что нейрокогнитивная визуализация в системе должна выполняться таким образом, чтобы ее результаты, демонстрируемые подсознанием в интерскрине по запросам сознания, были бы доступны для непосредственного наблюдения пользователю системы. Иными словами, оператор должен иметь возможность просмотра представления, разворачивающегося в картезианском театре интеллектуального агента.

В состав мультиагентных фактов, представленных на рис. 2, входят т.н. *концептуальные объектные агнейроны* (пиктограммы в форме окружностей), *агнейроны отношений* (пиктограммы в форме шестиугольников, *агнейроны признаков объектов* (пиктограммы в форме

овала), *событийные агнейроны*. Семантика их взаимосвязей в составе мультиагентных нейрокогнитивных фактов соответствует семантике отношений между понятиями, выраженными словами различных частей речи в составе простого предложения. Эти концепты, таким образом, формируют предикативные конструкции, выполняющие в нейрокогнитивной архитектуре функциональную репрезентацию знаний интеллектуального агента о реальной среде [4, 9].

Преимущество такого представления, проиллюстрированное рис. 2, состоит в том, что к этому виду сводятся знания, полученные по самым разным входным каналам, в том числе знания, представленные в форматах различных модальностей.

Кроме того, знания в форме мультиагентных нейрокогнитивных фактов ассоциативно связаны друг с другом избирательными связями на основе нейрокогнитивных контрактов между агнейронами, которые входят в их состав. Это дает возможность обеспечивать рассуждения, выполняемые интеллектуальным агентом, вариантами альтернатив решения проблем.

На рис. 2 также представлен т.н. *моделирующий агнейрон* (пиктограмма в виде округлой буквы «М»), основная функция которого в составе нейрокогнитивной архитектуры состоит в построении и использовании причинно-следственных связей, обеспечивающих каузальность рассуждений интеллектуального агента.

Ассоциативные связи между отдельными агнейронами различных типов и причинно-следственные связи между моделирующими и событийными агнейронами формируются на основе алгоритма онтонейроморфогенеза. Сеть взаимосвязанных агнейронов, которая строится в результате, представляет собой онтонейроморфогенетическую модель предметной области (в данном случае – феногенетические процессы). Принципиальное значение имеет открытый характер такой системы представления знаний, который реализуется на основе способности алгоритма онтонейроморфогенеза к перманентной модификации состава нейрокогнитивных контрактов конкретных агнейронов, включая новые агнейроны, которые были добавлены в нейрокогнитивную архитектуру в ситуативно детерминированном контексте с помощью функции нейрогенеза. Инкрементный характер динамики знаний интеллектуального агента имеет принципиальный характер для поддержки рассуждений в интересах решения задач назначения системы имитационного моделирования феногенетических процессов.

Выполнение рассуждений интеллектуальным агентом осуществляется на основе процедуры децентрализованного синтеза путей в пространстве поведения интеллектуального агента, субоптимальных по критериям максимизации его сложной целевой функции. На рис. 3 представлен пример графа рассуждений, выполняемых интеллектуальным агентом, на котором изображены альтернативные сценарии прогнозирования развития фенотипа растения, проявляющиеся в зависимости от состава знаний, которые мультиагентная нейрокогнитивная архитектура содержит в своем составе на момент выполнения рассуждения.

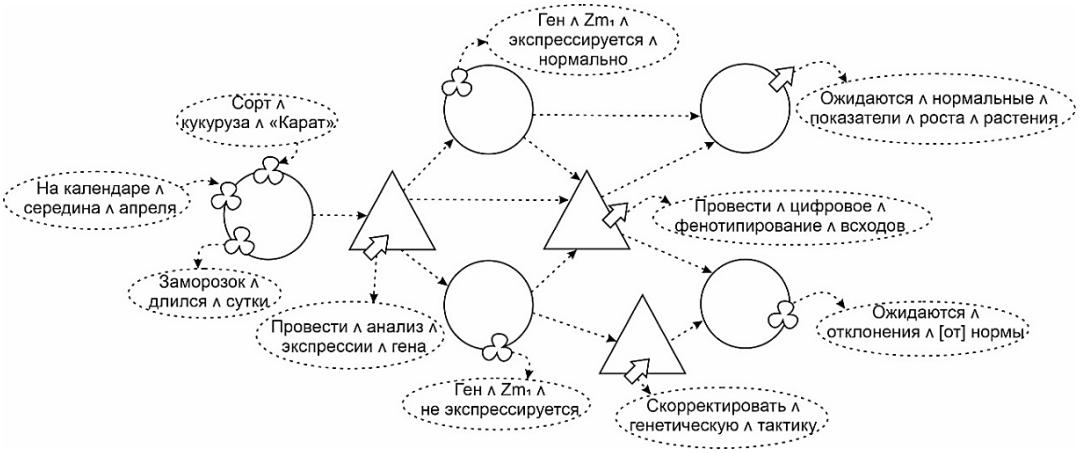


***Рис. 3**. Граф решения проблемы формирования ответа на запрос пользователя*

***Fig. 3**. Graph of the solution to the problem of generating a response to a user query*

Как следует из рисунка, состояния интеллектуального агента описываются конъюнктивными объединениями мультиагентных фактов, выраженных *событийными агнейронами* (пиктограммы в форме закругленных трилистников, расположенные на окружностях, символизирующих отдельные состояния). Действия интеллектуального агента описываются пунктирными дугами, содержащими пиктограммы в форме треугольников со встроенными в них широкими стрелками (пиктограмма стрелки обозначает т.н. *моторный агнейрон*). Моторные агнейроны описывают структуру акта действия, выполняемого интеллектуальным агентом, которая непосредственно управляет работой эффекторов этого агента.

При синтезе графа каждая вершина и дуга формируются сообществом агнейронов, входящих в состав динамических функциональных систем, представляющих собой нейрокогнитивные модели феногенетических процессов, построенных с помощью алгоритма онтонейроморфогенеза в процессе обучения интеллектуального агента по данным гетерогенных источников различных модальностей.

Таким образом, изменение состава мультиагентных феногенетических знаний вносит непосредственные изменения в работу децентрализованного алгоритма нейрокогнитивного синтеза пространства альтернатив и процедуру выбора субоптимального плана, что в пределе по мере обучения интеллектуального агента должно приводить к росту качества, точности и надежности работы системы.

Заключение

В результате выполнения данного исследования разработаны некоторые принципы представления и визуализации гетеромасштабных многомодальных данных в функциональных репрезентациях сложных объектов и явлений реального мира в нейропсихологических архитектурах интеллектуальных агентов.

Исследована возможность использования таких принципов для синтеза функциональных репрезентаций и визуализации гетерогенных гетеромасштабных феногенетических данных в нейропсихологической архитектуре агента универсального искусственного интеллекта.

Разработаны основные принципы и алгоритмы онтонейроморфогенетического моделирования и нейрокогнитивной визуализации феногенетических процессов, использующие метафору проектирования решения проблем на основе децентрализованного синтеза агнейронами в составе нейропсихологической архитектуры планов поведения интеллектуального агента в пространстве его состояний.

Результаты исследования могут быть применены для разработки методов и алгоритмов создания имитационных моделей феногенетических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пшенокова И. А., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч. и др.* Коллаборативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 209–224. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224

2. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63. EDN: QZTFLN

3. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

4. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

5. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* «Что делает мозг?», или Решение априорно не определенных проблем на основе синтеза поведения автономного агента в реальной среде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185

6. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170

7. *Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234

8. *Нагоев З. В.* Нейропсихологическая архитектура агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-207

9. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // Cognitive Systems Research. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

REFERENCES

1. Pshenokova I.A., Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch. et al. Collaborative dialogue system for plant simulation based on neuropsychological agents of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 209–224. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224. (In Russian)

2. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4 (54). Pp. 56–63. EDN: QZTFLN. (In Russian)

3. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

4. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovanie simvolov i mul'tiagentnye nejrokognitivnye modeli semantiki estestvennogo yazyka* [Symbol grounding and multi-agent neurocognitive models of natural language semantics]. Nalchik: Izdatelstvo KBNC RAS, 2022. 150 p. (In Russian)

5. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. “What does the brain do?”, or Solving a priori undefined problems based on an autonomous agent behavior in real environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 172–185. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-172-185. (In Russian)

6. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of consciousness of an agent of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)

7. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior to automatically replenish ontologies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)

8. Nagoev Z.V. Neuropsychological architecture of a general-purpose artificial intelligence agent. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 186–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-186-208. (In Russian)

9. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КБНЦ РАН, тема «Нейрокогнитивные методы и алгоритмы федеративного обучения мультиагентной имитационной модели процессов геннодетерминированного роста и развития растения» (№ 125032604485-2).

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment for KBSC RAS under the research project "Neurocognitive methods and algorithms for federated learning in a multi-agent simulation model of genetically determined plant growth and development processes" (No. 125032604485-2).

Информация об авторах

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-код: 6279-5857
Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. НИЦ «Интеллектуальные интегрированные информационно-управляющие системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-код: 3535-2963
Анчёков Мурат Инусович, заведующий лабораторией «Имитационное моделирование феногенетических процессов» НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-код: 3299-0927
Хамов Анзор Азаматгериевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
opitnoe2014@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3269-4572

Information about the authors

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
zaliman@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9549-1823, SPIN-code: 6279-5857
Inna A. Pshenokova, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Research Center "Intellectual Integrated Information and Management Systems", Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3394-7682, SPIN-code: 3535-2963
Murat I. Anchekov, Head of the Laboratory of Simulation Modeling of Phenogenetic Processes, Scientific Research Center of Intelligent Genetic Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
murat.antchok@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8977-797X, SPIN-code: 3299-0927
Anzor A. Khamov, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Breeding and Biotechnology, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
opitnoe2014@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3269-4572

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

УДК 681.5 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-271-285
MIQYCS

Моделирование, оптимизация и управление в распределительных энергетических системах

А. П. Преображенский[1], Я. Е. Львович[1], Т. В. Аветисян✉[1, 2], Ю. А. Клименко[1, 2]

[1]Воронежский институт высоких технологий
394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73А
[2]Колледж Воронежского института высоких технологий
394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73А

Аннотация. В современных условиях наблюдается повышенный интерес к созданию, оптимизации, моделированию и исследованию распределительных энергетических систем (РЭС). Это связано с тем, что формируется распределенный спрос со стороны потребителей преимущественно за счет небольших нагрузок, наблюдается рост диспропорций между крупными системами и мелкими потребителями, увеличивается доля «цифрового спроса» с высокими требованиями к качеству и надежности энергоснабжения, повышается конкурентоспособность распределенной генерации энергии.

Цель исследования – разработка методического подхода, на основе которого происходит рост экономической эффективности РЭС.

Материалы и методы. Статический анализ РЭС осуществляется через графовую модель и метод структурных матриц в рамках имитационного моделирования. При изучении РЭС рекомендуется начинать с учета характеристик, относящихся к трем указанным видам, и проводить оценку связей в системе экспертами. Другая задача, которая рассматривается в работе, связана с возможностью применения совершенствований внутри РЭС при учете оценок по принимаемым решениям. Формируется оптимизационная модель с соответствующими ограничениями. Для решения оптимизационной задачи предлагается применение алгоритмов «пожирающего» типа.

Результаты. В работе исследуется оптимизация управления РЭС, моделируемых как графовая структура с модулями в вершинах, решающими различные задачи. Формулируется задача однокритериальной оптимизации, где важно распределить задачи по вершинам таким образом, чтобы достичь оптимального значения с точки зрения минимизации применяемых ресурсов. Рассмотрена возможность использования эвристического подхода, на основе которого можно реализовать решение предлагаемой модели. Наблюдение проводится в течение определенного временного интервала. На основе теоретических подходов был проведен численный эксперимент и получены результаты, демонстрирующие работоспособность созданной в работе имитационной модели.

Заключение. Разработанный подход может быть использован на практике в ходе разработок и оптимизации различных видов РЭС.

Ключевые слова: моделирование, распределительные энергетические системы, оптимизация, алгоритм, оценка, управление

Поступила 04.06.2026, одобрена после рецензирования 15.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Преображенский А. П., Львович Я. Е., Аветисян Т. В., Клименко Ю. А. Моделирование, оптимизация и управление в распределительных энергетических системах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 271–285. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-271-285

© Преображенский А. П., Львович Я. Е., Аветисян Т. В., Клименко Ю. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

MSC: 65–11 Original article

Modeling, optimization, and control in distributed energy systems

A.P. Preobrazhenskiy[1], Ya.E. Lvovich[1], T.V. Avetisyan[✉ 1, 2], Yu.A. Klimenko[1, 2]

[1]Voronezh Institute of High Technologies
73A, Lenin street, Voronezh, 394043, Russia
[2]College of Voronezh Institute of High Technologies
73A, Lenin street, Voronezh, 394043, Russia

Abstract. In the current environment, there is heightened interest in the development, optimization, modeling, and study of distributed energy systems (DES). This is driven by several factors: the emergence of distributed consumer demand consisting primarily of small-scale loads a growing disparity between large-scale systems and small-scale consumers, an increasing share of "digital demand" with stringent requirements for power quality and reliability, and the rising competitiveness of distributed energy generation.

Aim. The development of a methodological approach that drives an increase in the economic efficiency of radio-electronic systems RES.

Materials and methods. The static analysis of distributed energy systems is performed through a graph-based model and the structural matrix method as part of simulation modeling. When studying the DES, it is recommended to begin by accounting for the characteristics of the three specified types and to have experts evaluate the connections within the system. The paper also considers the application of improvements within the DES based on the evaluations of adopted decisions. An optimization model is developed, subject to the relevant constraints. Greedy-type algorithms are proposed to address the formulated optimization problem.

Results. This study investigates the optimization of control for electronic systems DES. modeled as a graph structure, where the vertices represent modules that perform various tasks. A single-criterion optimization problem is formulated, focusing on the distribution of tasks across the vertices to achieve an optimal outcome in terms of minimizing the resources employed. The potential for using a heuristic approach to solve the proposed model is examined. The system is observed over a specific time interval. Based on theoretical frameworks, a numerical experiment was conducted, yielding results that demonstrate the viability of the simulation model developed in this work.

Conclusion. The developed approach can be practically applied in the design and optimization of various types of DES.

Keywords: modeling, distribution energy systems, optimization, algorithm, evaluation, management

Submitted 04.06.2026, approved after reviewing 15.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Preobrazhenskiy A.P., Lvovich Ya.E., Avetisyan T.V., Klimenko Yu.A. Modeling, optimization, and control in distributed energy systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 271–285. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-271-285

Введение

В течение долгого времени развитие энергетических систем шло по пути [1], когда в них выделялись три компоненты с точки зрения размещения и функционала:

1. Линии электропередачи с большой мощностью.
2. Центры производства электроэнергии.
3. Зоны потребления электроэнергии и местные распределительные сети.

В современных условиях наблюдается повышенный интерес к созданию, оптимизации, моделированию и исследованию распределительных энергетических систем (РЭС). Это связано с тем, что формируется распределенный спрос со стороны потребителей преимущественно за счет небольших нагрузок, наблюдается рост диспропорций между крупными

системами и мелкими потребителями, увеличивается доля «цифрового спроса» с высокими требованиями к качеству и надежности энергоснабжения [2, 3], повышается конкурентоспособность распределенной генерации энергии [4, 5].

Методы исследования. Для моделирования РЭС исследователями использовались различные подходы. Они базируются на методах оптимизации, экспертном анализе, тензорном анализе, методах принятия решений [6–8]. Активным образом применяются различные интеллектуальные технологии [9].

При моделировании РЭС можно выделить несколько классов достаточно крупных задач:

1. Учет экологических факторов, на которые влияют РЭС [10–13].
2. Прогнозирование нагрузок и энергопотребления в РЭС [14, 15].
3. Оптимизация генерирующих мощностей [16, 17].
4. Оценка экономической эффективности РЭС [18–20].

По последнему классу задач проведенный анализ продемонстрировал, что на настоящий момент проблема, связанная с оценкой экономической РЭС, не решена окончательным образом. В данной работе предлагается рассматривать РЭС в виде сложной системы, в различных компонентах которой решаются соответствующие задачи. Их необходимо решать таким образом, чтобы обеспечивалось наилучшее выполнение критерия минимизации расходуемых ресурсов. Также при совершенствованиях внутри РЭС можно обеспечить повышение экономической эффективности.

Цели и задачи исследования. Цель работы состоит в разработке методического подхода, на основе которого происходит рост экономической эффективности РЭС.

Описание задачи оптимизации управления в РЭС

Проведем рассмотрение постановки задачи по оптимизации управляющих воздействий в (РЭС).

Во многих случаях на основе графовой структуры есть возможности для того, чтобы представлять структуру РЭС. Пусть в ней есть выделяются *M* модулей. По таким модулям можно указать общее число задач, которые связаны с планированием и управлением – μ. Будем полагать, что в ходе рассмотрения модулей по любой из *e*-й задач могут быть сопоставлены соответствующие оценки. Например, они связаны со стоимостью $C_u^{(1)}$, продолжительностью $C_u^{(2)}$, надежностью $C_e^{(3)}$ и др., $e = \overline{1, \mu}$.

Кроме того, оценки $C_{es}^{(1)}, C_{es}^{(2)}, C_{es}^{(3)}, \ldots$ могут потребоваться в случаях, когда между *e*-й и *s*-й задачами наблюдается информационная связь, и она является известной. Требуется, чтобы в РЭС, которая представляется в виде графа [21], задачи были распределены по его вершинам таким образом, чтобы для однокритериальной оптимизации для критерия обеспечивалось получение оптимального значения. После этого происходит переход ко всему набору критериев, по которым осуществляется решение задачи.

Будем считать, что в рассматриваемой задаче *r* является общим числом вершин в графе информационных связей. Тогда ему можно сопоставить матрицу связности $\|k_{ij}\|$, $i = \overline{1, r}$; $j = \overline{1, r}$. В ходе ее рассмотрения будем анализировать элементы с индексами i < j, поскольку наблюдается симметрия элементов относительно главной диагонали.

Предлагается применение булевых переменных:

$$x_{e_i} = \begin{cases} 1, \textit{когда в } i-\textit{й вершине графа будет задача с номером } \boldsymbol{e}. \\ 0, \textit{иначе} \end{cases}$$

Формируем ограничения с учетом условий задач:

$$\sum_{e_i=1}^{\mu} x_{e_i} = 1, i = \overline{1,r};$$

$$\sum_{e_i=1}^{\mu} x_{e_i} \le r_e, e = \overline{1,\mu}. \quad (1)$$

В указанном выражении r_e соответствует количеству задач с e-м типом, $\sum_{e=1}^{\mu} r_e = n$.

За счет дополнительных переменных мы детализируем рассматриваемую нами модель:

$$y_{s_i} = \begin{cases} 1, \textit{когда в } j-\textit{й вершине графа будет задача с номером } \boldsymbol{s} \\ 0, \textit{иначе} \end{cases}$$

$$z_{e_i s_j} = \begin{cases} 1, \textit{когда в } i-\textit{й вершине графа будет задача с номером } \boldsymbol{e}, \\ \quad \textit{а в } j-\textit{й вершине графа будет задача с номером } \boldsymbol{s}. \\ 0, \textit{иначе} \end{cases}$$

Переменные x_{e_i} и y_{s_i} хотя и описываются одинаковым образом, относятся к разным вершинам, что позволяет отслеживать совпадение таких вершин. Ограничения по таким переменным $y_{s_i}, z_{e_i s_i}$ сформируем таким образом:

$$x_{e_i} - y_{s_j} = 0,\ i,\ j = \overline{1,r};\ s,l = \overline{l,\mu};\ i = j; e = s; \quad (2)$$

$$r \cdot x_{e_i} - \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{\mu} e_i s_j = 0,\ i = \overline{1,r}\,;\ e = \overline{1,\mu};$$

$$r \cdot y_{s_j} - \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{\mu} e_i s_j = 0,\ i = \overline{1,r}\,;\ e = \overline{1,\mu}. \quad (3)$$

Уравнение (2) соответствует ситуации, когда для x_{e_i} и y_{s_j} будет условие, что они равны. Ограничение (3) соответствует ситуации, когда при выполнении условия $x_{e_i} = y_{s_j} = 1$ обеспечивается $z_{e_i s_j}$= 1. В ходе формирования графа важно учитывать, что существуют связи между разными вершинами. В таком случае, если ориентироваться на l-й критерий качества для РЭС существуют возможности для получения суммарной оценки: $\sum_{i=1}^{r}\sum_{e=1}^{\mu} c_e^{(1)} x_{e_i} + \sum_{j=1}^{r}\sum_{i=1}^{r}\sum_{s=1}^{\mu}\sum_{e=1}^{\mu} c_{es}^{(1)} k_{ij} z_{e_i s_j}$.

Минимизация линейной формы определяет постановку задачи с учетом вышеуказанной матрицы связности:

$$c^{(1)} = \sum_{i=1}^{r}\sum_{e=1}^{\mu} c_e^{(1)} x_{e_i} + \sum_{j=1}^{r}\sum_{i=1}^{r}\sum_{s=1}^{\mu}\sum_{e=1}^{\mu} c_{es}^{(1)} k_{ij} z_{e_i s_j}.$$

Требуется также, чтобы выполнялись ограничения

$$\sum_{i=1}^{\mu} x_{e_i} = 1,\ i = \overline{1,r}\,;$$

$$\sum_{i=1}^{\mu} x_{e_i} = r_e,\ e = \overline{1,\mu};$$

$$x_{e_i} - y_{s_i} = 0,\ i,\ j = \overline{1,r};\ s,l = \overline{1,\mu};\ i = j;\ e = s;$$

$$r \cdot x_{e_i} - \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{\mu} e_i\, s_j = 0,\ i = \overline{1,r};\ e = \overline{1,\mu};$$

$$r \cdot y_{s_j} - \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{\mu} e_i\, s_j = 0,\ i = \overline{1,r};\ e = \overline{1,\mu}.$$

Могут быть использованы различные алгоритмы для решения такой задачи однокритериальной оптимизации [22]. Следует отметить, что при этом с целью определения интенсивности причинно-следственных связей необходимо рассматривать особенности функционирования отдельных компонентов. Для того чтобы на отдельные компоненты в РЭС падала меньшая нагрузка, можно применять резервные связи, опираться на методы системного анализа.

В данной работе предлагается на базе метода структурных матриц, а также подходов, связанных с анализом графов, сформировать методику статического анализа РЭС. В ходе ее реализации необходимо выполнить несколько этапов.

Начальный этап связан с определением вектора состояния системы РЭС. При этом по каждой из компонент будут определены выходы.

После этого необходимо для РЭС сформировать структурную матрицу. В ней компоненты будут соответствовать строкам, а соответствующие связи – столбцам. Тогда создается орграф *G*. Столбцы в матрице инцидентности *M(G)* связаны с дугами, а со строками будут связаны вершины. В дальнейшем сформированная структурная матрица может быть уточнена на основе указания прямых и обратных связей между задачами.

Для РЭС нами было предложено в ходе анализа в первую очередь учитывать характеристики, которые относятся к одному из трех видов:

- функционал, который связан с каждым из компонентов, задачами, решаемыми ими;
- связи с разной интенсивностью, которые будут среди задач;
- причины, которые определяют связи соответствующего вида.

Тогда для РЭС можно для задач, которые выполняются внутри компонентов, формировать матрицу связей. Ее структура следующая: для двух задач, соответствующих *j*-му столбцу и *r*-й строке, в матрице на их пересечении будет размещена характеристика связи между ними.

Эксперты осуществляют оценки связей. Если требуется, то компромиссный вариант будет записан в матрицу после того, как проведено обсуждение. Когда все задачи, выполняемые в компонентах РЭС, будут описаны, внутри ориентированного графа будут выделяться компоненты, которые характеризуются сильными связями.

В качестве промежуточного результата можно указать рекомендации по выбираемым компонентам. Они должны обеспечивать в дальнейшем проведение процедур объединения для получения всей системы РЭС.

Далее продемонстрируем основные этапы, соответствующие изучению РЭС. Прежде всего необходимо использовать статический анализ. После этого в процессах управления проводится изучение особенностей динамических аспектов. Прецеденты формируются за

счет того, что применяется идентификация. При этом для разных компонентов будут взаимным образом увязаны задачи.

Тогда по РЭС можно обеспечить получение таких ключевых характеристик:

- для каждой из компонент – время обработки в ней информации, а также среднее и максимальное время задержек при передаче информации;

- для каждой пары компонент – среднее и максимальное время переключения. Создание различных альтернативных вариантов формирования РЭС и в целом оценка эффективности работы ее структуры могут быть реализованы при рассмотрении результатов моделирования.

Формирование оптимизационной модели построения РЭС при оценке эффективности принимаемых решений

С точки зрения повышения эффективности управления РЭС важно опираться на такие принципы:

- стратегия управления должна быть как можно более централизованной;

- процессы управления должны быть как можно более гибкими, а также адаптивными;

- должны максимальным образом использоваться компоненты, относящиеся к разным уровням в процессах управления.

Пусть N рассматривается в виде множества компонентов разных видов, $|N| = n$. Те из них, которые будут входить в состав РЭС, обозначаем при помощи индекса J. Будем обозначать как M_i множество изменений в компонентах, связанных с их совершенствованием. Эти изменения будут реализовываться в течение некоторого периода. Будем считать, что есть список изменений M_i, который соотнесен с каждым из компонентов. При этом можно наблюдать непустые пересечения по множествам, а также одинаковые элементы в множествах изменений. Предположим, что применение шага по совершенствованию i на компоненте j определяет реализацию экономического эффекта c_{ij}. Кроме того, считаем, что те ресурсы, которые будут расходоваться, могут быть соотнесены с некоторым денежным выражением. Для энергетической компании существует ограничение по ресурсам величинами k, для внешних компаний значение ограничения равно B. В ходе построения модели мы будем считать, что происходит поступление денежных ресурсов, при шаге совершенствования i на компоненту j. При этом мы считаем, что есть a_{ij} единиц ресурсов энергетической компании, а также A_{ij} единиц, относящихся к внешним компаниям. Используем булевы переменные $x_{ij} \in \{0,1\}$, где $x_{ij} = 1$, когда шаги, связанные с совершенствованием $i \in M_i$, соответствуют энергетической компании и $j \in N$, $x_{ij} = 0$, если такие шаги соответствуют внешним компаниям.

Модель может быть представлена таким образом:

$$max \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} c_{ij} x_{ij} \tag{4}$$

с учетом условий $x_{ij} \in \{0,1\}, i \in M_j, j \in N$,

$$\sum_{i \in M_j} a_{ij} \leq b_{ij},\ j \in N,$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} A_{ij} x_{ij} \leq B.$$

Ресурсы энергетической компании и внешних компаний мы рассматривали как скаляры. При решении рассматриваемой задачи мы можем их соотнести с денежным представлением [23].

Анализ показывает, что могут возникнуть трудности в использовании стандартных подходов для решения оптимизационной задачи. Предлагается использовать приближенную методику, позволяющую получить требуемые решения.

В методике необходимо учитывать особенности каждой РЭС в ходе выбора шагов по совершенствованию. Корректировки могут потребоваться в тех случаях, когда приходится использовать ресурсы большего объема.

Распределение, являющееся первичным, будет возникать, если решается такая задача:

$$max \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_j} c_{ij} x_{ij} \tag{5}$$

с учетом ограничений

$$x_{ij} \in \{0,1\},\ i \in M_j,\ j \in N, \tag{6}$$

$$\sum_{i \in M_j} a_{ij} \le b_{ij},\ j \in N, \tag{7}$$

$$max \left\{ \sum_{i \in M_j} c_{ij} x_{ij} \left| \sum_{i \in M_j} a_{ij} x_{ij} < b_j \right. \right\}. \tag{8}$$

При этом, чтобы удовлетворить неравенство (5)–(8), необходимо определение булевых переменных x_{ij}. Они, если сравнивать с оптимальным значением c_0, которое относится к первому этапу, обеспечивают целевую функцию с максимальным значением. Чтобы этого достичь, используем эвристический алгоритм, который относится к пожирающему типу [24]. Для достижения планового решения необходимо обеспечить такую величину дополнительных средств:

$$\alpha = \sum_{j \in N} y_j^* - B. \tag{9}$$

При построении модели важно в рамках плана найти соответствующее совершенствование $\{x_{ij}^*\}$. При этом требуется для каждой из РЭС $j \in N$ реализовать максимальное значение эффективности. Тогда на данном этапе важно найти $i_0 = i_0(j)$ при j $\in N$, которое позволяет обеспечить выполнение $\gamma_{i_0 j} = \min\limits_{i \in Q_j} \frac{c_{ij}}{a_{ij}}$.

По возрастанию указанные величины нами будут распределены таким образом: $\gamma_{i_0 j} \le \gamma_{i_0 j_1} \le \ldots\ldots \le \gamma_{i_0 j_n}$.

Будем полагать последовательным способом, что $x_{i_0 j} = 0, x_{i_0 j 1} = 0$ и т.д., пока не дойдем до 1, имеющее минимальное значение, обеспечивающее $\tilde{\alpha} = \alpha - \sum_{k=1}^{n} \alpha_{i_0 j_k}$.

После этого по множествам Q_j и числу $\tilde{\alpha}$ процесс будет повторяться. Существуют особенности в использовании алгоритмов пожирающего типа. Исследователи ориентируются на то, что есть некоторое допустимое решение. После этого на базе соответствующих переменных это решение будет изменяться до тех пор, пока не встретится то значение решения, которое не является допустимым. Реализуемая процедура будет рассматриваться в виде двойственной по отношению к рассмотренной. Это связано с тем, что, прогнозируя решение, которое далеко от оптимального, мы можем уже не осуществлять в дальнейшем рассмотрение тех переменных, которые являются наименьшим образом выгодными.

Далее рассмотрим возможности проведения разработок в рамках динамической модели, которая позволяет определить времена применения совершенствований в РЭС. То есть выделяем *T* интервалов времени на всем периоде наблюдения системы. По каждому из таких интервалов может быть указана совокупность совершенствований, относящихся к конкретным РЭС. Такая совокупность в дальнейшем может быть дополнена с учетом появляющихся требований или устаревшие подходы могут быть исключены.

Необходимо, чтобы при рассмотрении общего эффекта по всем временным интервалам учитывалось ограничение по ресурсам. Когда по интервалу *t* наблюдаем использование совершенствования, то для временного интервала *t+1* мы можем осуществлять наблюдение соответствующего эффекта.

Предположим, что использование совершенствования $i \in M_{jt}$ для РЭС $j \in N$ соответствует значению булевой переменной $x_{ijt} \in \{0, 1\}$, где $x_{ijt} = 1$ для интервала *t*. Булева переменная будет $x_{ijt} = 0$ в противном случае. В таких случаях необходимо, чтобы целевая функция была максимизирована:

$$max \sum_{t=1}^{T} \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_{jt}} \Lambda(t) c_{ij} x_{ijt}, \tag{10}$$

при этом необходимо, чтобы были соблюдены следующие условия:

$$x_{ijt} \in \{0,1\},\ i \in M_{jt},\ j \in N,\ t = 1,2,\dots,T; \tag{11}$$

$$\sum_{i \in M_{jt}} \alpha_{jt} x_{ijt} \le b_{jt},\ j \in N,\ t = 1,2,\dots,T; \tag{12}$$

$$\sum_{i \in M_{j}} \alpha_{jt} x_{ijt} \le B_{t},\ j \in N,\ t = 1,2,\dots,T; \tag{13}$$

$$\sum_{t=1}^{T} x_{ijt} \le 1,\ i \in M_{jt},\ j \in N. \tag{14}$$

Выражения (11)–(13) могут рассматриваться в виде обобщения выражений (6)–(8). То, что совершенствование *i* применяется в РЭС *j* не более чем один раз, иллюстрируется при помощи выражения (14). Какой вид будет соответствовать функции Λ(t) в (10)? Будем считать, что коэффициент дисконтирования равен λ. Это позволяет при рассмотрении всех временных интервалов обеспечить получение общего эффекта ($\lambda^{t+1} + \lambda^{t+2} + \dots + \lambda^{T}$) c_{ij}. Тогда

$$\Lambda(t) = \frac{\lambda^{t+1} - \lambda^{T+1}}{1-\lambda}. \tag{15}$$

В работе рассматривались возможности использования эвристического подхода, в рамках которого можно реализовать решение модели (11)–(14). Анализ показывает, что наблюдается независимость переменных в ходе рассмотрения разных временных интервалов *t*. Нами было установлено, что целевая функция имеет максимальное значение в тех случаях, когда любая из величин

$$\sum_{j \in N} \sum_{i \in M_{jt}} c_{ij} x_{ijt} \tag{16}$$

будет иметь максимальные значения. Тогда максимизация (8) для $t = 1, 2,\ldots,T$ при ограничениях переменных x_{ijt} согласно (11)–(13) позволяет обеспечить решение задачи (10)–(13).

То есть требуется, чтобы были учтены ограничения (14), когда решается динамическая задача (10)–(14).

Мы будем предполагать, что $x_{ijt} = 1$ для i, j, t, которые соответствуют максимальным коэффициентам в целевой функции. При этом учитывается методология «пожирающих» методов [9]. Анализ демонстрирует, что при прочих равных условиях следует вводить совершенствования как можно раньше. Это видно из (10) и (15). Если мы придем к тому, что $x_{ijt} = 1$ для определенного шага t, тогда по таким i, j необходимо, чтобы $x_{ij\tau}=0$ для любых $\tau \geq t+l$.

Обеспечить это можно на основе такого подхода: предположим, что для шага t $Q_t = \{i, j | x_{ijt} = 1\}$. Кроме того, мы считаем, что $a_{ij} = \infty$ при $i, j \in Q_t$ и $t \in t+1,\ldots,T$. Это ведет к справедливости (14). Также мы можем провести анализ при других условиях. Будем считать, что для любого из совершенствований, начиная со второго года, внутренние ресурсы РЭС $b_{jt}, t \geq 2$, ведут к тому, что будет реализовываться доля γ_j прибыли Π_j^{t-1}, которая относится к предыдущем году. Ресурсы РЭС для первого года равны b_{j1}. Тогда прибыль по накоплению и потреблению определяется на основе соответствующей модели. Исходим также, что вследствие совершенствований будет равенство по экономическому эффекту от них и прибыли. Это приводит к тому, что для любых $t \geq 2$ справедливо

$$b_{jt} = \gamma_j \prod_j^{t-1} = \gamma_j \sum_{i \in M_{jt-1}} c_{ij} x_{ijt-1}.$$

Мы приходим к следующей задаче, соответствующей первому этапу:

$$max \left\{ \sum_{j \in N} \sum_{i \in M_{jl}} c_{ij}\, x_{ijl} \,\middle|\, \sum_{i \in M_{jl}} a_{ij}\, x_{ijl} \leq b_{jl}, \sum_{j \in N} \sum_{i \in V_{jl}} a_{ij} x_{ijl} \leq B_t \right\}.$$

Ее решение позволяет определять Π_j^2 однозначным образом. После этого можно опираться на пошаговую оптимизацию [25].

Результаты

I. Обоснование выбора параметров численного эксперимента.

Параметры модели выбраны с учетом типичных характеристик реальных распределительных энергетических систем (РЭС) среднего масштаба:

1) Число узлов $r = 89$ соответствует типовой распределенной энергетической системе промышленного района или крупного микрорайона, где узлы – это подстанции, распределительные пункты и ключевые точки учета. Такой масштаб позволяет выявить эффекты масштабирования без перехода к чрезмерно большим графам, где вычислительная сложность становится доминирующим фактором.

2) Число задач $\mu = 21$ отражает типичный набор управленческих и технологических задач в распределенной энергетической системе: планирование режимов, диспетчеризация, прогнозирование нагрузки, контроль качества электроэнергии, диагностика оборудования, учет ресурсов и др. Количество задач выбрано так, чтобы обеспечить разнообразие типов нагрузки на узлы и разнообразие связей между задачами.

3) Количество резервных связей 92 соответствует коэффициенту связности графа, близкому к 1,15 (92/89), что характерно для распределенных энергетических систем с развитой структурой резервирования и возможностью перераспределения потоков при отказах или пиковых нагрузках.

4) Период наблюдения $T = 5$ лет выбран как горизонт среднесрочного планирования в энергетике, достаточный для проявления экономического эффекта от мероприятий по совершенствованию и учету дисконтирования денежных потоков.

5) Длительность этапа совершенствования 4 месяца согласуется с типовыми сроками внедрения локальных оптимизационных мероприятий в распределительных сетях (настройка алгоритмов, обновление ПО, калибровка датчиков и т. п.).

Выбранные параметры обеспечивают репрезентативность результатов для практических задач управления РЭС среднего масштаба и позволяют корректно сравнивать эффективность различных методов оптимизации.

II. Сравнительный анализ методов оптимизации и статистическая оценка результатов.

Для оценки эффективности предложенного подхода были реализованы и сопоставлены три метода:

1) «Пожирающий» эвристический алгоритм (основной метод работы).

2) Генетический алгоритм с популяцией 100 особей и вероятностью мутации 0,05, числом поколений 200.

3) Жадный алгоритм общего вида (выбор шага с максимальной удельной эффективностью без учета будущих ограничений).

Сравнение проводилось по следующим метрикам:

– интегральный экономический эффект дает сумму дисконтированных эффектов за 5 лет;

– время расчета определяет среднее по 10 запускам на одном вычислительном узле;

– доля допустимых решений показывает процент запусков, удовлетворяющих всем ограничениям.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная эффективность алгоритмов оптимизации

Table 1. Performance comparison of optimization algorithms

Метод	**Интегральный эффект (отн. ед.)**	**Время расчета (с)**	**Доля допустимых решений (%)**
«Пожирающий» алгоритм	1,00 (базовый уровень)	3,2 ± 0,3	100
Генетический алгоритм	0,97 ± 0,03	48,5 ± 6,1	98
Жадный алгоритм общего вида	0,89 ± 0,04	2,1 ± 0,2	85

III. Статистическая оценка достоверности результатов выполнена с помощью t-критерия Стьюдента для парных выборок (уровень значимости $\alpha = 0,05$). Различия между «пожирающим» алгоритмом и жадным алгоритмом по интегральному эффекту статистически значимы ($p < 0,01$). По сравнению с генетическим алгоритмом различия в эффекте не являются статистически значимыми ($p > 0,05$), однако «пожирающий» алгоритм демонстрирует существенно меньшее время расчета и 100%-ную долю допустимых решений, что критически важно для практического применения.

IV. Репрезентативность ключевых операционных показателей.

Указанные в работе значения времени обработки информации (среднее – 0,15 с, максимальное – 0,24 с) и времени переключения (среднее – 0,13 с, максимальное – 0,27 с) получены как усредненные по всем компонентам и временным интервалам в ходе имитаци-

онного моделирования. Эти значения соответствуют реальным характеристикам современных систем сбора и передачи данных в распределительных сетях при использовании типовых протоколов обмена и каналов связи.

Прирост прибыли не менее 7 % в год является нижней оценкой экономического эффекта, полученной при консервативных предположениях о стоимости мероприятий и величине ресурсов. В отдельных сценариях (при более высокой доле внутренних ресурсов и благоприятных темпах роста тарифов) эффект достигал 9–11 % в год. Таким образом, заявленный уровень прироста прибыли является репрезентативным для рассматриваемого класса РЭС и подтверждает практическую значимость предложенного подхода.

Полученные результаты подтверждают, что предложенный подход обеспечивает высокую экономическую эффективность при минимальных вычислительных затратах и гарантированной допустимости решений, что делает его предпочтительным для оперативного планирования в РЭС.

Заключение

В работе показана возможность применения оптимизационного подхода для реализации управления в РЭС с целью минимизации используемых ресурсов. Существуют возможности для того, чтобы оценить эффективность работы компонентов, входящих в состав РЭС, то, как применяются мероприятия по их совершенствованию. Ориентация была прежде всего на ресурсы самих систем, что позволило предложить применение «пожирающих» алгоритмов. Они используются для решения формируемой задачи линейного программирования. Отбор различных совершенствований будет достигнут, если будет наблюдаться максимизация интегрального эффекта. Если в ходе отбора совершенствований требуется, чтобы собственных ресурсов было больше, тогда относительно первоначального варианта следует осуществить отклонение. В таком случае будет возможность для того, чтобы по внешним ресурсам обеспечить удовлетворение по ограничениям подхода и направлению дальнейших исследований.

Предложенный подход имеет следующие ограничения:

1) Линейная аппроксимация целевой функции и ограничений. В реальных условиях зависимости могут быть нелинейными (например, эффект масштаба, нелинейные штрафы за задержки).

2) Дискретизация по времени. Использование фиксированных временных интервалов может не учитывать быстрые динамические изменения в РЭС, требующие более детального временного разрешения.

3) Предположение о стационарности параметров. Значения *cij*, *aij*, *bjt* считаются известными и неизменными в пределах интервала *t*, тогда как в реальности они могут меняться под влиянием внешних факторов.

4) Ограниченный учет неопределенности. Модель не включает явные механизмы учета неопределенности спроса, цен и надежности оборудования.

Направления дальнейшего развития:

– интеграция стохастических и робастных подходов для учета неопределенности параметров;

– разработка адаптивных алгоритмов, способных корректировать план мероприятий в реальном времени;

– расширение модели за счет нелинейных зависимостей и многокритериальной оптимизации (надежность, экологичность, стоимость);

– применение методов машинного обучения для прогнозирования параметров модели и автоматической настройки весов критериев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чжао С.* Трудности в реализации новой энергетической стратегии России и перспективы китайско-российского энергетического сотрудничества // Китайское славяноведение. 2023. Vol. 3. No. 2. Pp. 263–285. DOI: 10.1515/cjss-2023-0010

2. *Баринова В. А., Девятова А. А., Ломов Д. Ю.* Роль цифровизации в глобальном энергетическом переходе и в российской энергетике // Вестник международных организаций. 2021. Т. 16. № 4. С. 126–145. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-04-06

3. *Полякова Л. П., Татаринов Н. С.* Использование возобновляемых источников энергии в Арктике: применение ветроэнергетических установок в Воркутинском районе // Управленческий учет. 2022. № 11-1. С. 311–317. DOI: 10.25806/uu112022311-317

4. *Петров В. Л., Кузнецов Н. М., Морозов И. Н.* Управление спросом на электроэнергию в горнопромышленном секторе на основе интеллектуальных электроэнергетических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 2. С. 169–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_169

5. *Крон Г.* Тензорный анализ сетей / Пер. с англ. под. ред. Л. Т. Кузина, П. Г. Кузнецова. М.: Советское радио, 1978. 720 с.

6. *Вуколов В. Ю., Жаринов И. В., Кокорев А. А., Обалин М. Д.* Оптимизация конфигурации распределительных электрических сетей на основе теории Марковских процессов // Вестник НГИЭИ. 2022. № 6(133). С. 59–70. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-6-59-70

7. *Советов Б. Я., Яковлев С. А.* Моделирование систем: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2009. 343 с.

8. *Фролов В. Н., Львович Я. Е., Подвальный С. Л.* Проблема оптимального выбора в прикладных задачах. Воронеж: ВГУ, 1980. 140 с. EDN: QCFQZZ

9. *Львович Я. Е.* Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. Воронеж: Кварта, 2006. 415 с. EDN: QWNPUN

10. *Горелая О. Н.* Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб. пособие. Гомель: БелГУТ, 2023. 198 с.

11. *Mimenbayeva A., Muratova G., Issakova G. et al.* Energy consumption prediction in Kazakhstan using machine learning techniques // University Proceedings. 2025. No. 4(101). Pp. 466–472.

12. *Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N., Kholikhmatov B.B.* Development of software for forecasting rational energy consumption at industrial enterprises // Problems in Modern Science and Education. 2022. No. 7(176). Pp. 15–18.

13. *Джанполадов В. А.* Прогнозирование динамического энергопотребления за счет переключений на этапе планировки физического проектирования ИС с использованием машинного обучения // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). 2022. № 3. С. 45–52. DOI: 10.31114/2078-7707-2022-3-45-52

14. *Беркинов Э. Х., Валихонова М. И. К.* Технические решения по снижению потерь энергии в линиях электропередачи высокого напряжения // Universum: Technical Sciences. 2025. № 6(135). С. 4–8. URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20450

15. *Грачева Е. И., Хвостовец О. А., Хвостовец Р. О.* Снижение потерь электроэнергии в сетях промышленных предприятий // Вестник ПИТТУ имени академика М. С. Осими. 2024. № 2(31). С. 39–44.

16. *Аминов Д. В., Кузнецова Е. В.* Экономическая эффективность энергосбережения // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 2. С. 2. EDN: MHABAE

17. *Razakov M.A., Gorbenko A.V., Sartekenova S.A., Razakova R.V.* The distribution of capital investments in the construction process for multifunctional buildings // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 231. Pp. 415–423.

18. *Долотовский И. В., Ларин Е. А., Долотовская Н. В.* Системный анализ энергетического комплекса предприятий подготовки и переработки газа. Саратов: Буква, 2014. 325 с.

19. *Шатихин Л. Г.* Структурные матрицы и их применение для исследования систем. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1991. 253 с.

20. *Питолин М. В., Преображенский Ю. П.* Управление распределенными энергетическими системами на основе методов оптимизации и экспертных подходов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Том. 8. № 1. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.031

21. *Клименко Ю. А. Преображенский А. П.* Разработка моделей и методов управления распределительными энергетическими системами в реальном времени // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. Том. 16. № 3. Доступно по: https://vestnikvivt.ru/ru/journal/pdf?id=64

22. *Аветисян Т. В., Львович Я. Е., Преображенский А. П.* Моделирование и оптимизация работы распределительной энергетической системы // Системы управления и информационные технологии. 2022. № 4(90). С. 4–8. DOI: 10.36622/VSTU.2022.90.4.001

23. *Conejo A.J., Castillo E., Mínguez R., García-Bertrand R.* Decomposition techniques in mathematical programming: engineering and science applications. Springer, 2009.

24. *Kusakana K.* Optimal scheduling for distributed hybrid renewable energy system with multiple electric vehicles // Renewable Energy. 2018. Vol. 122. Pp. 257–266.

25. *Zhang L., Li G., Wang J.* Multi-objective optimization of microgrid operation considering economic and environmental benefits // Energy. 2020. Vol. 207. ID. 118234

REFERENCES

1. Zhao X. Di culties in implementing Russia's new energy strategy and prospects for sino-russian energy cooperation. *Chinese Journal of Slavic Studies.* 2023. Vol. 3. No. 2. Pp. 263–285. DOI: 10.1515/cjss-2023-0010. (In Russian)

2. Barinova V.A., Devyatova A.A., Lomov D.Yu. The role of digitalization in the global energy transition. *International Organisations Research Journal*. 2021. Vol. 16. No. 4. Pp. 126–145. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-04-06. (In Russian)

3. Polyakova L.P., Tatarinov N.S. Use of renewable energy sources in the Arctic: application of wind power plants in Vorkuta district. *Management Accounting*. 2022. No. 11-1. Pp. 311–317. DOI: 10.25806/uu112022311-317. (In Russian)

4. Petrov V.L., Kuznetsov N.M., Morozov I.N. Electric energy demand management in mining industry using smart power grids. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022. No. 2. Pp. 169–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_169. (In Russian)

5. Kron G. *Tenzornyy analiz setey* [Tensor Analysis of Networks]. Transl. from English; eds. by L.T. Kuzin, P.G. Kuznetsov. Moscow: Sovetskoye radio, 1978. 720 p. (In Russian)

6. Vukolov V.Yu., Zharinov I.V., Kokorev A.A., Obalin M.D. Optimization of the distribution network configuration electrical networks based on the theory of Markov processes. *Bulletin NGIEI*. 2022. No. 6(133). Pp. 59–70. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-6-59-70. (In Russian)

7. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modelirovaniye sistem* [System Modeling]: a textbook for higher education institutions. 5th ed., revised and supplemented. Moscow: Vysshaya Shkola, 2009. 343 p. (In Russian)

8. Frolov V.N., Lvovich Ya.E., Podvalny S.L. *Problema optimal'nogo vybora v prikladnykh zadachakh* [The Problem of Optimal Choice in Applied Problems]. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 1980. 140 p. EDN: QCFQZZ. (In Russian)

9. Lvovich Ya.E. *Mnogoal'ternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya* [Multi-alternative Optimization: Theory and Applications]. Voronezh: Kvarta, 2006. 415 p. EDN: QWNPUN. (In Russian)

10. Gorelaya O.N. *Vodootvodyashchiye sistemy promyshlennykh predpriyatiy* [Drainage Systems of Industrial Enterprises]: Study Guide. Gomel: BelGUT, 2023. 198 p. (In Russian)

11. Mimenbayeva A., Muratova G., Issakova G. et al. Energy consumption prediction in Kazakhstan using machine learning techniques. *University Proceedings*. 2025. No. 4(101). Pp. 466–472.

12. Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N., Kholikhmatov B.B. Development of software for forecasting rational energy consumption at industrial enterprises. *Problems of Modern Science and Education*. 2022. No. 7(176). Pp. 15–18.

13. Janpoladov V.A. Machine learning-based switching power prediction at floorplan stage of IC physical design. *Problems of Advanced Micro- and Nanoelectronic Systems Development (MES)*. 2022. No. 3. Pp. 45–52. DOI: 10.31114/2078-7707-2022-3-45-52. (In Russian)

14. Berkinov E.Kh., Valikhonova M.I.K. Technical solutions for reducing energy losses in high-voltage power transmission lines. *Universum: Technical Sciences.* 2025. No. 6(135). Pp. 4–8. URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20450. (In Russian)

15. Gracheva E.I., Khvostovets O.A., Khvostovets R.O. Reducing electricity losses in industrial enterprises networks. *Bulletin of the Polytechnical Institute of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi.* 2024. No. 2(31). Pp. 39–44. (In Russian)

16. Aminov D.V., Kuznetsova E.V. Economic efficiency of energy saving. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019. Vol. 11. No. 2. P. 2. EDN: MHABAE. (In Russian)

17. Razakov M.A., Gorbenko A.V., Sartekenova S.A., Razakova R.V. The distribution of capital investments in the construction process for multifunctional buildings. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. Vol. 231. Pp. 415–423.

18. Dolotovsky I.V., Larin E.A., Dolotovskaya N.V. *Sistemnyy analiz energeticheskogo kompleksa predpriyatiy podgotovki i pererabotki gaza* [Systems Analysis of the Energy Complex of Gas Treatment and Processing Enterprises]. Saratov: Bukva, 2014. 325 p. (In Russian)

19. Shatikhin L.G. *Strukturnyye matritsy i ikh primeneniye dlya issledovaniya sistem* [Structural Matrices and Their Application to System Analysis]. 2nd ed., revised and expanded. Moscow: Mashinostroenie, 1991. 253 p. (In Russian)

20. Pitolin M.V., Preobrazhenskiy Yu.P. Management of distributed energy systems on the basis of optimization methods and expert approaches. *Modeling, optimization and information technology*. 2020. Vol. 8. No. 1. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.031. (In Russian)

21. Klimenko Yu.A., Preobrazhenskiy A.P. The development of models and methods for managing distribution energy systems in real time. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2022. Vol. 16. No. 3. https://vestnikvivt.ru/ru/ journal/pdf?id=64. (In Russian)

22. Avetisyan T.B., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy A.П. Modeling and optimisation of the power distribution system. *Control Systems and Information Technology.* 2022. No. 4(90). Pp. 4–8. DOI: 10.36622/VSTU.2022.90.4.001. (In Russian)

23. Conejo A.J., Castillo E., Mínguez R., García-Bertrand R. Decomposition techniques in mathematical programming: engineering and science applications. Springer, 2009.

24. Kusakana K. Optimal scheduling for distributed hybrid renewable energy system with multiple electric vehicles. *Renewable Energy*. 2018. Vol. 122. Pp. 257–266.

25. Zhang L., Li G., Wang J. Multi-objective optimization of microgrid operation considering economic and environmental benefits. *Energy*. 2020. Vol. 207. ID. 118234

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Преображенский Андрей Петрович, д-р техн. наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий;
394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73А;
app@vivt.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6911-8053
Львович Яков Евсеевич, д-р техн. наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий;
394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73А;
office@vivt.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7051-3763
Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель, колледж Воронежского института высоких технологий;
394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73А;
vtatyana_avetisyan@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3559-6070
Клименко Юрий Алексеевич, преподаватель, колледж Воронежского института высоких технологий;
394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73А;
klm71165@mail.ru

Information about the authors

Andrey P. Preobrazhensky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh Institute of High Technologies;
73A, Lenin street, Voronezh, 394043, Russia;
app@vivt.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6911-8053
Yakov E. Lvovich, Doctor of Technical Sciences Professor, Voronezh Institute of High Technologies;
73A, Lenin street, Voronezh, 394043, Russia;
office@vivt.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7051-3763
Tatiana V. Avetisyan, Lecturer, College of Voronezh Institute of High Technologies;
73A, Lenin street, Voronezh, 394043, Russia;
vtatyana_avetisyan@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3559-6070
Yuri A. Klimenko, Lecturer, College of Voronezh Institute of High Technologies;
73A, Lenin street, Voronezh, 394043, Russia;
klm71165@mail.ru

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.15:631.526.32:631.524.022(470.63)
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-286-296
MSPXUF

Адаптивный потенциал и продуктивность раннеспелых гибридов кукурузы при летних сроках посева в условиях предгорной зоны Ставропольского края

А. Г. Горбачева, А. А. Татарканов, Р. С. Ковалев✉

Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы
357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14о

Аннотация. Интенсификация отрасли кормопроизводства и объективная необходимость рационального использования пахотных угодий диктуют потребность во внедрении технологий повторных (поукосных и пожнивных) посевов сельскохозяйственных культур. Предгорная зона Ставропольского края по климатическим условиям соответствует таким посевам.

Цель исследования – изучение возможности использования восьми раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы селекции института в летних сроках посева для получения зерна.

Методы. Исследование проводилось на опытных полях ФГБНУ ВНИИ кукурузы в Предгорном районе Ставропольского края. Посев проводился в три срока. Агротехника в опыте общепринятая для зоны. Данные обрабатывались методом двухфакторного дисперсионного анализа. Установлено, что смещение сроков посева на летний период (июнь) приводит к существенному изменению хозяйственно ценных признаков.

Результаты. Выявлено сокращение периода «посев – всходы» на 5–7 суток и периода «всходы – цветение початков» на 13–17 суток. Дисперсионный анализ доказал существенное влияние срока посева на урожайность зерна. Максимальная урожайность во все годы исследований отмечена у гибрида Ньютон (до 7,6 т/га при оптимальном сроке и до 6,1 т/га при первом летнем сроке).

Заключение. Полученные данные позволяют рекомендовать гибриды Ньютон и Машук 175 МВ для возделывания в поукосных и пожнивных посевах. Посев не позднее первой декады июня обеспечивает получение сухого зерна. Урожай второго летнего срока посева позволяет получить высокоэнергетическую силосную массу с влажностью зерна до 40 %.

Ключевые слова: кукуруза, гибриды, летние посевы, поукосные посевы, урожайность зерна, уборочная влажность, дисперсионный анализ, экологическая пластичность, фотопериод

Поступила 24.04.2026, одобрена после рецензирования 26.05.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Горбачева А. Г., Татарканов А. А., Ковалев Р. С. Адаптивный потенциал и продуктивность раннеспелых гибридов кукурузы при летних сроках посева в условиях предгорной зоны Ставропольского края // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 286–296. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-286-296

© Горбачева А. Г., Татарканов А. А., Ковалев Р. С., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Original article

Adaptive potential and productivity of early-maturing maize hybrids under summer sowing conditions in foothill zone of Stavropol Krai

A.G. Gorbacheva, A.A. Tatarkanov, R.S. Kovalev✉

All-Russian Research Institute of Corn
14o, Yermolov street, Pyatigorsk, 357528, Russia

Abstract. The intensification of the forage production sector and the objective need for the rational use of arable land necessitate the adoption of technologies for sequential cropping (post-harvest and post-mowing sowings). The climatic conditions of the Stavropol Krai foothill zone are suitable for such cropping practices.

Aim. The study aimed to investigate the feasibility of using eight early- and mid-early-maturing maize hybrids developed by the institute for summer sowing for grain production.

Methods. The study was conducted on the experimental fields of the All-Russian Research Institute of Corn (VNIIK) in the Predgorny District of Stavropol Krai. Sowing was carried out at three different sowing dates. Standard agronomic practices for the region were employed in the experiment. Data were processed using two-way analysis of variance. It was established that shifting the sowing date to the summer period (June) leads to significant changes in agronomically valuable traits.

Results. Reductions of 5–7 days in the "sowing-to-emergence" period and 13–17 days in the "emergence-to-ear-flowering" period were observed. Analysis of variance demonstrated a significant effect of sowing date on grain yield. Maximum productivity throughout all years of study was observed in Newton hybrid (up to 7.6 t/ha at optimal time and up to 6.1 t/ha during first summer sowing).

Conclusion. The obtained data allow recommending the Newton and Mashuk 175 MV hybrids for cultivation in post-mowing and post-harvest sowings. Sowing no later than the first decade of June ensures obtaining dry grain. The yield from the second summer sowing date allows for the production of high-energy silage mass with a grain moisture content of up to 40 %.

Keywords: maize, hybrids, summer sowing, post-harvest sowing, grain yield, harvest moisture content, analysis of variance, ecological plasticity, photoperiod

Submitted 24.04.2026, approved after reviewing 26.05.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Gorbacheva A.G., Tatarkanov A.A., Kovalev R.S. Adaptive potential and productivity of early-maturing maize hybrids under summer sowing conditions in foothill zone of Stavropol Krai. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 286–296. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-286-296

Введение

Интенсификация отрасли кормопроизводства и объективная необходимость рационального использования пахотных угодий диктуют потребность во внедрении технологий повторных (поукосных и пожнивных) посевов сельскохозяйственных культур [1, 2]. В системе конвейерного производства кормов кукуруза (Zea mays L.) занимает лидирующие позиции, являясь ценным источником транзитного крахмала, полноценного белка и углеводов [3, 4].

© Gorbacheva A.G., Tatarkanov A.A., Kovalev R.S., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

В условиях Юга России, характеризующимся продолжительным безморозным периодом (160–180 дней) и достаточной суммой эффективных температур (до 3000 °С), данная культура выступает оптимальным вариантом для летних сроков сева, позволяя существенно повысить общую продуктивность севооборота [5–7].

Вместе с тем возделывание кукурузы в нетипичные (смещенные) сроки сопряжено с комплексным воздействием ряда абиотических стрессоров. К числу лимитирующих факторов относятся: сокращающийся фотопериод, дефицит продуктивной влаги в посевном слое почвы на начальных этапах онтогенеза, а также высокий риск воздействия ранних осенних заморозков в критический период налива зерна [8, 9]. Многочисленные исследования подтверждают, что скорость потери влаги зерном, равно как и интенсивность накопления сухой биомассы в подобных условиях, определены генетическими особенностями конкретного гибрида [10, 11]. Кроме того, пожнивные остатки предшественников и промежуточных культур оказывают существенное влияние на круговорот элементов питания и воспроизводство почвенного плодородия, что требует адаптации агротехнологических приемов [12, 13]. Поэтому необходим подбор раннеспелых генотипов, обладающих высокой нормой реакции на изменение параметров внешней среды и способных формировать стабильный урожай полноценного зерна или высококачественной зеленой массы в предельно сжатые сроки вегетации [14–16].

В связи с этим поставлена цель выделить лучшие гибриды селекции института для поукосных и пожнивных посевов. Задача исследований – комплексная оценка раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы, выявление закономерностей формирования продуктивности и выделения наиболее адаптивных генотипов в условиях зоны достаточного увлажнения Ставропольского края.

Материалы и методы

Полевые эксперименты закладывались в 2022–2024 гг. на опытном поле ФГБНУ ВНИИ кукурузы, расположенном в Предгорном районе Ставропольского края (зона достаточного увлажнения). Объектами исследований служили 8 гибридов кукурузы различных групп спелости (ФАО 135–210): Сибирский 135, Воронежский 145 МВ, Нур, Машук 168, Машук 171, Машук 175 МВ, Байкал, Ньютон. Посев был проведен в три срока: оптимальный (1-й вариант) – 22 апреля в 2022 г., 26 апреля в 2023 г., 19 апреля в 2024 г.; первый срок летнего посева (2-й вариант) – 8 июня в 2022 г., 9 июня в 2023 г., 7 июня в 2024 г.; второй срок летнего посева (3-й вариант) все три года был осуществлен 29 июня. Опыты заложены на делянках с учетной площадью 15,68 м^2 в трех повторениях. Почвы опыта – карбонатные с выщелоченным черноземом, содержание гумуса в слое 0–20 см около 4 %. Агротехника общепринятая для зоны, фон питания естественный, норма высева – 70 тыс. зерен/га на всех вариантах опыта. Посев проводился вручную, для борьбы с сорняками использовали гербицид Аденго с нормой внесения 0,45 л/га, обработки от вредителей и болезней не проводились.

Осадков выпадает 500–550 мм в год, основное количество которых (300 мм) приходится на вегетационный период с мая по август. Сумма эффективных температур в этой зоне достигает 3000 °С, что вполне достаточно для получения урожая зерна кукурузы.

Гибриды оценивали по основным хозяйственно ценным показателям: период посев-всходы, количество дней от всходов до цветения 50 % початков, урожай зерна при 14 % влажности, уборочная влажность зерна, высота растений, ломкость растений ниже початка, поражение пузырчатой головней.

Погодные условия, особенно количество выпавших осадков в период вегетации, являются определяющими при использовании летних посевов для получения урожая зерна. Наиболее благоприятными по количеству осадков были 2022 и 2023 годы. За вегетационный период с мая по октябрь выпало 331,6 и 335,4 мм осадков соответственно. Их распределение было довольно благоприятным, особенно в критические периоды: появление всходов, цветение и налив зерна. Основное количество осадков в эти годы выпало с первой декады мая по третью декаду июня (172,8 в 2022 г. и 228,98 мм в 2023 г.), что способствовало дружному появлению всходов в первом и втором сроках летнего посева. Несмотря на то, что в июле и августе осадки были незначительные, запаса влаги в почве хватило для получения зерна кукурузы. Максимальные среднесуточные температуры воздуха в 2022 и 2023 годах пришлись на август – соответственно 24,3 и 25,0 ^{0}C.

2024 год оказался весьма неблагоприятным по погодным условиям, наблюдались засуха и более высокие температуры. Осадков в период с мая по октябрь выпало всего 144,8 мм, что более чем вдвое ниже нормы. В критические периоды цветения и налива зерна в июле и августе осадки составили всего 0,5 мм. Среднесуточные температуры с июля по август были выше среднемноголетних значений на 2–2,7 °C (табл. 1).

Таблица 1. Количество осадков и среднесуточные температуры воздуха за 2022–2024 гг.

Table 1. Precipitation amounts and average daily air temperatures for 2022–2024

Месяцы	Осадки, мм			Температура воздуха, °C		
	2022 г	2023 г	2024 г	2022 г	2023 г	2024 г
Май	80,3	95,3	76,3	14,2	14,9	13,7
Июнь	92,5	133,6	46,0	21,1	20,0	23,1
Июль	7,4	38,5	0	22,5	22,8	24,5
Август	1,2	5,0	0,5	24,3	25,0	23,0
Сентябрь	53,5	50,0	10,5	18,3	18,4	18,6
Октябрь	96,7	13,0	11,5	12,1	12,2	14,4
Всего	331,6	335,4	144,8			

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием программного комплекса AGROS-2.09. Оценивались существенность различий $НСР_{05}$ и доля влияния факторов (срок посева, генотип и их взаимодействие).

Результаты исследований

Анализ продолжительности межфазных периодов выявил зависимость скорости прохождения онтогенеза от сроков посева. Установлено, что при оптимальном сроке посева период от посева до полных всходов составлял в среднем 12–14 суток. При смещении посева на летний период (варианты 2 и 3) данный показатель достоверно сокращался до 6–8 суток. Подобное ускоренное прорастание семян физиологически обосновано более высоким температурным фоном почвы в июне-июле.

Период «всходы – цветение початков» также подвергся изменению. Если при весеннем посеве фаза цветения наступала через 53–65 дней, то при летних сроках этот интервал сократился до 41–48 дней (рис. 1).

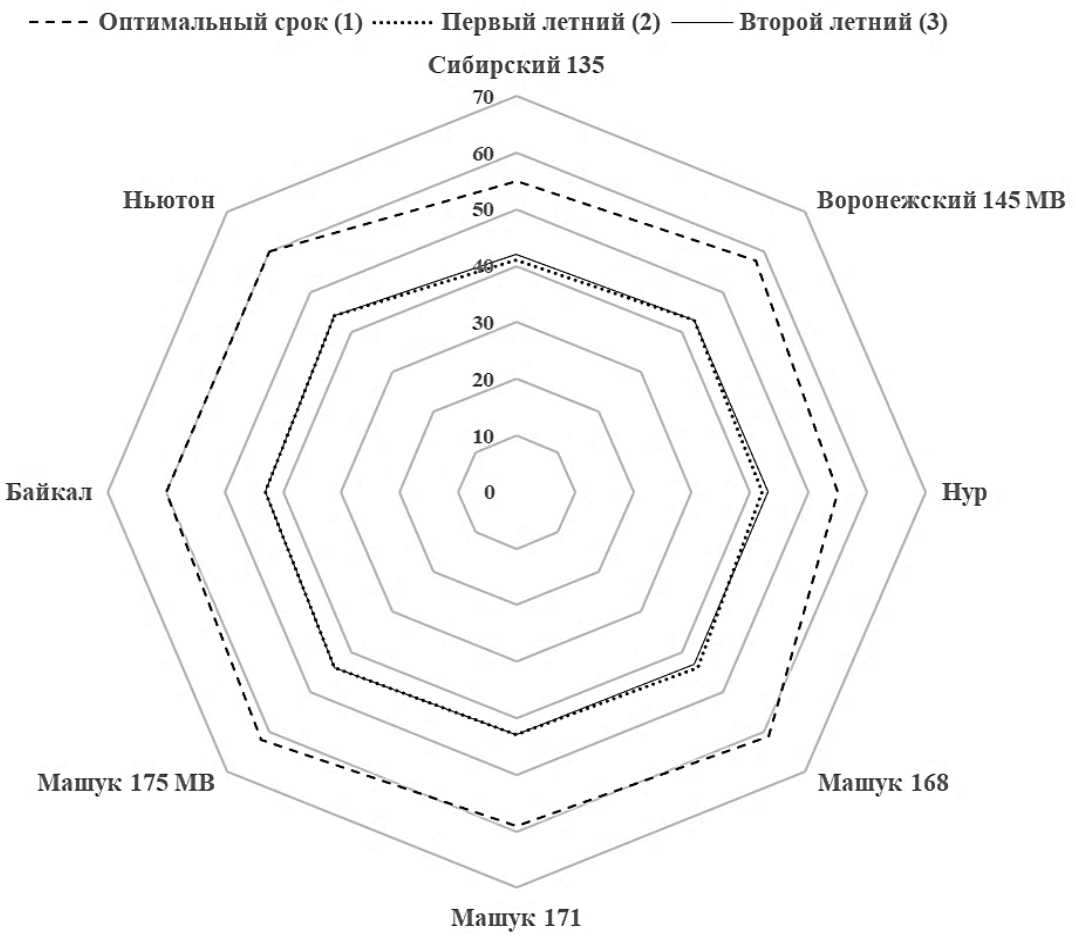


***Рис. 1**. Количество дней от всходов до цветения початков (среднее за 2022–2024 гг.)*

***Fig. 1**. Number of days from emergence to cob flowering (2022–2024 average)*

Сокращение продолжительности периода вегетации закономерно отразилось на габитусе растений. Выявлено статистически значимое снижение высоты растений при летних сроках сева. Например, у гибрида Сибирский 135 высота снижалась со 197 см (1-й срок, 2022 г.) до 133 см (3-й срок, 2024 г.). Наиболее высокорослыми во всех вариантах оставались гибриды Машук 171, Байкал и Ньютон. Снижение высоты растений объясняется реакцией растений короткого дня на изменение фотопериода: ускоренный переход к генеративному развитию происходит в ущерб формированию вегетативной массы.

Урожайность зерна (при стандартной влажности 14 %) выступала главным критерием адаптивности. Результаты 2022–2024 гг. демонстрируют высокую вариабельность признака как по годам, так и по вариантам опыта.

В благоприятном по влагообеспеченности 2023 году были получены максимальные показатели: на оптимальном фоне урожайность варьировала от 5,6 т/га (Сибирский 135) до 7,6 т/га (Ньютон). При первом летнем сроке урожайность снизилась, но оставалась на рентабельном уровне – от 3,9 до 6,1 т/га. Второй летний срок показал резкое падение продуктивности (2,4–4,7 т/га).

Условия 2024 года оказались более жесткими, что привело к общему снижению урожайности: максимум при первом сроке составил 4,9 т/га (Ньютон), при третьем – 2,8 т/га (Машук 168 и Машук 175 МВ) (рис. 2).

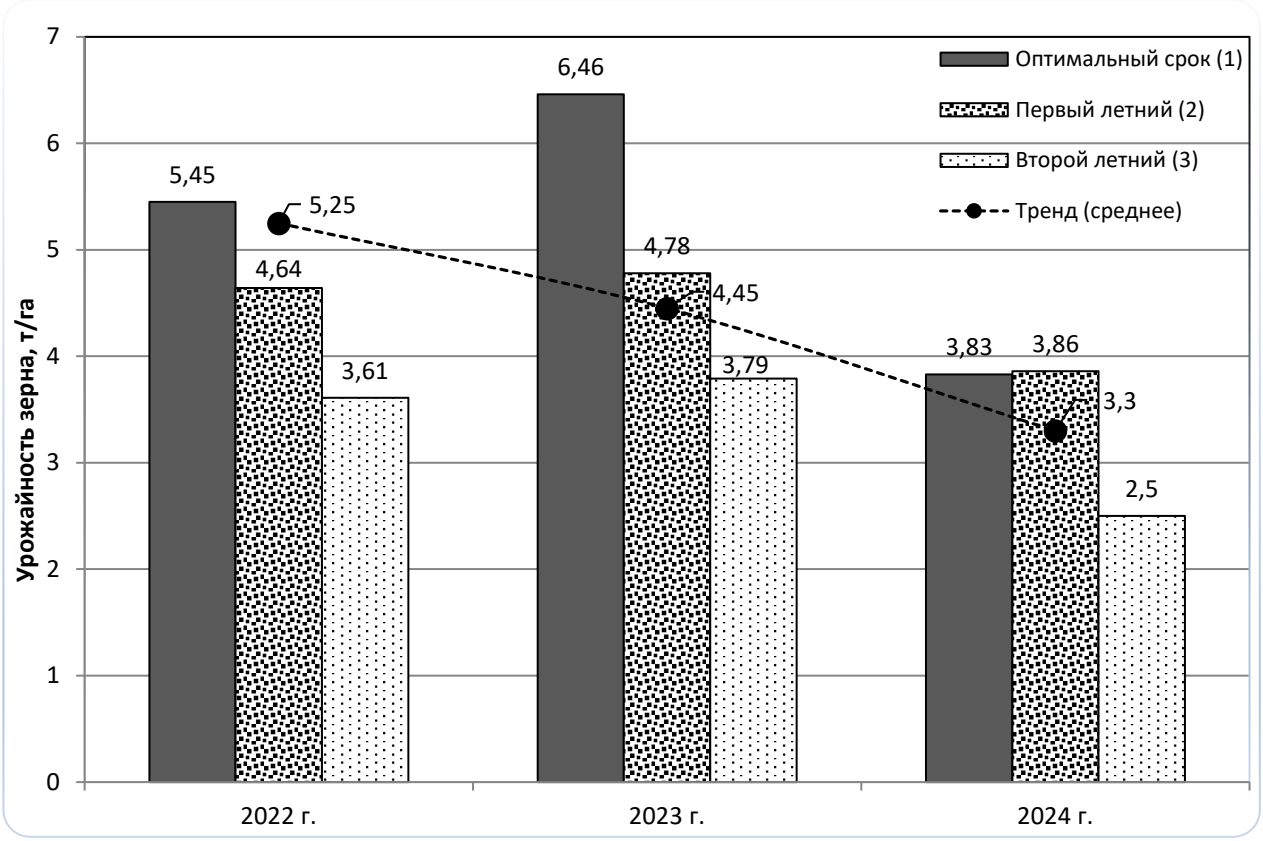


***Рис. 2**. Динамика урожая гибридов кукурузы по срокам посева, 2022–2024 гг.*

***Fig. 2**. Yield dynamics of maize hybrids by sowing date, 2022–2024*

Дисперсионный анализ подтвердил высокую статистическую достоверность полученных результатов (Fф > Fт при p <0,05). Доля влияния фактора А (срок посева) составила: в 2022 г. – 49,6 %; в 2023 г. – 57,4 %; в 2024 г. – 50,0 %. Влияние фактора В (генотип) оценивается в 27,5 % (2022 г.), 14,1 % (2023 г.) и 23,3 % (2024 г.). Взаимодействие факторов (АВ) варьировало от 9,1 % до 18,5 %. Это свидетельствует о том, что абиотические условия, задаваемые сроком сева, являются лимитирующими, однако правильный подбор гибрида способен нивелировать до четверти негативного влияния среды (табл. 2).

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа испытания гибридов кукурузы по урожаю зерна, 2022–2024 гг.

Table 2. Analysis of variance results for maize hybrid trial by grain yield, 2022–2024

Источник варьирования	Урожай зерна								
	2022 г.			2023 г.			2024 г.		
	$F_ф$	НСР	доля влияния фактора	$F_ф$	НСР	доля влияния фактора	Fф	НСР	доля влияния фактора
Сроки посева (А)	256,332*	0,198	49,6	102,406*	0,438	57,4	65,514*	0,276	50,0
Генотип (В)	40,513*	0,323	27,5	6,786*	0,715	14,1	8,715*	0,451	23,3
Взаимодействие (АВ)	13,456*	0,560	18,5	3,858*	1,238	15,9	1,694	0,781	9,1
Остаток	–	–	4,4	–	–	12,6	–	–	17,6

Критическим параметром для летних посевов является влажность зерна перед уборкой. Данные 2022–2024 гг. показывают, что если при оптимальном сроке влажность находилась в пределах технологической нормы (11,5–16,6 %), то при первом летнем сроке она возрастала до 16,6–21,2 %.

При втором летнем сроке (посев в конце июня – начале июля) уборочная влажность достигала экстремальных значений: от 23,3 % до 40,0 % (2024 г.). В таких условиях получение сухого зерна экономически нецелесообразно из-за высоких затрат на сушку.

Анализ ломкости стебля ниже початка выявил тенденцию к увеличению этого показателя при летних сроках сева. В 2023 году ломкость на втором сроке достигала 15,1–21,1 % (Машук 171 МВ, Байкал), что может быть связано с интенсивным ростом в условиях высоких температур, приводящим к снижению механической прочности склеренхимы (табл. 3).

Поражение пузырчатой головней (*Ustilago maydis*) носило случайный характер, однако отмечено незначительное увеличение инфицирования на поздних сроках у гибридов Нур (до 7,8 %) и Машук 168 (до 5,8 %) (табл. 3).

Таблица 3. Ломкость растений ниже початка гибридов кукурузы в оптимальном и летних сроках посева, 2022–2024 гг.

Table 3. Stalk lodging below the ear in maize hybrids at optimal and summer sowing dates, 2022–2024

Гибрид	Ломкость растений ниже початка, %											
	2022 г.			2023 г.			2024 г.			среднее 2022–2024		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сибирский 135	8,3	10,0	12,0	3,6	16,6	4,0	5,0	9,6	0,6	5,6	12,1	5,5
Воронежский 145 СВ	6,5	5,2	2,0	0,7	10,5	0,6	1,3	5,0	0	2,8	6,9	0,9
Нур	9,6	11,3	9,1	3,4	18,9	3,2	2,0	9,9	0,6	5,0	13,4	4,3
Машук 168	3,2	2,9	3,6	1,4	12,1	1,2	1,6	6,0	1,4	2,1	7,0	2,1
Машук 171 МВ	7,0	3,4	5,5	3,2	15,1	3,6	5,0	7,0	0	5,1	8,5	3,0
Машук 175 МВ	4,3	1,3	1,3	0	12,2	2,4	2,0	3,2	0,6	2,1	5,6	1,4
Байкал	3,7	4,4	2,8	2,0	21,1	4,2	2,4	9,0	1,4	2,7	11,5	2,8
Ньютон	6,4	6,0	3,5	2,6	15,2	2,2	4,8	9,9	1,8	4,6	10,4	2,5

Примечание: 1, 2, 3 – сроки посева.
Дата уборки: 2022 г. 1-й срок – 30.09; 2-й срок – 1.10; 3-й срок – 24.10.
2023 г. 1-й срок – 04.09; 2-й срок – 13.10; 3-й срок – 20.10.
2024 г. 1-й срок – 28.08; 2-й срок – 30.09; 3-й срок – 10.10

Обсуждение

Полученные результаты позволяют констатировать, что летние посевы кукурузы в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края произрастают в принципиально ином экологическом режиме по сравнению с оптимальными весенними посевами.

Сокращение вегетационного периода на 13–17 дней является реакцией культуры на укорачивающийся фотопериод второй половины лета. Растения ускоряют прохождение межфазных периодов, что неизбежно приводит к недобору вегетативной массы (снижение высоты на 30–40 см). Данный феномен подтверждается исследованиями ряда авторов, указывающих на отрицательную корреляцию между скоростью развития и итоговым накоплением сухого вещества при поздних сроках сева.

Доминирующее влияние сроков посева на урожайность (около 50 % по данным дисперсионного анализа) доказывает, что лимитирующим фактором выступает не столько генетический потенциал гибрида, сколько сумма активных температур и распределение осадков в период «цветение – налив зерна». Тем не менее выделение гибридов Ньютон и Машук 175 МВ, которые стабильно превышали стандарты по урожайности в летних посевах, свидетельствует об их высокой экологической пластичности и эффективности использования ассимилятов.

	Срок посева	Урожайность, т/га	Влажность зерна, %	Высота растений, см	Ломкость стебля, %
Срок посева	1	-0,84	0,94	-0,83	-0,11
Урожайность, т/га	-0,84	1	-0,76	0,83	0,04
Влажность зерна, %	0,94	-0,76	1	-0,74	-0,36
Высота растений, см	-0,83	0,83	-0,74	1	-0,13
Ломкость стебля, %	-0,11	0,04	-0,36	-0,13	1

Рис. 3. *Корреляционная матрица признаков кукурузы при летних сроках посева, 2022–2024 гг.*

Fig. 3. *Correlation matrix of maize traits for summer sowing dates, 2022–2024*

Высокая уборочная влажность зерна при третьем сроке посева (до 40 %) диктует необходимость изменения направления хозяйственного использования биомассы. Посевы конца июня – начала июля целесообразно рассматривать исключительно как страховой фуражный фонд для заготовки силоса восковой спелости или корнажа, где повышенная влажность является технологическим преимуществом для силосования.

Выводы

1. Установлено, что смещение сроков посева кукурузы на летний период способствует ускорению развития: период появления всходов сокращается на 5–7 дней, а период от всходов до цветения початков уменьшается на 13–17 дней по сравнению с весенним посевом.

2. Дисперсионный анализ данных за 2022–2024 гг. статистически достоверно доказал, что основным фактором, определяющим урожайность зерна, является срок посева (доля влияния 49,6–57,4 %). Вклад генотипа оценивается в 14,1–27,5 %.

3. Выделены гибриды с максимальным адаптивным потенциалом для летних посевов. Лидером по урожайности зерна во все годы исследований оказался гибрид Ньютон (до 6,1 т/га при первом летнем сроке посева). Высокую адаптивность также показал гибрид Машук 175 МВ.

4. Доказано, что при втором летнем сроке посева (конец июня – начало июля) уборочная влажность зерна достигает 25,6–40,0 %, что исключает возможность уборки на зерно и требует переориентации урожая на силос или корнаж.

5. Выявлено увеличение ломкости стебля ниже початка при летних сроках сева (в среднем до 10,4–13,4 % у восприимчивых генотипов), что требует корректировки сроков уборки для минимизации потерь.

Заключение

Предгорный район Ставропольского края обладает достаточным биоклиматическим потенциалом для успешного возделывания раннеспелых гибридов кукурузы в поукосных и пожнивных посевах. Использование экологически пластичных гибридов селекции ВНИИ кукурузы (Ньютон, Машук 175 МВ) позволяет существенно повысить коэффициент использования пашни. Для получения рентабельного урожая сухого зерна летний посев необходимо проводить не позднее первой декады июня. Посевы более поздних сроков гарантированно обеспечивают животноводство высокоэнергетической силосной массой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зезин Н. Н., Намятов М. А., Севостьянов М. Ю.* Оптимизация структуры посевов кормовых культур и особенности технологии их возделывания на Среднем Урале // Кормопроизводство. 2020. № 4. С. 25–29. EDN: SOSZNZ

2. *Бацазова Т. М., Шалыгина А. А., Икоева Л. П.* Смеси однолетних кормовых культур в поукосных и пожнивных посевах // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 3. С. 336–343. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-3-336-343

3. *Вакула С. И., Орловская О. А., Хотылева Л. В., Кильчевский А. В.* SSR-локусы, потенциально ассоциированные с высоким содержанием амилопектина в эндосперме зерна кукурузы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 6. С. 640–647. DOI: 10.18699/VJ18.405

4. *Хатефов Э. Б., Аппаев С. П., Коцева А. Р.* Создание и оценка новых источников амилопектинового крахмала на основе линий восковидной кукурузы (Zea mays ceratina) из коллекции ВИР // Успехи современного естествознания. 2019. № 1. С. 57–62. DOI: 10.17513/use.37037

5. *Дридигер В. К.* Специализированные севообороты зеленого конвейера и технологии возделывания кормовых культур: монография. Ставрополь: АРГУС, 2010. 232 с. ISBN: 978-5-9596-0673-2

6. *Буриев С. С.* Сроки и схемы посева кукурузы после озимых колосовых // Аграрная наука. 2007. № 11. С. 16–17.

7. *Горбачева А. Г., Дридигер В. В., Ветошкина И. А.* Поукосные и пожнивные посевы гибридов кукурузы в Предгорной зоне Ставропольского края // АПК России. 2024. Т. 31. № 4. С. 509–514. DOI: 10.55934/2587-8824-2024-31-4-509-514

8. *Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Конарева Е. А.* Повторные посевы гибридов кукурузы на юге России // Кукуруза и сорго. 2020. № 4. С. 21–24. DOI: 10.25715/b2643-6834-7389-f

9. *Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Панфилов А. Э. и др.* Урожай и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы в разных экологических условиях в зависимости от сроков посева // Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 26–31. EDN: ZCONCP

10. *Hirte J., Leifeld J., Abiven S. et al.* Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 284.

11. *Сотченко В. С., Панфилов А. Э., Горбачева А. Г. и др.* Скорость потери влаги зерном кукурузы в период созревания в зависимости от генотипа и условий среды // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 54–65. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.54rus

12. *Скороходов В. Ю.* Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала // Плодородие. 2021. № 2(119). С. 55–59. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.15

13. *Panfilov A.E., Ovchinnikov P.Yu., Tikhanskaya E.L.* Climate change trends in the forest-meadow zone of the Middle Urals and their impact on technological approaches to corn cultivation // International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021). 2021. Vol. 36. P. 07004.

14. *Torma S., Vilček J., Lošak T. et al.* Residual plant nutrients in crop residues – an important resource // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science. 2017. Vol. 68. Pp. 358–366. DOI: 10.1080/09064710.2017.1406134

15. *Гайдученко А. Н., Синеговская В. Т., Толмачев М. В.* Возделывание полевых культур в короткоротационных универсальных севооборотах в Амурской области // Земледелие. 2015. № 5. С. 3–5. EDN: UGTHQB

16. *Артемьев А. А., Гурьянов А. М., Капитанов М. П., Пронин А. А.* Экономическая и энергетическая оценка возделывания промежуточных культур в поукосных и пожнивных посевах // Кормопроизводство. 2018. № 10. С. 11–15. EDN: YLNIDB

REFERENCES

1. Zezin N.N., Namyatov M.A., Sevostyanov M.Yu. Sowing optimization and forage crop management in the Middle Urals. *Kormoproizvodstvo.* 2020. No. 4. Pp. 25–29. EDN: SOSZNZ. (In Russian)

2. Batsazova T.M., Shalygina A.A., Ikoeva L.P. Mixtures of annual fodder crops in barbed and crop crops. *Scientific Life.* 2020. Vol. 15. No. 3. Pp. 336–343. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-3-336-343. (In Russian)

3. Vakula S.I., Orlovskaya O.A., Khotyleva L.V., Kilchevsky A.V. SSR loci potentially associated with high amylopectine content in maize kernel endosperm. *Vavilovskij žurnal genetiki i selekcii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding]. 2018. Vol. 22. No. 6. Pp. 640–647. DOI: 10.18699/VJ18.405. (In Russian)

4. Khatefov E.B., Appaev S.P., Kotseva A.R. Sources of amylopectkin starch created based on lines from the collection of corn VIR. *Advances in Current Natural Science*. 2019. No. 1. Pp. 57–62. DOI: 10.17513/use.37037. (In Russian)

5. Dridiger V.K. *Spetsializirovannyye sevooboroty zelenogo konveyyera i tekhnologii vozdelyvaniya kormovykh kul'tur* [Specialized crop rotations for green forage supply chains and forage crop cultivation technologies]: a monograph. Stavropol: ARGUS, 2010. 232 p. ISBN: 978-5-9596-0673-2. (In Russian)

6. Buriev S.S. Timing and planting patterns for maize following winter cereal crops. *Agrarian Science.* 2007. No. 11. Pp. 16–17. (In Russian)

7. Gorbacheva A.G., Dridiger V.V., Vetoshkina I.A. Post-mowing and post-harvest sowing of maize hybrids in the foothill zone of Stavropol Krai. *Agro-Industrial Complex of Russia.* 2024. Vol. 31. No. 4. Pp. 509–514. DOI: 10.55934/2587-8824-2024-31-4-509-514. (In Russian)

8. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Vetoshkina I.A., Konareva E.A. Corn hybrids reseeding in the south of Russia. *Corn and Sorghum*. 2020. No. 4. Pp. 21–24. DOI: 10.25715/b2643-6834-7389-f. (In Russian)

9. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Panfilov A.E. et al. Grain yield and water content of maize hybrids as affected by climate conditions and seeding date. *Kormoproizvodstvo.* 2019. No. 4. Pp. 26–31. EDN: ZCONCP. (In Russian)

10. Hirte J., Leifeld J., Abiven S. et al. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. *Frontiers in Plant Science.* 2017. Vol. 8. P. 284.

11. Sotchenko V.S., Panfilov A.E., Gorbacheva A.G. et al. Genotype and environment influence on the rate of grain moisture loss in corn during ripening period. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2021. Vol. 56. No. 1. Pp. 54–65. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.54rus. (In Russian)

12. Skorokhodov V.Yu. Biological factor of humus reproduction and maintenance of soil fertility in conditions steppe zone of the Southern Urals. *Plodorodie*. 2021. No. 2(119). Pp. 55–59. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.15. (In Russian)

13. Panfilov A.E., Ovchinnikov P.Yu., Tikhanskaya E.L. Climate change trends in the forest-meadow zone of the Middle Urals and their impact on technological approaches to corn cultivation. *International Scientific and Practical Conference "Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture" (FSRAABA 2021)*. 2021. Vol. 36. P. 07004.

14. Torma S., Vilček J., Lošak T. et al. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science.* 2017. Vol. 68. Pp. 358–366. DOI: 10.1080/09064710.2017.1406134

15. Gayduchenko A.N., Sinegovskaya V.T., Tolmachev M.V. Field crops cultivation in short universal crop rotations in Amur region. *Agriculture.* 2015. No. 5. Pp. 3–5. EDN: UGTHQB. (In Russian)

16. Artemev A.A., Guryanov A.M., Kapitanov M.P., Pronin A.A. Economic and energy assessment of postcut and postharvest crops. *Kormoproizvodstvo.* 2018. No. 10. Pp. 11–15. EDN: YLNIDB. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Горбачева Анна Григорьевна, д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. лаборатории первичного семеноводства, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы;
357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14о;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9936-4565
Татарканов Артур Аликович, мл. науч. сотр. лаборатории первичного семеноводства, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы;
357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14о;
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2440-9732
Ковалев Роман Сергеевич, мл. науч. сотр. лаборатории первичного семеноводства, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы;
357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14о;
976067@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3281-3844

Information about the authors

Anna G. Gorbacheva, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Primary Seed Production, All-Russian Research Institute of Corn;
14o, Yermolov street, Pyatigorsk, 357528, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9936-4565
Arthur A. Tatarkanov, Junior Researcher, Laboratory of Primary Seed Production, All-Russian Research Institute of Corn;
14o, Yermolov street, Pyatigorsk, 357528, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2440-9732
Roman S. Kovalev, Junior Researcher, Laboratory of Primary Seed Production, All-Russian Research Institute of Corn;
14o, Yermolov street, Pyatigorsk, 357528, Russia;
976067@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3281-3844

СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 631.53.027 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-297-306
NXGMQW

Влияние обработки электрическим полем на ростовые процессы, урожайность и элементы структуры урожая семян гибрида кукурузы Карат СВ

С. П. Аппаев[✉1, 2], Н. Н. Догузова[2], Б. В. Гагиев[2], М. М. Атабиев[3], Ш. А. Атабиев[3]

[1]Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224
[2]Владикавказский научный центр Российской академии наук
363110, Россия, РСО-Алания, Пригородный район, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1
[3]Научно-образовательный центр
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Фундамент высокой урожайности и стабильных валовых сборов зерновых закладывается еще на этапе выбора семенного материала. Качество семян выступает лимитирующим фактором, определяющим не только густоту всходов, но и конечную продуктивность посевов.

Цель исследования – оценка влияния электростимуляции семян кукурузы на ростовые процессы, урожайность и элементы структуры урожая.

Материалы и методы исследования. Материалом для исследований послужили семена гибрида кукурузы Карат СВ, обработанные электрическим полем напряжением 500 В, 1000 В и 8000 В в течение 1 часа. Контролем служили необработанные семена. Проращивание и оценку посевных качеств выполняли согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Динамику роста корней и проростков фиксировали на 3-и, 5-е, 7-е и 9-е сутки. Массу сырых и высушенных проростков определяли до и после высушивания в сушильном шкафу (24 часа, +104 °С). Набухание семян изучали при замачивании в дистиллированной воде с нейтральным pH в термостате при +20 °С. Учет набухания в динамике проводили через 1, 3, 7 и 24 часа после начала замачивания.

Результаты. В статье представлены результаты исследований по изучению влияния электростимуляции семян кукурузы на энергию прорастания, всхожесть, рост всходов и корней, скорость набухания семян, урожайность и элементы структуры урожая. Анализ результатов показал, что предпосевная стимуляция оказала существенное влияние на энергию прорастания и всхожесть. Минимальное значение энергии прорастания обработанных образцов достигло 84 %, максимальное – 91 %. Контрольный показатель всхожести составил 93 %, а обработанные семена дали 100 % результат. Обработка существенно повлияла на массу ростков – максимальная масса сырых ростков зафиксирована при напряжении 8000 В (56,3 г). Электростимуляция заметно ускорила скорость набухания семян – через 24 часа контрольные семена набухли до 129,8 % от исходной массы, а обработанные – до 144,0, 146,6 и 145,3 % соответственно. Электростимуляция повысила динамику отрастания проростков и корней. Анализ урожая выявил, что предпосевная обработка семян повысила урожайность – максимальная прибавка урожая отмечена в 2022 году. Электростимуляция значительно повлияла на длину и диаметр початка, число зерен в ряду и массу 1000 зерен.

Выводы. Предпосевная обработка семян кукурузы электрическим полем положительно влияет посевные качества, урожайность, элементы структуры урожая.

© Аппаев С. П., Догузова Н. Н., Гагиев Б. В., Атабиев М. М., Атабиев Ш. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Ключевые слова: семена, электростимуляция, предпосевная обработка, посевные качества, урожайность, элементы структуры урожая

Поступила 09.06.2026, одобрена после рецензирования 24.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Аппаев С. П., Догузова Н. Н., Гагиев Б. В., Атабиев М. М., Атабиев Ш. А. Влияние обработки электрическим полем на ростовые процессы, урожайность и элементы структуры урожая семян гибрида кукурузы Карат СВ // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 297–306. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-297-306

Original article

Influence of electric field processing on growth, yield, and yield components of Karat SV hybrid corn seeds

S.P. Appaev[✉1, 2], N.N. Doguzova[2], B.V. Gagiev[2], M.M. Atabiev[3], Sh.A. Atabiev[3]

[1]Institute of Agriculture –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia
[2]Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
1, Williams street, Mikhailovskoe village, Prigorodny district, Republic of North Ossetia-Alania, 363110, Russia
[3]Scientific and Educational Center
Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The foundation for high yields and stable gross grain harvests is laid as early as the stage of seed selection. Seed quality is a limiting factor that determines not only the density of seedlings, but also the final productivity of crops.

Aim. The aim of the study is to evaluate the effect of electric field treatment of maize seeds on growth processes, yield, and yield structure components.

Materials and methods. The research material consisted of Karat SV hybrid maize seeds treated with an electric field at voltages of 500 V, 1000 V, and 8000 V for 1 hour. The control group consisted of untreated seeds. Germination testing and seed quality assessment were carried out according to GOST 12038-84 “Agricultural crop seeds. Methods for determination of germination”. The growth dynamics of roots and seedlings were recorded on the 3rd, 5th, 7th, and 9th days. The fresh and dry weights of the seedlings were determined before and after oven-drying (104 °C for 24 hours). Seed imbibition kinetics were evaluated by soaking the samples in distilled water (neutral pH) inside an incubator at 20 °C. The measurements were taken 1, 3, 7, and 24 hours after the start of soaking.

Results. This paper presents a study evaluating how the electrical stimulation of corn seeds influences their germination energy, germination rate, root and shoot growth, imbibition rate, as well as crop yield and its structural elements. The results indicated that pre-sowing stimulation had a significant effect on germination energy and germination percentage. The minimum value of germination energy for the treated samples reached 84 %, while the maximum reached 91 %. The germination rate in the control group accounted for 93 %, whereas the treated seeds achieved a 100 % result. The treatment significantly affected seedlings weight, with the maximum seedlings fresh weight recorded at a voltage of 8000 V (56.3 g). Electrical stimulation significantly increased the seed imbibition rate and after 24 hours, the control seeds swelled to 129.8 % of their initial weight, while the treated samples reached 144.0 %, 146.6 %, and 145.3 %, respectively. Electrical stimulation enhanced the growth rate of both seedlings and roots. The yield analysis revealed that pre-sowing seed treatment increased crop yield, with the maximum yield increase recorded in 2022. Electrical stimulation significantly affected ear length and diameter, the number of grains per row, and the 1000-grain weight.

© Appaev S.P., Doguzova N.N., Gagiev B.V., Atabiev M.M., Atabiev Sh.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Conclusions. Pre-sowing electric field processing of maize seeds positively influences seed quality, crop yield, and yield components.

Keywords: seeds, electrical stimulation, pre-sowing treatment, sowing qualities, yield, crop structural elements

Submitted 09.06.2026, approved after reviewing 24.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Appaev S.P., Doguzova N.N., Gagiev B.V., Atabiev M.M., Atabiev Sh.A. Influence of electric field processing on growth, yield, and yield components of Karat SV hybrid corn seeds. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 297–306. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-297-306

Введение

Ключевым условием роста урожайности зерновых и валовых сборов выступает применение высококачественного посевного материала. Среди показателей, определяющих качество семян, ведущее место занимает всхожесть – их способность формировать нормальные ростки в стандартных условиях за установленный период. Доказано, что свойства семян как носителей биологической информации в решающей мере влияют на количество и качество будущего урожая, а также на экономическую эффективность агропроизводства [1–3]. Условия внешней среды не всегда благоприятствуют нормальному развитию зародыша в первые дни. Поэтому особую значимость приобретает высев семян с высокими посевными кондициями, чтобы все жизнеспособные зерна дружно взошли и обеспечили продуктивность. Требуются такие методы воздействия, которые способны активизировать прорастание и усилить активность зародыша на начальной стадии [4–6].

Представители аграрной науки и практики постоянно ведут разработку новых агротехнических приемов и технических устройств для предпосевной стимуляции, нацеленной на улучшение посевных качеств семян [7–9]. Обработке обычно подвергают семенной материал, идущий в товарные посевы. Физическое воздействие на семена повышает их энергию прорастания и всхожесть, а также увеличивает урожайность и качество продукции растениеводства [10–12]. Вместе с тем анализ литературы показывает: единых универсальных параметров для всех культур не существует, поэтому исследования в области предпосевной стимуляции семян сохраняют свою актуальность.

Цель работы – определить влияние обработки семян перед посевом постоянным электрическим полем на урожайность и структурные элементы урожая гибрида кукурузы Карат СВ.

Материал и методика

Объектом изучения выступили семена гибрида кукурузы Карат СВ с исходной всхожестью 93 % и энергией прорастания 79 %. Для выявления эффекта электростимуляции были выбраны три режима обработки постоянным электрическим током: при напряжении 500 В (вариант 1), 1000 В (вариант 2) и 8000 В (вариант 3). Экспозиция составила 1 час. Обработка проведена в лаборатории атмосферного электричества Высокогорного геофизического института (г. Нальчик, КБР, РФ). Для обеспечения достоверности опыта в лаборатории на момент проведения обработки находилась только партия обрабатываемых семян. Контролем служили необработанные семена. Проращивание и оценку посевных качеств выполняли согласно ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Динамику роста корней и проростков фиксировали на 3-и, 5-е, 7-е и 9-е сутки. На шестой день проводили ревизию: удаляли загнившие семена и экземпляры с аномальными проростками, верхний слой фильтровальной бумаги заменяли свежим. Силу роста

проростков оценивали визуально по длине главного корня, длине и массе проростка. Массу сырых и высушенных проростков определяли путем взвешивания на электронных весах до и после высушивания в сушильном шкафу (24 часа, +104 °С). Набухание семян изучали при замачивании в дистиллированной воде с нейтральным pH в термостате при +20 °С [13, 14]. Учет набухания в динамике проводили через 1, 3, 7 и 24 часа после начала замачивания. Статистическую обработку данных вели с помощью пакета «Statistica 10».

Полевые опыты закладывали в 2022–2024 гг. в предгорной зоне Кабардино-Балкарской Республики на научно-производственном участке № 2 Института сельского хозяйства КБНЦ РАН. Дисперсионный анализ выполняли по методике Б. А. Доспехова [15].

Результаты исследования и их обсуждение

Механизм влияния электромагнитного воздействия на семена сложен и до конца не изучен. Существует несколько гипотез, описывающих, как внешнее электромагнитное поле (ЭМП) воздействует на биологические объекты [16, 17]. В представленной литературе механизмы влияния электромагнитного воздействия на семена кукурузы рассматриваются через несколько ключевых процессов:

- изменение проницаемости клеточных мембран и ионного транспорта (в частности, Ca^{2+});
- ускорение водного обмена – повышение поглощения воды, молекулярной подвижности и ранняя гидратация мембран;
- активация ферментативных систем (α-амилаза, дегидрогеназа, протеаза) и антиоксидантной защиты;
- регуляция гормонального баланса и экспрессии генов на эпигенетическом, транскриптомном и протеомном уровнях.

Таким образом, механизм влияния электромагнитного воздействия на семена является комплексным и зависит от множества параметров. Для достижения стабильного положительного эффекта требуется тщательный подбор режимов обработки с учетом типа семян и условий выращивания.

Энергия прорастания – один из ключевых параметров семян. Высокая энергия обеспечивает появление равномерных и сильных всходов, что напрямую коррелирует с будущей продуктивностью. Изменение данного показателя служит индикатором эффективности стимуляции.

Мы оценили лабораторную всхожесть, энергию прорастания, массу сырых и сухих ростков, а также интенсивность набухания семян кукурузы после обработки постоянным электрическим полем с напряжением 500, 800 и 1000 В (рис. 1).

В целом предпосевная электростимуляция заметно увеличила энергию прорастания и всхожесть. На контроле энергия прорастания равнялась 79 %, тогда как у обработанных образцов минимальное значение достигло 84 %, максимальное – 91 %. Аналогичная картина отмечена по всхожести: контрольный показатель составил 93 %, а все стимулированные семена (независимо от напряжения) дали 100 % всхожести.

Обработка существенно повлияла на массу ростков. У контроля масса сырых ростков составила 34,3 г, сухих – 12,2 г. Наибольшая масса сырых ростков зафиксирована при напряжении 8000 В (56,3 г), наименьшая среди обработанных – при 500 В (52,3 г). Соответствующие значения для сухих ростков: 19,2; 19,9 и 20,2 г.

Анализ данных показал, что электростимуляция заметно ускоряет набухание семян и увеличивает его величину. Через 24 часа контрольные семена набухли до 129,8 % от исходной массы. Обработка при 500, 1000 и 8000 В дала набухание 144,0, 146,6 и 145,3 % соответственно. Превышение массы набухших семян над контролем варьировало от 1,33 до 1,44 г.

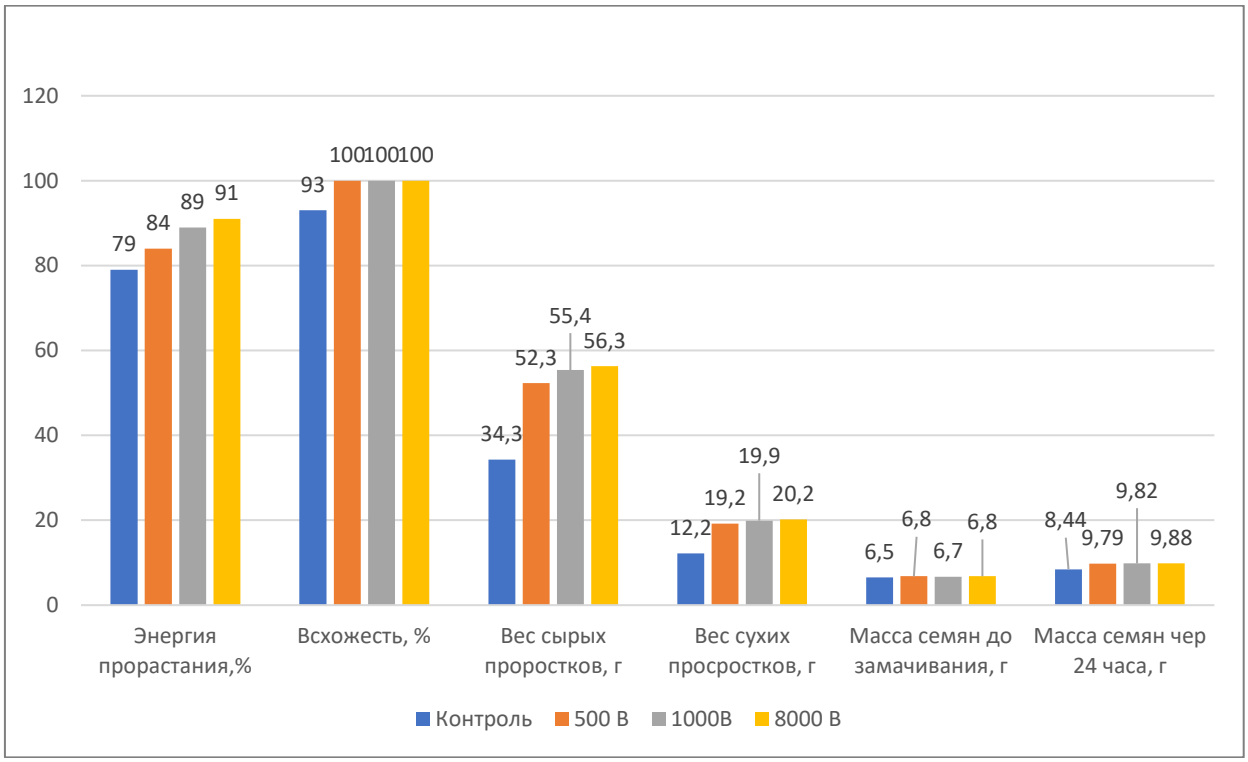


***Рис. 1**. Влияние электростимуляции на посевные качества и набухание семян кукурузы*

***Fig. 1**. Effect of electrical stimulation on sowing quality and imbibition of maize seeds.*

Дополнительно мы изучили динамику отрастания проростков и корней после электростимуляции (рис. 2 и 3). Результаты подтвердили, что воздействие током повышает скорость прорастания и усиливает рост корневой системы и побегов.

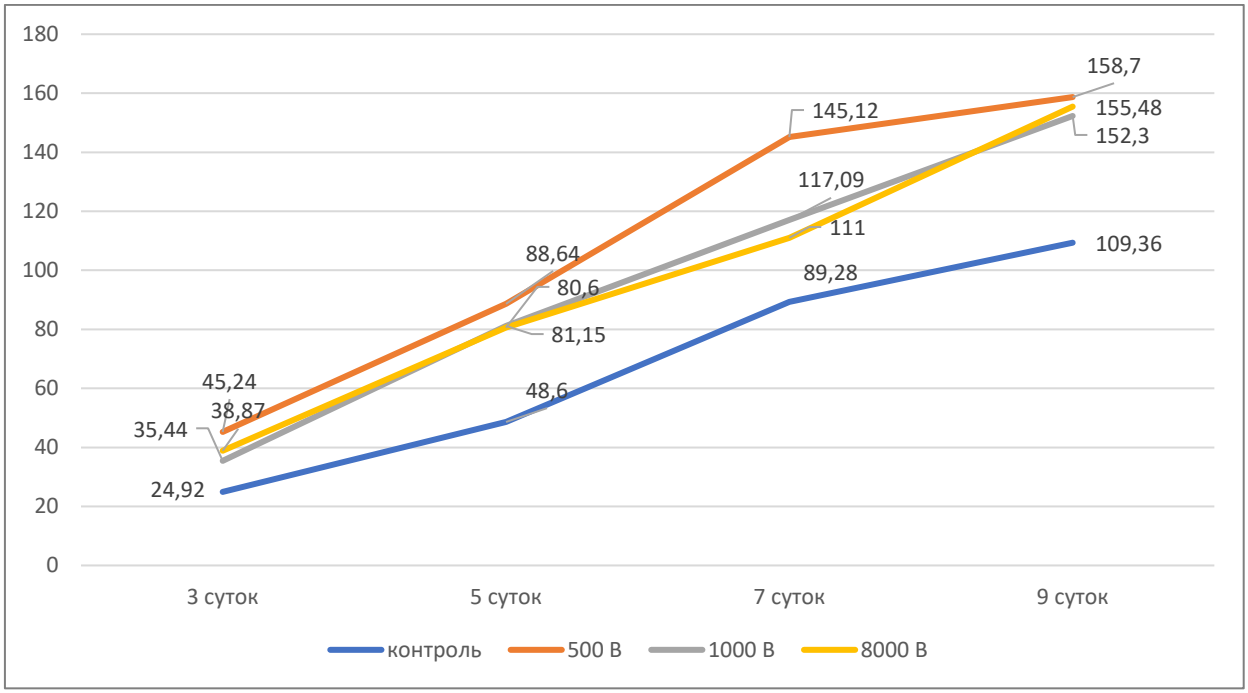


***Рис. 2**. Влияние электростимуляции на длину корней, мм*

***Fig. 2**. Effect of electrical stimulation on root length, mm*

На третьи сутки в контроле проросла лишь треть семян (31 %), тогда как обработанные образцы проклюнулись полностью. Средняя длина корней при этом составила 45,24 мм (500 В), 35,44 мм (1000 В) и 38,87 мм (8000 В). Аналогично, если у контроля средняя длина проростков равнялась 1,5 мм, то после стимуляции при 8000 В она достигла 16,2 мм. Та же тенденция сохранялась на 5-е, 7-е и 9-е сутки.

Анализ показал неоднозначное влияние увеличения напряжения: при 500 и 1000 В накопление биомассы корней и проростков шло быстрее, чем при 8000 В.

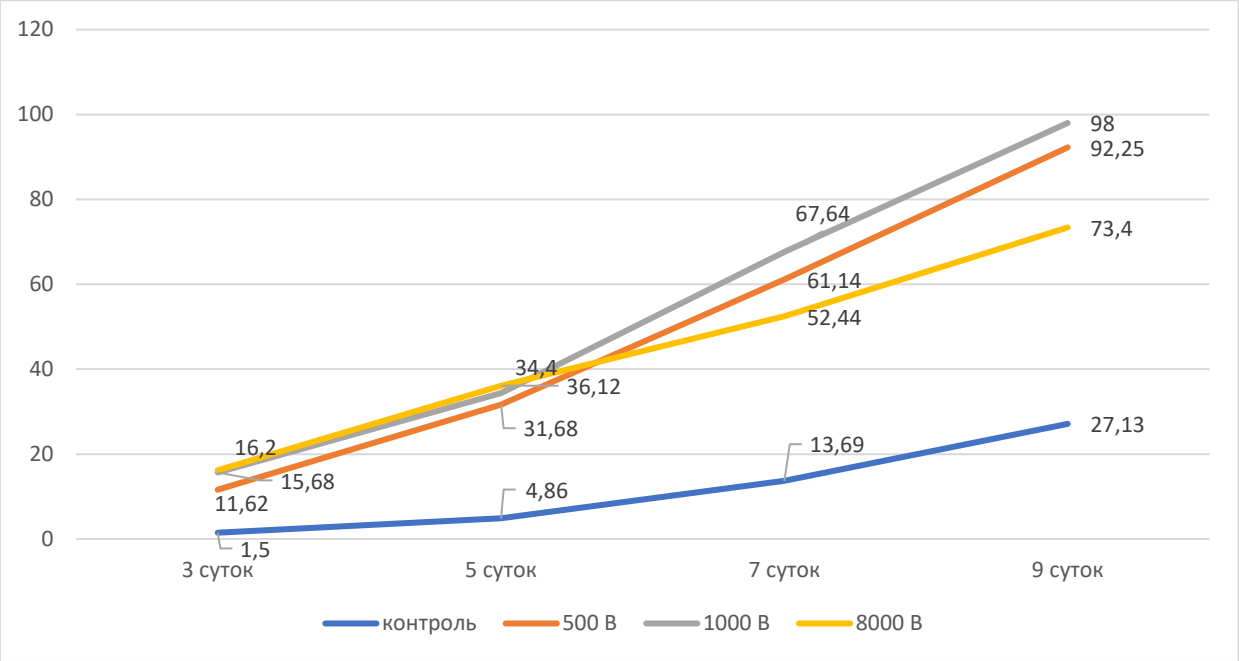


Рис. 3. *Влияние электростимуляции на длину проростков, мм*

Fig. 3. *Effect of electrical stimulation on seedling length, mm*

Главный критерий эффективности электростимуляции – ее воздействие на урожайность гибрида. Мы в течение трех лет в полевых условиях изучали урожайность и структуру урожая семян, обработанных полем напряжением 8000 В (табл. 1). Результаты демонстрируют положительный эффект. В 2022 г. урожайность контроля (без обработки) составила 69,88 ц/га, обработанных семян – 78,8 ц/га. Аналогичная закономерность прослеживалась и в последующие годы. В среднем за три года контроль дал 64,55 ц/га, а вариант с предпосевной стимуляцией – 75,41 ц/га. Наибольшая прибавка (12,60 ц/га) зафиксирована в 2024 г.

Таблица 1. Влияние электростимуляции на урожайность и элементы структуры урожая

Table 1. Effect of electrical stimulation on crop yield and yield structure components

Вариант	Урожайность по годам, ц/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Ср. за 3 года
Карат СВ, контроль	69,88	61,44	62,33	64,55
Карат СВ, 8000 В	78,80	72,51	74,93	75,41
$НСР_{05}$	6,9	6,5	6,7	6,7

Элементы структуры урожая, ср. за 2021–2023 гг.					
Название	Длина початка, мм	Диаметр початка, мм	Кол-во рядов зерен, шт.	Кол-во зерен в ряду, шт.	Масса 1000 зерен, г
Карат СВ, контроль	220,3	4,52	16,5	39,2	302,5
Карат СВ, 8000В	231,3	5,34	16,7	45,7	325,3
± к ст.	11,0	0,82	0,2	6,5	22,8

Анализ структуры урожая выявил, что наиболее сильно электростимуляция повлияла на длину и диаметр початка, число зерен в ряду и массу 1000 зерен. Количество рядов зерен практически не изменилось.

Выводы

Проведенные эксперименты подтверждают, что обработка семян кукурузы электрическим током с напряжением 500, 1000 и 8000 В обеспечивает достоверный стимулирующий эффект по ряду параметров, определяющих посевные качества. В исследованных режимах воздействия пороговые значения стимулирующего напряжения выявлены не были. Можно предположить, что такие пороги находятся выше 8000 В при часовой экспозиции на сухие семена. Анализ изменений отдельных показателей после электростимуляции показал ее эффективность в отношении водопоглощающей способности, увеличения силы роста, энергии прорастания и всхожести. Предпосевная обработка сухих семян электрическим полем в испытанных режимах достоверно улучшает их посевные качества: возрастают всхожесть, сила роста и энергия прорастания. Так, без обработки энергия прорастания составляла 79 %, после обработки увеличилась до 91 % в варианте с напряжением 8000 В. Всхожесть увеличилась с 93 % до 100 % во всех трех вариантах электростимуляции. Это имеет решающее значение для начальных этапов органогенеза кукурузы и в конечном счете определяет будущий урожай зерна.

Наибольшее влияние электростимуляция оказывает на урожайность – превышение над контролем составило 10,86 ц/га, длину початка – 11,0 мм, число зерен в ряду увеличилось в среднем на 6,5 шт. и масса 1000 зерен – на 22,8 г. Количество рядов зерен относится к сортовым признакам, которые контролируются генетически и не изменяются под действием обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казакова А. С., Донцова В. Ю., Юдаев И. В.* Применение электротехнологий для предпосевной обработки семян ярового ячменя // Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование. 2021. № 2 (54). 36–41. EDN: PSFGNM

2. *Зубова Р. А., Бастрон А. В., Кожухов В. А.* Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск, 2018. 140 с.

3. *Егоров М. Ю., Зуб К. В.* Электростимуляция семян ячменя: инновационный подход к повышению урожайности // Студенческая наука: Сборник тезисов 61-й Всероссийской студенческой научно-практической конференции. Великие Луки, 14–15 мая 2025 года. С. 42–46.

4. *Тертышная Ю. В., Левина Н. С., Елизарова О. В.* Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 2. С. 31–36. DOI: 10.22314/207375992017.2.3136

5. *Foroughbakhch R., Mejía E.B., Benavides-Mendoza A., Cruz L.S.* Ultraviolet radiation effect on seed germination and seedling growth of common species from northeastern Mexico. Agronomy. 2019. No. 9(6). P. 269. DOI: 10.3390/agronomy9060269

6. *Mathur S., Jajoo A.* Investigating deleterious effects of ultraviolet (UV) radiations on wheat by a quick method // Acta Physiol. Plant. 2015. Vol. 37. Pp. 121.

7. *Kurdzil M., Filek M., Zhabanovska M.* The effect of short-term UV irradiation on grains of sensitive and tolerant grain genotypes studied by the EPR method // J Sci Food Agric. 2018, May. Vol. 98(7). Pp. 2607–2616. DOI: 10.1002/jsfa.8753

8. *Курылева А. Г., Кондратьева Н. П.* Эффективность ультрафиолетового облучения семян зерновых культур // Пермский аграрный вестник. 2019. Т. 28. № 4. С. 47–52. EDN: IGOKTN

9. *Кошкина А. О.* Устройство для предпосевной обработки тепловым и электромагнитным полем семян // Современная техника и технологии. № 6. 2012. URL: http://yechnology.snauka.ru

10. *Appaev S.P., Kotseva A.R., Mataeva O.H. et al.* The effectiveness of growth processes' electrostimulation in corn hybrid seeds Rodnik 180 SV. In: BIO Web of Conferences, International Scientific-Practical Conference «Modern Trends of Science, Innovative Technologies in Viticulture and Winemaking» (MTSITVW2022). Yalta, 2022. P. 02002

11. *Левина Н. С., Тертышная Ю. В., Бидей И. А., Елизарова О. В.* Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 22–28. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-22-28

12. *Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А. и др.* Предпосевная электромагнитная обработка семян кукурузы как метод стимулирования при прорастании // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 3. С. 61–64. DOI: 10.25715/KS.2019.1.26879

13. *Собчук Н. А., Чмелева С. И.* Влияние препарата Циркон на прорастание семян кукурузы (Zea mays L.) // Экосистемы. 2015. № 4. С. 45–51. EDN: YUTPXX

14. *Панкина И. А., Борисова Л. М.* Исследование набухания и растворимости сухих веществ семян зернобобовых культур // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 2. С.13–20. EDN: WAPDDV

15. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 416 с.

16. *Sharma N., Verma S., Guruprasad K.N.* Effects of plasma and magnetic field treatments on cereal crop physiology, productivity and gene expression. A review // Acta Physiologiae Plantarum. 2026. Vol. 48, No. 6. P. 1.

17. *Vashisth A., Nagarajan S.* Characterization of water distribution and activities of enzymes during germination in magnetically-exposed maize (Zea mays L) seeds // Indian Journal of Biochemistry & Biophysics. 2010. Vol. 47. No. 5. Pp. 311–318.

REFERENCES

1. Kazakova A.S., Dontsova V.Yu., Yudaev I.V. Application of electrical technologies for pre-sowing treatment of spring barley seeds. *Technologies, Means of Mechanization and Energy Equipment*. 2021. No. 2(54). Pp. 36–41. EDN: PSFGNM. (In Russian)

2. Zubova R.A., Bastron A.V., Kozhukhov V.A. *Obosnovanie rezhimov predposevnoj obrabotki semyan s tverdoj obolochkoj ul'trazvukom i elektromagnitnym polem sverhvysokoj chastoty* [Substantiation of the modes of pre-sowing treatment of seeds with a hard shell by ultrasound and an electromagnetic field of ultrahigh frequency]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2018. 140 p. (In Russian)

3. Egorov M.Yu., Zubov K.V. Electrostimulation of barley seeds: an innovative approach to increasing yields. *Studencheskaya Nauka: Sbornik tezisov 61-j Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Student Science: Abstracts of the 61st All-Russian Student Scientific and Practical Conference]. Velikiye Luki, May 14–15. 2025. Pp. 42–46. (In Russian)

4. Tertyshnaya Yu.V., Levina N.S., Elizarova O.V. Impact of ultraviolet radiation on germination and growth processes of wheat seeds. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. No. 2. Pp. 31–36. DOI: 10.22314/207375992017.2.3136. (In Russian)

5. Foroughbakhch R., Mejía E.B., Benavides-Mendoza A., Cruz L.S. Ultraviolet radiation effect on seed germination and seedling growth of common species from northeastern Mexico. *Agronomy.* 2019. No. 9(6). P. 269. DOI: 10.3390/agronomy9060269

6. Mathur S., Jajoo A. Investigating the deleterious effects of ultraviolet (UV) radiation on wheat by a quick method. *Acta Physiol. Plant.* 2015. Vol. 37. P. 121.

7. Kurdzil M., Filek M., Zhabanovska M. The effect of short-term UV irradiation on grains of sensitive and tolerant grain genotypes studied by the EPR method. *J Sci Food Agric*. 2018, May. Vol. 98(7). Pp. 2607–2616. DOI: 10.1002/jsfa.8753

8. Kuryleva A.G., Kondratieva N.P. Effectiveness of ultraviolet irradiation of grain seeds. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019. Vol. 28. No. 4. Pp. 47–52. EDN: IGOKTN. (In Russian)

9. Koshkina A.O. Device for pre-sowing treatment of seeds by thermal and electromagnetic fields. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii* [*Modern Equipment and Technologies*]. No. 6. 2012. URL: http://yechnology.snauka.ru. (In Russian)

10. Appaev S.P., Kotseva A.R., Mataeva O.H. et al. The effectiveness of growth processes' electrostimulation in corn hybrid seeds Rodnik 180 SV. *In: BIO Web of Conferences, International Scientific-Practical Conference «Modern Trends of Science, Innovative Technologies in Viticulture and Winemaking»* (MTSITVW2022). Yalta, 2022. P. 0200211.

11. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V. Pre-sowing treatment of sunflower seeds, soybeans and corn. *Agricultural Machinery and Technology*. 2018. Vol. 12. No. 4. Pp. 22–28. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-22-28. (In Russian)

12. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Vetoshkina I.A. et al. Pre-sowing electromagnetic treatment of corn seeds as a method of stimulating germination. *Problems of Agrochemistry and Ecology*. 2018. No. 3. Pp. 61–64. DOI: 10.25715/KS.2019.1.26879. (In Russian)

13. Sobchuk N.A., Chmeleva S.I. The effect of the drug Zircon on the germination of corn seeds *(Zea mays L.)*. *Ecosystems*. 2015. No. 4. Pp. 45–51. EDN: YUTPXX. (In Russian)

14. Pankina I.A., Borisova L.M. Grain legumes' swelling and solubility of their dry solids. *Scientific Journal of the National Research University of ITMO. The series: Processes and devices of food production.* 2016. No. 2. Pp.13–20. EDN: WAPDDV. (In Russian)

15. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow: Kolos, 1985. 416 p. (In Russian)

16. Sharma N., Verma S., Guruprasad K.N. Effects of plasma and magnetic field treatments on cereal crop physiology, productivity and gene expression. A review. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2026. Vol. 48. № 6. P. 1.

17. Vashisth A., Nagarajan S. Characterization of water distribution and activities of enzymes during germination in magnetically-exposed maize (Zea mays L) seeds. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*. 2010. Vol. 47. No. 5. Pp. 311–318.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственных заданий Института сельского хозяйства – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН (тема № 126030418315-2) и Владикавказского научного центра РАН (тема № 124082300067-3).

Funding. This work was supported by the State Assignment for the Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Project No. 126030418315-2) and the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Project No. 124082300067-3).

Информация об авторах

Аппаев Сафар Пахауович, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

appaev-safar@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9741-8646, SPIN-код: 1585-6041

Догузова Нино Нодаровна, мл. науч. сотр. отдела селекции кукурузы, Владикавказский научный центр Российской академии наук;

363110, Россия, РСО-Алания, Пригородный район, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1;

doguzovanino@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3655-5166, SPIN-код: 7013-3370

Гагиев Батраз Владимирович, науч. сотр. отдела селекции кукурузы, Владикавказский научный центр Российской академии наук;

363110, Россия, РСО-Алания, Пригородный район, с. Михайловское, ул. Вильямса, 1;

bato1289@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2924-9718, SPIN-код: 5218-0962

Атабиев Мухаммат Мурадинович, аспирант Научно-образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

muhammat.mail.ru@yandex.ru

Атабиев Шамиль Асланович, аспирант Научно-образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

atabiev.shamil2001@mail.ru

Information about the authors

Safar P. Appaev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

224, Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;

appaev-safar@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9741-8646, SPIN-code: 1585-6041

Nino N. Doguzova, Junior Researcher, Maize Breeding Department, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

1, Williams street, Mikhailovskoe village, Prigorodny district, Republic of North Ossetia-Alania, 363110, Russia;

doguzovanino@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3655-5166, SPIN-code: 7013-3370

Batraz V. Gagiev, Researcher, Department of Maize Breeding, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

1, Williams street, Mikhailovskoe village, Prigorodny district, Republic of North Ossetia-Alania, 363110, Russia;

bato1289@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2924-9718, SPIN-код: 5218-0962

Mukhammat M. Atabiev, Postgraduate Student, Scientific and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

muhammat.mail.ru@yandex.ru

Shamil A. Atabiev, Postgraduate Student, Scientific and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

atabiev.shamil2001@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 519.962.5 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-307-321
OFKOYI

Об одном подходе к классификации локальных рынков

А. О. Гуртуев✉, Г. В. Чернышев

Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. В статье рассматриваются методологические проблемы классификации слабо формализованных предметных областей на примере теории отраслевых рынков. Актуальность задачи классификации для экономической теории обусловлена существующим разрывом между эмпирическими типологиями рыночных структур и строгими моделями, что затрудняет сравнительный анализ слабо формализованных областей. Особенно остро это проявляется в теории отраслевых рынков, где классификация рыночных форм часто зависит от исследовательских соглашений и не имеет единого логического основания.

Цель исследования – разработка методологического подхода к классификации слабо формализованных предметных областей и формально-аксиоматической модели упорядоченного пространства рыночных структур на примере теории отраслевых рынков.

Материалы и методы исследования. Работа опирается на критический обзор подходов к классификации рыночных структур, методы логико-структурного анализа, формальной аксиоматики и сравнительного моделирования. В качестве исходной модели используется модель совершенной конкуренции, задаваемая множеством явных ограничений; производные структуры рассматриваются как результат систематического ослабления подмножеств этих ограничений.

Результаты. В работе предлагается формально-аксиоматический подход к классификации рынков, описывающий общее упорядоченное пространство рыночных форм. Совершенная конкуренция выступает аксиоматической эталонной моделью, а иные структуры – производными моделями, получаемыми ослаблением отдельных предположений. Показано, что такой подход дает полную структурную классификацию рыночных форм и явное соответствие между ослаблением допущений и характеристиками рыночного равновесия. На этой основе предложена классификация не строго формализуемых областей как логически упорядоченного пространства институциональных возможностей. Переход от эмпирических типологий к формально-аксиоматическому методу повышает строгость и сопоставимость классификаций.

Заключение. Работа вносит вклад в структурную теорию форм рынка, предлагая формальную архитектуру для сравнительного анализа экономических сред и логического описания институциональных альтернатив.

Ключевые слова: классификация рынков, формально-аксиоматический подход, структура рынка, совершенная конкуренция, теория отраслевых рынков

Поступила 07.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Гуртуев А. О., Чернышев Г. В. Об одном подходе к классификации локальных рынков // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 307–321. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-307-321

© Гуртуев А. О., Чернышев Г. В., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

JEL: L10, B41, C60 Original article

On approach to classification of local markets

A.O. Gurtuev✉, G.V. Chernyshev

Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

Abstract. This article examines the methodological challenges involved in classifying loosely formalized subject areas, using the theory of industrial organization as a case study. The relevance of this classification task for economic theory stems from the existing gap between empirical typologies of market structures and rigorous models, thereby complicating the comparative analysis of loosely formalized fields. This issue is particularly acute in the theory of industrial organization, where the classification of market forms often relies on research conventions rather than a unified logical foundation.

Aim. This study aims to develop a methodological approach to classifying less structured fields and a formal-axiomatic model of the ordered space of market structures, within the framework of industrial organization theory.

Materials and methods. The study draws upon a critical review of approaches to classifying market structures, as well as methods of logical-structural analysis, formal axiomatics, and comparative modeling. A model of perfect competition, defined by a set of explicit constraints, serves as the baseline; derived structures are viewed as the result of systematically relaxing subsets of these constraints.

Results. The paper proposes a formal-axiomatic approach to market classification that describes a general ordered space of market forms. Perfect competition serves as the axiomatic benchmark model, while other structures are treated as derivative models obtained by relaxing specific assumptions. It is demonstrated that this approach yields a comprehensive structural classification of market forms and establishes a clear correspondence between the relaxation of assumptions and the characteristics of market equilibrium. On this basis, a classification of domains that do not lend themselves to strict formalization is proposed, conceptualized as a logically ordered space of institutional possibilities. Shifting from empirical typologies to a formal-axiomatic method enhances the rigor and comparability of classifications.

Conclusion. The paper contributes to the structural theory of market forms by proposing a formal architecture for the comparative analysis of economic environments and the logical description of institutional alternatives.

Keywords: market classification, formal-axiomatic approach, market structure, perfect competition, industrial market theory

Submitted 07.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Gurtuev A.O., Chernyshev G.V. On approach to classification of local markets. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 307–321. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-307-321

Введение

С философской точки зрения [1], термин «классификация» означает форму распределения объектов какого-либо типа на взаимосвязанные классы согласно наиболее существенным признакам, присущим объектам данного типа и отличающим их от объектов других типов. При этом каждый класс располагается в получившейся системе (диаграммного

© Gurtuev A.O., Chernyshev G.V., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

вида) в определенной фиксированной позиции и, в свою очередь, делится на подклассы аналогичным образом. Подробный анализ истории этого вопроса, а также общие принципы классификации приведены в [2–4].

Классификации сами по себе, помимо уточняющего использования основных классификационных терминов (система, основание, класс, признак, структура, цепь, ряд, уровень, фасет, фокус, коннектор, формула, определитель), характеризуются типами классификаций, такими как универсальные, специализированные, иерархические, дихотомические, многомерные, аспектные, фасетные и другие.

В [5] рассмотрена проблема естественной классификации, связанная с рассмотрением всего спектра возможных классификаций на шкале «экстенсиональность (дескриптивность) – интенсиональность (сущностность)». Также обосновывается вывод, что в практику классификации естественных объектов (естественной классификации) привносится принцип «негэнтропии информации»: для получения исчерпывающей информации об объекте (то есть для построения полного архетипа) необходимо затратить неограниченное количество энергии. Поэтому в общем случае абсолютно естественная система недостижима и остается высокой целью, к которой нужно стремиться, несмотря на все практические и теоретические трудности.

В работах Е. А. Соловьевой, основанных на идеях Ю. А. Шрейдера [5], в частности в [6], рассматривается вариант описания структуры естественной классификации с применением теории категорий, в [7] предлагается формальный критерий естественной классификации, выявляются закономерности механизма возникновения свойств целого, не выводимых из свойств составляющих это целое частей.

Тем не менее остаются общие проблемы, связанные с классификацией ряда плохо формализуемых предметных областей, что будет рассмотрено далее, и намечен подход, призванный смягчить возникающие при этом сложности.

Классификация рынков является фундаментальной проблемой в экономической теории. Каждая модель конкуренции, организации или регулирования предполагает структурное описание рынка, в рамках которого взаимодействуют экономические субъекты. Однако несмотря на повсеместное распространение таких типов рынков, как монополия, олигополия, монополистическая конкуренция или платформенные рынки, в дисциплине отсутствует формальная система, которая бы организовывала эти среды в рамках единой, логически упорядоченной структуры. Существующие классификации либо являются описательными, основанными на наблюдаемых структурных атрибутах, таких как количество фирм и концентрация, либо специфичны для некоторой модели и возникают как побочные продукты конкретных равновесных конструкций. Недостаточно разработана общая аксиоматическая архитектура, которая связывала бы рыночные формы друг с другом посредством систематических преобразований общего эталона.

Важность такой структуры не ограничивается лишь терминологией. Структура рынка определяет свойства равновесия, последствия для благосостояния и набор реализуемых механизмов. Ослабление условия совершенной информации порождает равновесия неблагоприятного отбора и рационирования [8, 9]. Введение стратегического взаимодействия преобразует равновесия, основанные на принятии цены, в равновесия Нэша с принципиально иной сравнительной статикой. Учет перекрестных внешних эффектов приводит к ценовым структурам, которые невозможно понять в рамках односторонних моделей [10]. В каждом случае модификация основополагающих предположений приводит к качественно иному объекту равновесия. Поэтому строгая классификация рынков должна проводиться на уровне предположений и базовых принципов, а не только на уровне наблюдаемых результатов.

Существующая литература предоставляет необходимые строительные блоки, но не имеет единой структуры. Конструкция «структура-поведение-результат» [11] организует рынки в соответствии с эмпирическими закономерностями, в то время как современная промышленная организация разрабатывает модели равновесия, адаптированные к конкретным структурам. Информационная экономика формализует среды с асимметричной информацией [8, 9]. Теория платформ моделирует межгрупповые внешние эффекты и многостороннее взаимодействие [10]. Однако эти работы остаются в значительной степени специальными. Они характеризуют конкретные условия, не встраивая их в общее упорядоченное пространство рыночных форм.

В данной статье предлагается такое пространство. Мы рассматриваем совершенную конкуренцию как аксиоматическую эталонную модель, формально заданную множеством предложений, определяющих ограничения, накладываемые на субъектов рынка, товары, условия входа и информацию. Рыночные структуры определяются как модели, созданные путем систематического ослабления подмножеств этих предложений. Такая конструкция порождает булеву решетку над рыночными средами, где совершенная конкуренция находится в минимальном элементе, а на более высоких узлах располагаются постепенно усложняющиеся по структуре рынки.

Основной результат работы заключается в демонстрации того, что эта решетка обеспечивает полную структурную классификацию рыночных форм и позволяет соотнести ослабления предположений с характеристиками рыночного равновесия. Классические типы рынков (монополия, олигополия, монополистическая конкуренция и т.д.) возникают как специфические узлы в этой решетке. Более сложные рыночные среды, описанные в современной литературе (рынки выбора, многосторонние платформы), соответствуют ослаблениям более высокой размерности. Таким образом, кажущиеся гетерогенными модели объединяются в элементы единой упорядоченной структуры.

Новизна нашего подхода заключается в повышении классификации рынков до уровня формальной структуры. Вместо определения типов рынков на основе наблюдаемых характеристик или специфических моделей мы предлагаем аксиоматическую систему, в которой любой рынок может быть представлен как отклонение от совершенной конкуренции по четко определенным параметрам. Это представление проясняет логические связи между моделями, облегчает сравнительный анализ и обеспечивает систематическую основу для разработки механизмов организации рынков.

В этом смысле статья вносит вклад в структурную теорию форм рынка: формальную архитектуру, в рамках которой разнообразие экономических сред может быть обнаружено, сравнено и проанализировано с использованием общего языка ослабления ограничений в модели.

Обзор подходов к классификации рынков

Классификация рынков в экономической теории традиционно основывалась на модели совершенной конкуренции, которая служит эталоном механизма децентрализованного обмена, основанного на принципе принятия рыночной цены. Формализация конкурентного равновесия в теории общего равновесия [12] установила модель совершенной конкуренции как строго определенный механизм распределения ресурсов при допущениях о полноте рынков, совершенной информации, рациональном поведении, принципе принятия цены и свободном входе на рынок. Более ранние модели частичного равновесия [13] обеспечили аналитическую структуру для координации спроса и предложения в условиях конкуренции многих независимых субъектов.

В рамках этой традиции совершенная конкуренция – это не просто один из типов рынков среди прочих, а теоретический идеал. Классификация рынков возникает в результате систематического ослабления определяющих ее допущений: допущения рыночной власти, дифференциации продукции, барьеров для входа на рынок, возрастающей отдачи от масштаба или информационной асимметрии. В этом смысле литература неявно рассматривает несовершенные рыночные структуры как отклонения от конкурентного критерия.

Важный шаг к формальной классификации произошел в теории несовершенной конкуренции. Эдвард Чемберлин [14] и Джоан Робинсон [15] независимо друг от друга разработали модели, в которых фирмы обладают возможностью устанавливать цены благодаря дифференциации продукции или ограниченной конкуренции. Концепция монополистической конкуренции Чемберлина ослабила предположение об однородности, в то время как Робинсон проанализировала монопольную власть, возникающую из-за нисходящих кривых спроса, с которыми сталкиваются отдельные фирмы.

Эти работы трансформировали рыночную классификацию из чисто описательной таксономии (много или мало продавцов) в теоретически обоснованную дифференциацию, основанную на поведенческих и структурных параметрах. Последующие модели олигополии Курно, Бертрана и Штакельберга формализовали стратегическую взаимозависимость, сделав количество фирм и предполагаемые вариации центральными критериями классификации [16].

Таким образом, традиционная четырехчастная таксономия (совершенная конкуренция, монополистическая конкуренция, олигополия и монополия) может быть интерпретирована как последовательное ослабление предположений об отсутствии рыночной власти, однородности и свободном входе.

Эмпирические исследования организации промышленности дополнительно систематизировали классификацию рынков посредством парадигмы «структура-поведение-эффективность», по которой структура рынка, измеряемая коэффициентами концентрации и барьерами для входа, определяет поведение фирм и эффективность рыночного равновесия [11]. Эта концепция уточняла классификацию рынков путем введения измеримых структурных переменных, таких как индекс Херфиндаля-Хиршмана и показатели стоимости входа. Хотя позже данная парадигма подверглась критике за проблемы эндогенности, она укрепила концептуальную роль структуры как определяющей характеристики рынков и рассматривала интенсивность конкуренции как континуум, а не как дискретную типологию [17]. Важно отметить, что она сохранила совершенную конкуренцию как эталон нулевой концентрации и свободного входа.

Позднее в теоретической литературе внимание сместилось со статической структуры на стратегические условия. Была предложена теория конкурентных рынков [18], согласно которой угроза потенциального входа может дисциплинировать действующие фирмы даже в отраслях с олигополистической структурой. В этом случае классификация рынка зависит меньше от количества фирм и больше от условий входа и невозвратных затрат, что также можно интерпретировать как ослабление или изменение предположений модели совершенной конкуренции.

Теоретико-игровая модель отраслевой организации [16] дополнительно уточнила классификацию, исследуя стратегическое взаимодействие между субъектами рынка в явном виде. Здесь различия между конкуренцией Курно и Бертрана, обязательствами по производственным мощностям и сдерживанием входа понимаются как структурные вариации в стратегической среде при принятии решений фирмами. Таким образом, типы рынка характеризуются концепциями равновесия, выведенными из определенных информационных и стратегических предположений.

Развитие теории далее пошло по пути расширения классификации рынков и вышло за рамки структурной концентрации, охватывая информационные и институциональные аспекты. Модели асимметричной информации [8, 9] показывают, что отклонения от совершенной информации – одного из основных предположений совершенной конкуренции – приводят к качественно различным рыночным результатам, включая неблагоприятный отбор, моральный риск и кредитное нормирование.

Аналогично возрастающая отдача, сетевые эффекты и многосторонние платформы бросают вызов модели совершенной конкуренции, вводя невыпуклости и стратегическую взаимодополняемость [10]. В этих рамках классификация основывается на технологических и информационных предположениях, а не только на количестве фирм или концентрации.

В итоге к настоящему времени в литературе можно выделить два основных типа подходов к вопросу о классификации рынков:

1. Таксономически-описательные подходы, основанные на наблюдаемых структурных особенностях (количество фирм, концентрация, дифференциация).

2. Формально-аксиоматические подходы, где формы рынка выводятся путем модификации предположений хорошо исследованного эталона рынка.

Первый тип характерен для литературы по исследованию отраслевой организации, где рынки классифицируются по структурным переменным. Типичная таксономия выделяет четыре класса рынков – рынок совершенной конкуренции, монополистическую конкуренцию, олигополию и монополию и использует показатели концентрации, такие как индекс Херфиндаля-Хиршмана [17]. Парадигма «структура-поведение-результаты» (SCP) формализовала связи между структурными показателями и результатами деятельности, используя концентрацию и барьеры входа в качестве объясняющих переменных [11]. Хотя таксономические классификации полезны с точки зрения описания, им часто не хватает явной связи с лежащими в их основе экономическими предположениями, что может ограничивать их применимость в различных контекстах.

Формально-аксиоматические подходы к классификации рынков определяют формы рынка посредством логической структуры предположений, заложенных в основных экономических моделях. Для них совершенная конкуренция – это эталонная модель, определяемая набором аксиом (атомистические агенты, полные рынки, однородные товары, совершенная информация, принятие цены, нулевые транзакционные издержки и т.д.). Отклонения от этих аксиом порождают альтернативные структуры рынка. В качестве примеров таких подходов можно привести следующие модели:

• модели стратегического взаимодействия (модели Курно, Бертрана, Штакельберга), которые ослабляют принцип принятия цены [16];

• модели с асимметричной информацией, которые ослабляют предположения о полной информации [8, 9];

• теория конкурентных рынков, где условия входа на рынок, а не количество фирм, формируют конкурентное давление [18];

• платформы и многосторонние рынки, возникающие в результате сетевых эффектов и нестандартных структур спроса [10, 19, 20];

• формальные модели сетевых рынков с гетерогенными агентами и механизмами отбора [21, 22].

В отличие от описательных подходов, формально-аксиоматическая классификация явно определяет соответствие между предположениями и характеристиками равновесия и, таким образом, ближе к микроэкономическим основам.

В целом можно отметить, что в настоящее время в литературе наблюдается сдвиг к формально-аксиоматическим подходам: современные концепции определяют рынки по меха-

низмам взаимодействия и равновесным стимулам, которые формируют стратегическое поведение, информационные потоки и сетевые внешние эффекты, а не только по наблюдаемой структуре отрасли. Такая классификация неявно соответствует аксиоматическому подходу к ослаблению ограничений, где каждая форма рынка соответствует определенным отклонениям от базовых предположений и приводит к различным равновесным свойствам.

Предлагаемый нами подход развивает именно этот тип классификации рынков. Рассматривая совершенную конкуренцию как аксиоматическую эталонную модель и определяя альтернативные рыночные структуры как систематические ослабления ее предположений, мы предлагаем классификацию как логически упорядоченное пространство институциональных возможностей.

Логические основы классификации неформальных понятий

Классификация в экономике, как и во многих других сферах человеческой деятельности, охватывает как виды или типы самой экономики, так и классификацию составляющих ее понятий. При этом при составлении классификаций должны выполняться следующие так называемые правила деления объема понятий [23]:

1. В одной и той же классификации C необходимо применять одно и то же основание B, т.е. если C_B обозначает классификацию с основанием B, то недопустима классификация $C_{B'}$, если $B' \neq B$.

2. Объем объектов классификации должен равняться объему классифицируемого класса, т.е. если $d(o_i)$ – объем объекта o_i, $d(S)$ – объем класса, то

$$d(o_1)+\cdots+d(o_k)=d(S).$$

3. Члены классификации c_i и c_j разных классов должны взаимно исключать друг друга:

$$\{c_i\}_i \cap \{c_j\}_j = \varnothing.$$

4. Подразделение на подклассы должно быть непрерывным, т.е. подчиняться принципу иерархии.

Пусть имеется конечная совокупность неформальных предложений $s_1, s_2, \ldots, s_n$, характеризующих (определяющих) особенности рассматриваемой системы S и удовлетворяющих следующим правилам использования:

- каждому предложению s_i соответствует предикат p_i (позитивный предикат), обозначающий наличие у системы S свойства s_i, либо предикат $\overline{p}_i \equiv \neg p_i$ при невыполнении такого свойства (негативный предикат);
- если множество предикатов является полным и непротиворечивым для системы S, то предикат p_S характеризует систему S в целом и отличает ее от других систем в рассматриваемой предметной области.

Будем считать при выполнении этих правил, что верно следующее утверждение.

Аксиома. *Если* $\triangleq$ *– отношение эквивалентности в смысле правил* 1 *и* 2, *то*

$$p_1 \wedge p_2 \wedge \cdots \wedge p_n \triangleq p_S \ . \tag{1}$$

Введем обозначение

$$\bigwedge_{i=1}^{n} p_i \equiv p_1 \wedge \cdots \wedge p_n \ .$$

Тогда (1) можно записать в виде

$$\bigwedge_{i=1}^{n} p_i \triangleq p_S .$$

Рассмотрим выражение $p_1 \wedge \cdots \wedge \overline{p}_i \wedge \cdots \wedge p_n$. Предикат $\overline{p}_i$ можно интерпретировать и как отрицание предиката p_i, и, самое главное, как отсутствие предиката p_i в (1), т.е.

$$p_1 \wedge \cdots \wedge p_{i-1} \wedge \overline{p}_i \wedge p_{i+1} \wedge \cdots \wedge p_n = p_1 \wedge \cdots \wedge p_{i-1} \wedge p_{i+1} \wedge \cdots \wedge p_n .$$

Но тогда выражение (1) не выполняется. Чтобы оно выполнялось, надо вместо предиката p_S использовать предикат p'_S, не содержащий требования предложения s_i:

$$p'_S \equiv p_S|_{p_i},$$

где $p_S|_{p_i}$ – модифицированный предикат.

В общем случае, поскольку может потребоваться игнорирование произвольного числа предикатов, указываемых в обеих сторонах (1), примем следующую модификацию заключения введенной аксиомы:

$$\bigwedge_{i=1}^{n} p_i \triangleq_{\{\overline{p}_j | p_j \in \{p_1,\ldots,p_n\}\}} p_S .$$

В следующем разделе рассмотрим применение описанного подхода к классификации неформализованных или слабо формализованных понятий в экономической области.

Рынки с нарушениями свойств совершенной конкуренции

Рассмотрим модель совершенной конкуренции как набор предположений, ограничивающих субъектов рынка, товары, условия входа и информацию. Определим ее как кортеж:

$M = \langle p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8 \rangle$, где:

p_1 – предположение о наличии более чем одного продавца,

p_2 – предположение об отсутствии продавцов с заметной рыночной силой,

p_3 – предположение о том, что товары, продаваемые на рынке, являются полными субститутами,

p_4 – предположение о том, что у продавца имеется полная информация о товаре,

p_5 – предположение о том, что у покупателя имеется полная информация о товаре,

p_6 – предположение о полной определенности прав собственности относительно товара,

p_7 – предположение о неограниченной емкости рынка по спросу,

p_8 – предположение о неограниченной емкости рынка по предложению.

Нетрудно заметить, что хорошо описанные в литературе типы рынков соответствуют ослаблению предположений, например, монополия – это ослабление p_1 и p_2, олигополия – ослабление p_2, монополистическая конкуренция – ослабление p_3, информационная асимметрия – ослабление p_4 либо p_5, рынок мериторных и демериторных товаров – p_6, рационирование – p_8 и т.д.

Также очевидно, что некоторые свойства рынка совершенной конкуренции не вошли в явном виде в предлагаемую систему аксиом. Вместе с тем они логически выводятся из данной системы. Действительно, при выполнении p_4, p_5 p_6 все издержки могут быть явно включены в производственные функции и в функции полезности, и таким образом выполняется свойство нулевых транзакционных издержек. Свойство мобильности факторов производства в долгосрочном периоде по смыслу обеспечивает выполнение p_7, p_8. Ценообразование на основе принятия цены следует из p_2, одинаковые цены на факторы производства для всех фирм

следуют из мобильности факторов производства в долгосрочном периоде, отсутствие барьеров для входа и выхода – из p_4, p_5 p_6, а отсутствие экстерналий – из p_6.

Центральная идея предлагаемого нами подхода заключается в том, что альтернативные структуры рынка могут быть сгенерированы как систематические ослабления элементов М как подкортежей (в смысле части этих элементов), возможно, с различными порядками следования. Каждая рыночная структура, представляющая экономический интерес, соответствует некоторому подмножеству предположений модели совершенной конкуренции. Это утверждение формализует интуицию о том, что классические типы рынков (монополия, олигополия, монополистическая конкуренция) являются частными случаями ослабления предположений.

Процедура построения классификации локальных рынков включает следующие действия:

1. Выявление свойств совершенной конкуренции, образующих полную и непротиворечивую систему (используя экспертные оценки).

2. Назначение каждому свойству и всей системе соответствующих позитивных предикатов для рассматриваемого объекта (локальные рынки).

3. Составление списка негативных предикатов (с характеристиками, если они имеются).

4. Представление требуемой классификации таблицей комбинации позитивных и негативных вариантов (см. таблицу 1, где «+» обозначает присутствие соответствующего позитивного предиката, а «–» – присутствие соответствующего негативного).

Таблица 1. Возможные комбинации предикатов

Table 1. Possible combinations of predicates

p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8
+	+	+	+	+	+	+	+
–	+	+	+	+	+	+	+
+	–	+	+	+	+	+	+
–	–	+	+	+	+	+	+
+	+	–	+	+	+	+	+
–	+	–	+	+	+	+	+
+	–	–	+	+	+	+	+
–	–	–	+	+	+	+	+
…	…	…	…	…	…	…	…

Таблица 1. (окончание)

Table 1. (continued)

p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8
–	–	–	+	–	–	–	–
+	+	+	–	–	–	–	–
–	+	+	–	–	–	–	–
+	–	+	–	–	–	–	–
–	–	+	–	–	–	–	–
+	+	–	–	–	–	–	–
–	+	–	–	–	–	–	–
+	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–

Поскольку каждый предикат может присутствовать в этих двух формах, общее количество строк таблицы равно 2^n, где n – количество предложений, характеризующих классифицируемый объект. В нашем случае $n=8$. Таким образом,

$$p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge p_4 \wedge p_5 \wedge p_6 \wedge p_7 \wedge p_8 \triangleq p_S,$$

а таблица будет содержать $2^8 = 256$ строк (в приведенной табл. 1 отражены ее начальный и оконечный фрагменты).

Для больших значений n табличное представление будет громоздким и может вызывать сложности при анализе ее содержимого. Для автоматизации поддержки действий 1–4 при построении и анализе классификаторов является целесообразным использование подходов и инструментария из области баз данных. В соответствии с этим будем использовать информационные иерархические структуры [Чернышев, 2014] для создания баз данных, содержащих классификации. Например, структура табл. 1 может быть представлена следующей иерархической схемой (рис. 1):

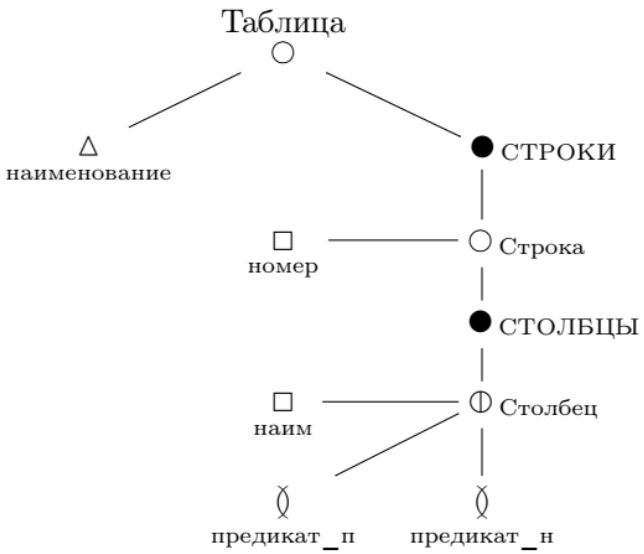


***Рис. 1**. Схема иерархического представления таблицы*

***Fig. 1**. Hierarchical structure of the table layout*

При этом в качестве элементов этой схемы используются (именованные) типы (табл. 2) как вершины и ненаправленные ребра, связывающие их в иерархической структуре.

Таблица 2. Элементы информационных иерархических структур

Table 2. Elements of hierarchical information structures

Элемент	***Описание***
● — массив	неограниченное множество однотипных элементов
○ — структура	ограниченная совокупность элементов различного типа
⦶ — условная структура	все элементы, кроме ключа, «связаны» исключающим «или»
□ — ключ (массива)	упорядывающий элемент массива
△ — терминальный	элемент определенного типа (текст, целое число, действительное число, логическое значение) структуры
⦰ — пустой терминальный	вершина, имеющая определенный тип, но не содержащая значения

Саму схему как архитектурный компонент систем управления базами данных можно рассматривать и как информационную модель соответствующей предметной области, имеющей текстовое описание. В данном случае приведенная схема (рис. 1) имеет следующее описание (где отступы задают уровни иерархии) на языке описания данных.

Таблица: ***структура***
  наименование: ***текст***
  СТРОКИ: ***массив***
    Строка: ***структура***
      номер: ***целое, ключ***
      СТОЛБЦЫ: ***массив***
        Столбец: ***у-структура***
          наим: ***текст, ключ***
          предикат_п: ***пусто***
          предикат_н: ***пусто***

Служебные слова в этом описании фактически задают типы вершин иерархии и выделены полужирным курсивом. Следует заметить, что имеется возможность определять новые типы вершин, расширяя этим возможности моделирования произвольных предметных областей.

Рассмотрим представление схемы классификации локальных рынков, приведенное в предыдущем пункте, с тем свойством, что имеется возможность формирования таблицы с заданием ограничения на количество m учитываемых негативных предикатов, с $m < n$.

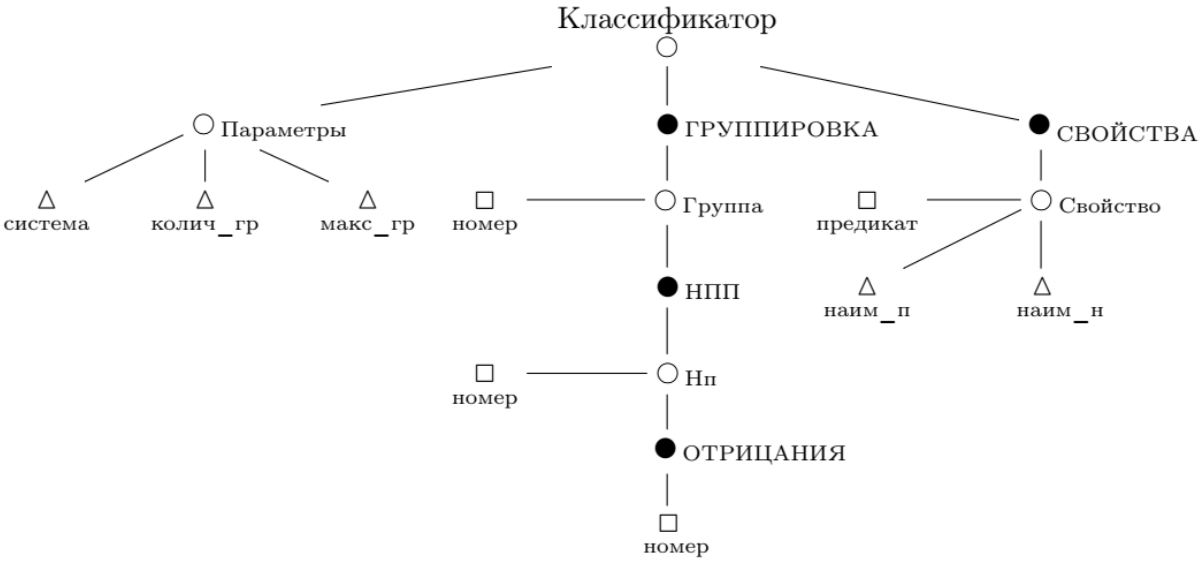


***Рис. 2**. Схема иерархического представления классификатора*

***Fig. 2**. Diagram of the hierarchical representation of the classifier*

Здесь вершина `Параметры` предназначена для именования классификатора (в вершине `система`), вершина `колич_групп` должна содержать количество групп, равное количеству предикатов классификатора, в вершине `макс_группа` указывается максимальное количество учитываемых негативных предикатов.

Соответствующее текстовое описание этой схемы имеет вид:

Классификатор: ***структура***
 Параметры: ***структура***
  система: ***текст***
  колич_гр: ***целое***
  макс_гр: ***целое***
 ГРУППИРОВКА: ***массив***
  Группа: ***структура***
   номер: ***целое, ключ***
   НПП: ***массив***
    Нп: ***структура***
     номер: ***целое, ключ***
     ОТРИЦАНИЯ: ***массив***
      Предикат: ***текст, ключ***
 СВОЙСТВА: ***массив***
  Свойство: ***структура***
   предикат: ***текст, ключ***
   наим_п: ***текст***
   наим_н: ***текст***

В поддереве СВОЙСТВА будут содержаться условные обозначения и формулировки позитивных и негативных предикатов.

Вершина ГРУППИРОВКА содержит корень поддерева, которое описывает структуру группировки групп классификации, содержащих условные обозначения предикатов, по одному, по два и т.д., до группы мощностью, равной величине указанной в вершине макс_группа.

Приведем фрагмент содержимого базы данных, организованной согласно приведенной схемы классификации.

```
Классификатор
 Параметры
  система = Локальные рынки с нарушениями свойств
  колич_групп = 8
  макс_группа = 2
 ГРУППИРОВКА
  1
   НПП
    1
     ОТРИЦАНИЯ
      p_1
    2
     ОТРИЦАНИЯ
      p_2
    ⋮
    8
     ОТРИЦАНИЯ
      p_8
  2
   НПП
    1
     ОТРИЦАНИЯ
      p_1
      p_2
    2
     ОТРИЦАНИЯ
      p_1
      p_3
    ⋮
    42
     ОТРИЦАНИЯ
      p_7
      p_8
 СВОЙСТВА
  p_1
   наим_п = имеется много продавцов
   наим_Н = олигополия
  ⋮
  p_8
   наим_п = по предложению имеется практически неограниченная
          емкость рынка
   наим_Н = рационирование
```

Выводы

Предложенный подход к классификации рыночных структур позволяет построить упорядоченное пространство рыночных форм, где совершенная конкуренция выступает в роли эталонной модели, заданной набором ограничений. Рыночные структуры интерпретируются как результат систематического ослабления тех или иных подмножеств этих ограничений.

Показано, что аксиоматическая эталонная модель позволяет установить явное соответствие между ослаблением конкретных предположений и характеристиками равновесия. Это позволяет интерпретировать любую несовершенную рыночную структуру не как обособленный феномен, а как результат ослабления конкретного набора исходных аксиом. Такой способ классификации ближе к микроэкономическим основаниям, чем традиционные типологии, опирающиеся преимущественно на наблюдаемые признаки (количество продавцов, степень дифференциации продукта и т.д.).

Использование единого пространства рыночных форм позволяет представить различные модели (монополистическую конкуренцию, олигополию, рынки с информационной асимметрией и т.д.) как элементы одной структуры, различающиеся набором ослабленных предположений. Это создает основу для более систематического сравнительного анализа.

Предложены логические основы классификации неформальных понятий, предлагается их операционализация через призму отклонения от аксиоматического идеала. Естественно, реализация подхода при анализе конкретных рынков требует решения некоторых специфических задач, связанных с определением операциональных критериев сопоставления реальных рыночных ситуаций с элементами аксиоматического пространства.

Разработанный формализм позволяет не только проводить сравнительный анализ между различными рыночными режимами в статике, но и создает основу для построения инструментальных классификаторов. Таким образом, предложенная теоретическая архитектура может быть имплементирована в алгоритмические системы анализа рыночных структур.

Перспективным представляется развитие динамических аспектов классификации, так как рыночные структуры могут трансформироваться при изменении набора действующих ограничений во времени, и траектории такой трансформации могут различаться для различных конкретных рынков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Ивин А. А., Никифоров А. Л.* Словарь по логике. М.: ВЛАДОС, 1997. 384 с.

Ivin A.A., Nikiforov A.L. *Slovar' po logike* [Dictionary of Logic]. M.: VLADOS, 1997. 384 p. (In Russian)

2. *Кедров Б. М.* Классификация наук. Книга 1. М.: Мысль, 1961. 472 с.

Kedrov B.M. *Klassifikaciya nauk* [Classification of sciences]. Book 1. M.: Mysl’, 1961. 472 p. (In Russian)

3. *Кедров Б. М.* Классификация наук. Книга 2. М.: Мысль, 1965. 545 с.

Kedrov B.M. *Klassifikaciya nauk* [Classification of sciences]. Book 2. M.: Mysl’, 1965. 545 p. (In Russian)

4. *Кедров Б. М.* Классификация наук. Книга 3. М.: Мысль, 1985. 543 с.

Kedrov B.M. *Klassifikaciya nauk* [Classification of sciences]. Book 3. M.: Mysl’, 1985. 543 p. (In Russian)

5. *Мейен С. В., Шрейдер Ю. А.* Методологические аспекты теории классификации // Вопросы философии. 1976. № 12. С. 67–79.

Meyen S.V., Shreider Yu.A. Methodological aspects of classification theory. *Voprosy Filosofii*. 1976. No. 12. Pp. 67–79. (In Russian)

6. *Соловьева Е. А., Ельчанинов Д. Б., Маторин С. И.* Применение теории категорий к исследованию и моделированию естественной классификации // НТИ. Серия 2. 1999. № 3. С. 1–7.

Solovieva E.A., Elchaninov D.B., Matorin S.I. Application of category theory to the study and modeling of natural classification. *NTI. Series 2*. 1999. No. 3. Pp. 1–7. (In Russian)

7. *Соловьева Е. А.* О математическом моделировании системы понятий, методе и критериях естественной классификации // НТИ. Серия 2. 1991. № 4. С. 1–10.

Solovieva E.A. On mathematical modeling of a system of concepts, method and criteria of natural classification. *NTI. Series 2*. 1991. No. 4. Pp. 1–10. (In Russian)

8. Akerlof G. The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism. *Quarterly Journal of Economics*. 1970. Vol. 84(3). Pp. 488–500.

9. Stiglitz J., Weiss A. Credit rationing in markets with imperfect information. *American Economic Review*. 1981. Vol. 71(3). Pp. 393–410.

10. Rochet J.-Ch., Tirole J. Platform competition in two-sided markets. *Journal of the European Economic Association*. 2003. Vol. 1(4). Pp. 990–1029.

11. Bain J. Barriers to new competition. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1956.

12. Arrow K., Debreu G. Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*. 1954. Vol. 22(3). Pp. 265–290.

13. *Маршалл А.* Принципы экономической науки: в 3 т. М.: Прогресс, 1993. 350 с.

Marshall A. *Printsipy ekonomicheskoy nauki* [Principles of economics]. Moscow: Progress, 1993. (In Russian)

14. Chamberlin E. The theory of monopolistic competition. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1933.

15. Robinson J. The economics of imperfect competition. London: Macmillan, 1933.

16. Tirole J. The theory of industrial organization. Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

17. Scherer F., Ross D. Industrial market structure and economic performance. 3rd ed. Boston: Houghton Mifflin, 1990.

18. Baumol W., Panzar J., Willig R. Contestable markets and the theory of industry structure. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1982.

19. Eisenmann T., Parker G., van Alstyne M. Strategies for two-sided markets. Harvard Business Review. 2006. Vol. 84. Pp. 92-101.

20. Filistrucchi L., Geradin D., van Damme E., Affeldt P. Market Definition in Two-Sided Markets: Theory and Practice. Journal of Competition Law & Economics. 2013. Vol. 10(2). Pp. 293–339.

21. Chica C., Guo Y., Lerman, G. Competition and collusion in two-sided markets with an outside option. *Working Paper.* 2025. https://arxiv.org/abs/2505.06109

22. Einav L., Finkelstein A., Mahoney N. Chapter 14 – The IO of selection markets. In: Ho K., Hortascu A., Lizzeri A. (eds.) *Handbook of Industrial Organization*. 2021. Vol. 5. No. 1. Pp. 389–426.

23. *Кондаков Н. И.* Логический словарь-справочник. М.: Наука, 1975. 721 с.

Kondakov N.I. *Logicheskiy slovar'-spravochnik* [Logical dictionary-reference book]. M.: Nauka, 1975. 721 p. (In Russian)

24. *Чернышев Г. В.* К созданию информационных инструментальных средств поддержки представления знаний // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. М.: ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова, 2014. С. 8762–8772.

Chernyshev G.V. On the creation of information tools to support knowledge representation. *Proceedings of the XII All-Russian Conference on Control Problems VSPU-2014*. Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2014. Pp. 8762–8772. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания Института информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН по теме НИР № 125032004246-5.

Funding. The study was conducted as part of the state assignment for research Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS project No. 125032004246-5.

Информация об авторах

Гуртуев Алим Оюсович, канд. экон. наук, вед. науч. сотр., зав. отделом моделирования социально-экономических процессов, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

alemao@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2067-8129, SPIN-код: 1667-6220

Чернышев Геннадий Васильевич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. отдела моделирования социально-экономических процессов, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

henrychern@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0870-6318, SPIN-код: 4103-0163

Information about the authors

Alim O. Gurtuev, Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Modeling of Social and Economic Processes, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

alemao@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2067-8129, SPIN-code: 1667-6220

Gennady V. Chernyshev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Department of Modeling of Social and Economic Processes, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia

henrychern@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0870-6318, SPIN-code: 4103-0163

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 330.4 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-322-332
OPSRKQ

Оценка цифровой трансформации регионов РФ методом анализа больших неструктурированных данных

А. А. Максимов

Университет «Синергия»
129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1

Аннотация. Актуальность исследования заключается в необходимости создания инструмента для быстрого определения цифровой зрелости регионов Российской Федерации. Инструмент должен обладать гибкостью, чтобы адаптироваться под меняющиеся реалии страны. Проблема существующих методик состоит в том, что многие актуальные рейтинги формируются на основе клишированных отчетов; кроме того, данные, полученные из административных баз, строго регламентированы, вследствие чего индикаторы цифровой зрелости не являются гибкими.

Цель исследования – определение цифровой зрелости регионов Российской Федерации на основе больших неструктурированных данных, собранных с официальных сайтов федеральных органов, их официальных социальных сетей и каналов, а также новостных ресурсов средств массовой информации.

Материалы и методы исследования. В ходе работы применялись методы автоматизированного сбора, обработки и структурирования информации. Для очистки данных и выделения индикаторов цифровизации были применены алгоритмы обработки естественного языка, которые позволили оценить частоту упоминаний, необходимых для исследования технологий.

Результаты. Полученный в ходе исследования рейтинг регионов сравнивается с данными Центра экспертизы и координации информатизации (ЦЭКИ), которые были опубликованы за 2025 год. Для определения цифровой зрелости регионов Российской Федерации был разработан гибкий список индикаторов по заранее выделенным отраслям цифровизации, в котором каждая отрасль является ключевой для любого из регионов. После получения ранжированного списка регионов с причиной нахождения региона в топе было проведено сравнение с рейтингом ЦЭКИ, в результате чего были сделаны выводы о причинах различия списка.

Выводы. Рейтинг ориентирован на практики, значимые для граждан, поскольку в исследовании используются новостные сводки, где приводятся слова и комментарии жителей регионов, что часто игнорируется при составлении официальных рейтингов.

Ключевые слова: цифровая трансформация регионов, большие неструктурированные данные, оценка цифровой зрелости, большие данные, цифровая зрелость регионов РФ

Поступила 05.05.2026, одобрена после рецензирования 16.07.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Максимов А. А. Оценка цифровой трансформации регионов РФ методом анализа больших неструктурированных данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 322–332. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-322-332

© Максимов А. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

JEL: L10, B41 Original article

Assessing digital transformation across Russian regions via unstructured big data analysis

A.A. Maximov

Synergy University
9/14, Meshchanskaya street, building 1, Moscow, 129090, Russia

Abstract. This study addresses the critical need for an agile tool to assess the digital maturity of Russian regions. The tool requires sufficient agility to adapt to the country's evolving socio-economic landscape. A problem with existing methodologies is that many current rankings are based on formulaic reports; furthermore, data derived from administrative databases are strictly regulated, rendering the digital maturity indicators inflexible.

Aim. The objective of this research is to assess regional digital maturity across the Russian Federation based on massive unstructured datasets compiled from federal agencies' websites, social media channels, and media outlets.

Materials and methods. The study utilized methodologies for automated data harvesting, processing, and structuring. Natural language processing algorithms were used to clean the data and identify digitalization indicators, enabling the assessment of mention frequencies relevant to the study of these technologies.

Results. The resulting regional ranking is benchmarked against the 2025 data from the Center for Expertise and Coordination of Informatization (CEKI). To assess the digital maturity of Russian regions, a flexible set of indicators was developed based on pre-identified digitalization sectors, each of which is critical for any given region. Following the generation of the ranked list, along with the underlying factors for each region's respective placement, a comparison was made with the CEKI ranking, leading to conclusions regarding the drivers of the discrepancies between the lists.

Conclusions. The ranking focuses on practices that matter to citizens, since the study draws on media coverage featuring the perspectives and comments of local residents an aspect often overlooked when compiling official rankings.

Keywords: Digital transformation of regions, large unstructured data, digital maturity assessment, big data, digital maturity of the regions of the Russian Federation

Submitted 05.05.2026, approved after reviewing 16.07.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Maximov A.A. Assessing digital transformation across Russian regions via unstructured big data analysis. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 322–332. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-322-332

Введение

В условиях санкционного давления на Российскую Федерацию, приводящего к формированию многополярного мира как в экономике, так и в сфере цифровизации, необходимо предусмотреть модернизацию методики оценки цифровой зрелости в максимально кратчайшие сроки.

© Maximov A.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Для оценки потенциала цифровой трансформации в стратегически значимых отраслях экономики и промышленности необходима гибкая система оценки. Результаты новой методики позволят повысить эффективность работы центров управления данными в регионах Российской Федерации, сократить количество ошибок и обеспечить более релевантные результаты. Такая система имеет стратегическое значение: полученные результаты смогут оказать конструктивное влияние на социально-экономическое развитие страны, деловой среды и институтов гражданского общества. Это позволит выстроить государственную и муниципальную политику с учетом внешнего санкционного давления, а решения руководителей смогут быть более гибкими в различных условиях.

Обзор литературы

Цифровая трансформация регионов является стратегическим приоритетом Российской Федерации. Указом Президента РФ № 309 от 07.05.2024 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» определена национальная цель – «цифровая трансформация государственного и муниципального управления, экономики и социальной сферы» [1]. В качестве одного из целевых показателей установлено достижение «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики к 2030 году [1, 15].

Методика расчета индекса зрелости регионов была утверждена Правительством РФ. Методика учитывает следующие отрасли: здравоохранение, образование, городское хозяйство, общественный транспорт и государственное управление. В. И. Абрамов и В. Д. Андреев указывают на технологическое неравенство регионов, разрозненность инфраструктуры и ограниченность аналитических метрик [1].

В. И. Абрамов и В. Д. Андреев проанализировали плановые значения индикаторов цифровой зрелости по 82 регионам России на период 2022–2024 гг. Авторы рассчитали плановый индекс цифровой зрелости по пяти ключевым отраслям [2]. Определены передовые, средневысокие, средненизкие и отстающие регионы [2]. В работе предложены направления совершенствования методики оценки индекса цифровой зрелости с учетом зарубежного опыта [3]. В другом исследовании эти же авторы проанализировали первый год реализации программ цифровой трансформации в регионах России. Показано, что на начальном этапе цифровая трансформация носит неоднозначный характер: есть регионы, где фактические значения цифровой зрелости выше плановых [4].

Н. В. Василенко и В. А. Мордовец выделили институциональные ограничения цифровой трансформации [5]. Авторы систематизировали основные направления государственной политики в этой области [5]. А. Д. Винокуров указал на трудности, которые возникают при определении критериев оценки эффективности развития регионов в области цифровизации [6]. Автором представлены профили цифровой зрелости регионов РФ [6]. А. Ю. Коковихин исследовал факторы и барьеры, связанные с «человеческим фактором» [9]. Автор разработал модель компетенций государственных служащих и показал средний уровень выраженности цифровых компетенций работников, оказывающих услуги в цифровой форме [9].

О. В. Воскресенская установила прямую зависимость цифровой активности от уровня инфраструктуры, инвестиционной обеспеченности, наличия ИТ-кластеров и цифровой грамотности населения [7]. Выделены четыре группы регионов РФ по уровню цифровой зрелости [7]. А. С. Ксенофонтов, Ф. А. Мухаметшина и А. А. Ахметгареева утверждают, что цифровая активность регионов существенно коррелирует с их общим уровнем конкурентоспособности [10]. Авторами предложен интегральный индекс конкурентоспособности регионов, который опирается на экономические и цифровые показатели [10]. М. В. Курникова

указала на разницу между лидерами и аутсайдерами [11]. Среди регионов наблюдается 20-кратный разрыв в индексе [11]. Результат получен путем разработки комплексной методики оценки технологической зрелости регионов [11].

Ю. В. Евдокимова и Е. Н. Егорова пришли к выводу, что методики оценки цифровой трансформации нуждаются в постоянном совершенствовании [8]. Особое внимание следует уделять не только созданию цифровой инфраструктуры, но и удовлетворенности населения цифровыми сервисами [8]. Е. В. Рытова, Е. Р. Холина и А. А. Майкова построили эконометрическую модель взаимосвязи между показателями цифровизации и благосостоянием регионов [13]. Доступ к интернету является наиболее явным показателем уровня благосостояния населения региона [13]. В. П. Самарина и К. А. Никитина на примере Белгородской области показали отсутствие системности в реализации региональных программ, направленных на цифровизацию [14]. А. Г. Санина, В. А. Хомякова и А. Г. Атаева выявили положительную, но нелинейную корреляцию между уровнем цифровизации и уровнем устойчивого развития субъектов РФ [15]. Ключевыми барьерами названы дефицит квалифицированных кадров, фрагментарность цифровых решений, ограниченный доступ к цифровой инфраструктуре [15].

А. И. Немкин считает, что рейтинги (рейтинг по выполнению закона о госпабликах и рейтинг цифровой зрелости Минцифры России) являются инструментом преодоления цифрового неравенства регионов [12]. Автор считает, что рейтинги позволяют оценить реальную ситуацию и скорректировать стратегию дальнейшего развития [12].

Опора на формальные отчеты и использование структурированных статистических данных являются общим недостатком перечисленных подходов. Формальные отчеты не отражают мнения граждан и эксплуатацию гражданами объектов цифровизации.

Для анализа текстовых данных в международной практике применяются методы обработки естественного языка. В данном исследовании выбран вероятностный метод BM25. Применение BM25 для оценки цифровой зрелости регионов на основе неструктурированных данных в российской практике ранее не рассматривалось.

Таким образом, существует научный пробел: отсутствует методика, позволяющая оперативно оценивать цифровую зрелость регионов на основе неструктурированных данных с учетом общественного резонанса.

Постановка проблемы

Цифровая трансформация стала неконтролируемым процессом, поэтому ее невозможно оценить на основе существующих формальных отчетов. В. Д. Андреев отмечает, что данные для оценки цифровизации стали выходить за рамки актуальных индикаторов [3, с. 33]. Индикаторы из формальных отчетов практически не учитывают мнение граждан. Появляются новые отрасли и индикаторы цифровизации, а старые теряют свою актуальность. Именно поэтому необходимо создать более гибкую методику оценки цифровизации, где будут выделены ключевые отрасли, а также актуальные индикаторы. Такая методика должна адаптироваться к быстро меняющимся условиям, поскольку новые индикаторы появляются регулярно.

Методы исследования

В ходе совещания с региональными руководителями цифровой трансформации субъектов РФ под кураторством заместителя председателя Правительства – руководителя аппарата Правительства Дмитрия Григоренко ЦЭКИ был опубликован рейтинг региональных руководителей цифровой трансформации за 2024 год. Была проведена работа по анализу 88 регионов (без учета Москвы), при этом 39 регионов набрали более 70 % от максимально возможной оценки. Стоит обратить внимание на топ-10 регионов Российской Федерации (см. табл. 1).

В ходе составления рейтинга было выделено 18 индикаторов цифровизации: уровень импортонезависимости ПО; доля электронных медицинских свидетельств о рождении; госпаблики; переход на «ГосТех»; внедрение платформы обратной связи; уровень удовлетворенности граждан массовыми социально значимыми услугами; информационная безопасность; цифровизация услуг посредством визуального конструктора; цифровая зрелость органов государственной власти; направление исполнительных документов в электронном виде; льготная ИТ-ипотека; полнота внесения информации в ГИС ЖКХ; внедрение «Госключа» и пр. Москва в рейтинг не включалась. Итоговый рейтинг представлен в таблице 1[1].

Таблица 1. Рейтинг регионов РФ, опубликованный ЦЭКИ

Table 1. CEKI ranking of Russian regions

Регион РФ	Оценка цифровой трансформации, %
Белгородская область	94,22
Республика Татарстан	91,35
Ямало-Ненецкий автономный округ	90,79
Ханты-Мансийский автономный округ	90,12
Челябинская область	88,26
Свердловская область	87,25
Московская область	86,63
Новосибирская область	84,71
Оренбургская область	83,95
Сахалинская область	82,87

Рейтинг ЦЭКИ не является гибким и имеет жесткие методические ограничения, поскольку основывается на заранее заданном перечне индикаторов. Индикаторы цифровой зрелости задаются заранее и пересматриваются по итогам года, что мешает включению актуальных индикаторов (например, видеоконсультации с врачами или электронные собрания жильцов). Актуальность индикаторов может меняться от квартала к кварталу в зависимости от экономических и геополитических тенденций. Следовательно, необходима гибкая методика, опирающаяся на оперативные источники (новости, соцсети), которая фиксирует не только внедрение технологий, но и общественный резонанс. Именно такую методику предлагается разработать в данном исследовании.

Для ранжирования регионов РФ относительно их цифровой зрелости необходимо определить отрасли цифровизации и индикаторы по отраслям [3, с. 34]. Часть предложенных в работе индикаторов была заимствована у В. И. Абрамова и В. Д. Андреева [2, с. 95]. Однако были добавлены индикаторы, которые отсутствуют в их перечне или сформулированы иначе. Добавленные индикаторы регулярно упоминаются в СМИ и социальных сетях как важные для населения. Они отражают практики, значимые для граждан, но отсутствуют в официальных перечнях. Их включение повышает чувствительность рейтинга к реальным потребностям населения. К добавленным индикаторам относятся: доля образовательных

[1]Рейтинги регионов России по развитию информационных технологий: [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/ Статья: Рейтинги_регионов_ России_ по_развитию_информационных_ технологий (дата обращения: 05.05.2026).

организаций, использующих электронные журналы и дневники как основной документ учета; доля учащихся, охваченных дистанционными образовательными технологиями; доля автобусов, подключенных к автоматизированной диспетчерской системе; доля остановочных пунктов с электронными табло; доля автобусов с оплатой проезда через мобильные устройства; доля граждан, зарегистрированных на ЕПГУ и получивших услугу в электронном виде; доля интегрированных информационных систем для автоматического обмена данными; доля межведомственных запросов, обработанных через СМЭВ; доля медицинских организаций с автоматизированным обменом электронными документами; доля граждан, которым доступны электронные рецепты; доля обращений по вопросам городского хозяйства, обработанных в электронном виде; доля заявок на аварийно-диспетчерское обслуживание через единую платформу; доля многоквартирных домов с автоматизированной передачей показаний приборов учета.

Индикаторы, с помощью которых рассчитывается индекс цифровой зрелости в разрезе ключевых секторов, приведены в таблице 2 [2, с. 94]. Отраслями цифровизации стали:

- Образование как фундаментальная инвестиция в будущее страны.
- Общественный транспорт, поскольку от эффективности транспортной сети зависит деятельность крупных компаний.
- Государственное управление, где цель цифровизации направлена на повышение его эффективности.
- Здравоохранение, в котором от цифровизации этого параметра зависит доступность медицинский услуг, качество лечения и снижение нагрузки на врачей.
- Городское хозяйство, цифровизация которого позволяет оплачивать коммунальные услуги онлайн, улучшает обратную связь между жильцами и коммунальными службами.

Для ускорения и упрощения сбора необходимой информации были применены методы парсинга, под которым подразумевается автоматизированный сбор данных. Программа для парсинга была написана на языке программирования Python с применением библиотеки BeautifulSoup, предназначенной для парсинга HTML и XML. Она формирует дерево объектов, с которым удобно работать. Данные для исследования собирались за период с апреля по июнь 2026 года по 88 регионам РФ (без учета Москвы). Сбор данных носил тематический характер: отбирались новостные статьи и посты в социальных сетях, содержащие упоминания выделенных индикаторов цифровой зрелости из таблицы 2. Подбор СМИ (15 изданий) осуществлялся на основе двух критериев: наличие раздела «цифровизация/ИТ» и вхождение в топ-50 наиболее цитируемых источников РФ согласно рейтингу информационно-аналитической системы «Медиалогия» за 2025 год[2]. Источниками данных служили:

- официальные сайты региональной власти (88 сайтов);
- официальные каналы региональных органов власти в государственном мессенджере «MAX» (раздел «Госпаблики»);
- официальные группы региональных органов власти в социальной сети «ВКонтакте»;
- официальные сайты СМИ (сайт должен содержать тематическую рубрику «цифровизация/ИТ»). Всего 15 федеральных и региональных СМИ (РИА «Новости», ТАСС, «Коммерсантъ», «Российская газета» и другие).

[2]Медиалогия. Рейтинги СМИ. Федеральные СМИ – 2025 год (топ-50): [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mlg.ru/ratings/media/federal/ (дата обращения: 12.07.2026).

Таблица 2. Индикаторы для определения индекса цифровой зрелости

Table 2. Digital maturity index indicators

Отрасль	Индикаторы
Образование	Доля учащихся, реально использующих рекомендации для построения индивидуальных траекторий на основе данных цифрового портфолио; доля образовательных организаций, использующих электронные журналы и дневники в качестве основного документа учета успеваемости; доля педагогических работников, систематически использующих верифицированный цифровой образовательный контент и сервисы; доля заданий в электронной форме для учащихся, проверяемых с использованием технологий автоматизированной проверки; доля учащихся, имеющих бесплатный доступ к верифицированному цифровому контенту и сервисам для самостоятельной подготовки; доля учащихся, охваченных дистанционными образовательными технологиями (синхронное и асинхронное обучение); доля учащихся, по которым осуществляется ведение цифрового профиля.
Общественный транспорт	Доля автобусов, для которых обеспечена в открытом доступе информация об их реальном движении по маршруту; доля автобусов, подключенных к автоматизированной системе диспетчерского управления; доля остановочных пунктов, оборудованных электронными табло с отображением реального времени прибытия; доля автобусов, в которых доступна оплата проезда с использованием мобильных устройств; доля автобусов, осуществляющих регулярные перевозки пассажиров, оснащенных системами безналичной оплаты проезда.
Государственное управление	Доля граждан, зарегистрированных на ЕПГУ и получивших не менее одной услуги в электронном виде за отчетный период; доля государственных и региональных информационных систем, интегрированных между собой для автоматического обмена данными; доля массовых социально значимых услуг, доступных в электронном виде на ЕПГУ и предоставленных без личного посещения органов власти и МФЦ; доля проверок в рамках контрольно-надзорной деятельности, проведенных дистанционно с использованием электронных чек-листов; доля электронного юридически значимого документооборота между органами исполнительной власти, местного самоуправления и подведомственными учреждениями; доля межведомственных запросов, обработанных в электронном виде через систему межведомственного электронного взаимодействия.
Здравоохранение	Доля медицинских организаций, обеспечивающих автоматизированный обмен электронными медицинскими документами с другими учреждениями; доля граждан, которым доступны врачебные назначения (рецепты) в форме электронного документа; доля медицинских организаций, осуществляющих централизованную обработку и хранение в электронном виде результатов диагностических исследований; доля граждан, находящихся на диспансерном наблюдении, по которым обеспечен дистанционный мониторинг состояния здоровья; доля записей на прием к врачу, совершенных гражданами дистанционно; доля консультаций, проводимых врачом с пациентом с использованием видео-конференц-связи (в том числе на ЕПГУ); доля приобретаемых за бюджетные средства лекарственных препаратов, по которым обеспечен централизованный учет их распределения и использования; доля граждан, у которых сформированы интегрированные электронные медицинские карты, доступные на ЕПГУ.
Городское хозяйство	Доля обращений граждан по вопросам городского хозяйства, обработанных в электронном виде с предоставлением результата; доля услуг по управлению многоквартирным домом и содержанию общего имущества, оплаченных онлайн; доля аварийного жилого фонда, внесенного в цифровой реестр аварийного жилья; доля заявок на аварийно-диспетчерское обслуживание, принятых и отработанных через единую цифровую платформу; доля коммунальных услуг, оплаченных онлайн; доля многоквартирных домов, в которых организована автоматизированная передача показаний приборов учета; доля общих собраний собственников помещений в многоквартирных домах, проведенных посредством электронного голосования.

Следующим шагом стали анализ и ранжирование регионов на основе полученных данных. Для определения уровня цифровизации регионов был выбран вероятностный метод BM25 (Best Matching 25), поскольку он учитывает длину документа и частоту встречающихся терминов.

Формула для термина *t* в документе *d*:

$$\mathrm{BM25(t,d)IDF(t)}\frac{\mathrm{TF(t,d)(k_1+1)}}{\mathrm{TF(t,d)+k_1(1-b+\frac{b|d|}{avgdl})}},$$

где:

k_1 и b – параметры, обычно $k_1=1,2$, $b=0,75$, $|d|$ – длина документа d, *avgdl* – средняя длина документа в корпусе.

Вероятностный метод BM25 уникален своими параметрами k_1 и b. С параметрами были проведены следующие эксперименты: увеличение параметра k_1 до (1,5–2,0) усилило влияние общего объема документа, что полезно для отсеивания коротких новостных сводок; уменьшение параметра k1 (0,5–1,0) усилило влияние новостных заголовков и постов; увеличение параметра b (0,7–1,0) уменьшило влияние статей с большим количеством повторов; уменьшение параметра b (0–0,3) способствовало увеличению влияния научных статей. Эксперименты с параметрами проводились на тестовой выборке из 300 статей.

Для каждого региона был рассчитан суммарный BM25-балл. Сначала по каждому индикатору посчитана BM25-оценка, оценка определялась на основе частоты его упоминаний в собранных текстах. Затем эти оценки суммировались по всем индикаторам. Индикаторы, которые попадались редко и при этом были содержательными (с высокой IDF), давали больше веса. Итоговый балл нормировался по максимальному значению для сопоставимости регионов.

На основе суммарных баллов был составлен рейтинг десяти лучших регионов (табл. 3). В таблице указана основная причина попадания в топ – индикатор с наибольшим IDF-вкладом.

Таблица 3. Сопоставление результатов исследования с данными ЦЭКИ

Table 3. Comparison of study findings with CEKI data

Регион РФ	Итоговый балл BM25 (нормированный)	Основная причина попадания в рейтинг
Ханты-Мансийский АО	0,87	Дистанционный мониторинг диспансерных больных
Московская область	0,84	Высокий скоринг по «автоматизированной передаче показаний ПУ» в МКД – индикатор имеет высокий IDF из-за низкого проникновения в других регионах
Республика Татарстан	0,79	Лидер по «дистанционным проверкам бизнеса с электронными чек-листами». Почти не встречается вне Татарстана
Белгородская область	0,76	Электронные собрания собственников жилья и наибольшее количество онлайн-оплат коммунальных услуг
Тюменская область	0,72	Сочетание двух редких индикаторов: реальные цифровые портфолио учащихся + безналичная оплата в автобусах
Нижегородская область	0,68	Автоматизированная проверка заданий в школах – индикатор с самым высоким IDF среди образовательных метрик
Новосибирская область	0,65	Большое количество «видеоконсультаций врач – пациент»
Ленинградская область	0,61	Самое большое количество электронных табло на остановках: этот транспортный индикатор редко встречается в РФ
Свердловская область	0,58	Большая доля учащихся имеют ведение «цифрового профиля» – индикатор сам по себе не редкий, но в связке с автопроверкой заданий дает высокий BM25-результат
Краснодарский край	0,54	Максимальная доля «онлайн-оплаты услуг по управлению МКД» – длинная цепь из 7 индикаторов ЖКХ с устойчиво высокими значениями

По результатам использования Best Matching 25 был составлен рейтинг десяти лучших регионов РФ (см. табл. 3). В отличие от рейтинга ЦЭКИ предложенный подход выделяет регионы за уникальные и социально значимые практики. Ханты-Мансийский АО – за дистанционный мониторинг больных, Белгородская область – за электронные собрания жильцов и онлайн-оплату ЖКУ, Новосибирская область – за видеоконсультации «врач – пациент». При этом регионы имели высокие баллы и по другим индикаторам. Однако именно редкие индикаторы обеспечили решающее преимущество. Это позволяет говорить о том, что предложенный рейтинг ориентирован на практики, значимые для граждан.

Заключение

Результаты исследования показали, что регионы, попадающие в рейтинг, получают высокий балл за социально значимые практики, а не за счет формальных показателей, как в рейтинге ЦЭКИ.

В данном исследовании впервые для оценки цифровой зрелости регионов РФ использован подход, основанный на анализе неструктурированных данных (новостные сводки, официальная статистика, посты в соцсетях). Для оценки уровня цифровой зрелости субъектов Российской Федерации применен алгоритм BM25, широко используемый для ранжирования и анализа информации. Использование данного метода позволяет учитывать не только фактическое наличие технологии, но и степень упоминаемости в публичном информационном пространстве. Новизна также заключается в предложенном динамическом перечне индикаторов, который может обновляться быстрее фиксированного списка индикаторов ЦЭКИ.

Полученные результаты могут дополнить официальную статистику более актуальными данными. В перспективе стоит сосредоточиться на поиске новых отраслей и выделении новых индикаторов цифровизации, а также на совершенствовании методики сбора, обработки и ранжирования информации. Стоит обратить внимание на комментарии под тематическими постами в социальных сетях для еще большей корреляции результатов исследования с мнением людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов В. И., Андреев В. Д.* Первый год реализации программ цифровой трансформации в регионах России: проблемы и результаты // Вопросы государственного и муниципального управления. 2024. № 2. С. 110–128. DOI: 10.17323/1999-5431-2024-0-2-110-128

2. *Абрамов В. И., Андреев В. Д.* Анализ стратегий цифровой трансформации регионов России в контексте достижения национальных целей // Вопросы государственного и муниципального управления. 2023. № 1. С. 89–119. DOI: 10.17323/1999-5431-2023-0-1-89-119. EDN: JOKUIR

3. *Абрамов В. И., Андреев В. Д.* Совершенствование методики оценки индекса цифровой зрелости регионов России с учетом аспектов второго и третьего этапа цифровой трансформации ГМУ на основе зарубежного опыта // Управленческие науки. 2023. Т. 13. № 1. С. 32–46. DOI: 10.26794/2304-022X-2023-13-1-32-46. EDN: DLZIGG

4. *Василенко Н. В., Мордовец В. А.* Цифровая трансформация предприятий и государственного управления в контексте национальных приоритетов // Russian Economic Bulletin. 2023. Т. 6. № 5. С. 340–345. EDN: KFZNMN

5. *Винокуров А. Д.* Развитие цифровой зрелости регионов России: правовая база и оценка профилей // Безопасность человека и устойчивое развитие общества перед вызовами глобальных трансформаций: материалы Международной междисциплинарной научной

конференции, Йошкар-Ола, 8 декабря 2022 года. Часть 1. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 94–97. EDN: ABTYJF.

6. *Воскресенская О. В.* Пространственная дифференциация цифровой экономики в регионах России: факторы, тенденции, перспективы // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 3. № 10(163). С. 184–191. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.10.03.020. EDN: EZMTKL

7. *Евдокимова Ю. В., Егорова Е. Н.* Цифровое развитие регионов России // Социальная политика и социология. 2025. Т. 24. № 2(155). С. 116–123. DOI: 10.17922/2071-3665-2025-24-2-116-123

8. *Коковихин А. Ю.* Компетенции цифровой зрелости субъекта Российской Федерации // Оригинальные исследования. 2022. Т. 12. № 12. С. 81–86. EDN: WJXXMO

9. *Ксенофонтов А. С., Мухаметшина Ф. А., Ахметгареева А. А.* Разработка программных инструментов для оценки конкурентоспособности регионов на основе экономических и цифровых показателей // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 8. № 5(158). С. 100–110. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.05.08.011

10. *Курникова М. В.* Оценка технологической зрелости регионов России как основы их технологического суверенитета и глобальной конкурентоспособности // π-Economy. 2025. Т. 18. № 4. С. 105–123. DOI: 10.18721/JE.18406

11. *Немкин А. И.* Роль рейтингов в преодолении цифрового неравенства регионов России // Россия: общество, политика, история. 2022. № 5(5). С. 22–29. DOI: 10.56654/ROPI-2022-5(5)-22-29

12. *Рытова Е. В., Холина Е. Р., Майкова А. А.* Использование эконометрических методов для анализа и оценки взаимосвязи между показателями цифровизации и благосостоянием регионов Российской Федерации // Экономический анализ: теория и практика. 2024. Т. 23. № 9(552). С. 1783–1800. DOI: 10.24891/ea.23.9.1783

13. *Самарина В. П., Никитина К. А.* Анализ показателей цифровизации региона // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 3. С. 53. EDN: GWAZAY

14. *Санина А. Г., Хомякова В. А., Атаева А. Г.* Цифровая трансформация и устойчивое развитие российских регионов: оценки соотношения и управленческие импликации // Вопросы государственного и муниципального управления. 2025. № 2. С. 67–88. DOI: 10.17323/1999-5431-2025-0-2-67-88

15. *Строев В. В., Сидоренко С. В.* Анализ цифровой зрелости регионов Российской Федерации // Вестник университета. 2024. № 5. С. 5–14. DOI: 10.26425/1816-4277-2024-5-5-14

REFERENCES

1. Abramov V.I., Andreev V.D. The first year of implementation of digital transformation programs in Russian regions: problems and results. *Public Administration Issues*. 2024. No. 2. Pp. 110–128. DOI: 10.17323/1999-5431-2024-0-2-110-128. (In Russian)

2. Abramov V.I., Andreev V.D. Analysis of digital transformation strategies of Russian regions in the context of achieving national goals. *Public Administration Issues*. 2023. No. 1. Pp. 89–119. DOI: 10.17323/1999-5431-2023-0-1-89-119. (In Russian)

3. Abramov V.I., Andreev V.D. Improving the methodology for assessing the digital maturity index of Russian regions based on foreign experience, taking into account aspects of the second and third stages of digital transformation of public and municipal administration. *Management Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 32–46. DOI: 10.26794/2304-022X-2023-13-1-32-46. (In Russian)

4. Vasilenko N.V., Mordovets V.A. Digital transformation of enterprises and public administration in the context of national priorities. *Russian Economic Bulletin*. 2023. Vol. 6. No. 5. Pp. 340–345. (In Russian)

5. Vinokurov A.D. Development of digital maturity of Russian regions: legal framework and assessment of profiles. In: *Materialy mezhdunarodnoy mezhdistsiplinarnoy nauchnoy konferentsii*

Bezopasnost' cheloveka i ustoychivoe razvitie obshchestva pered vyzovami global'nykh transformatsiy [Human safety and the sustainable development of society in the face of the challenges posed by global transformations.], Yoshkar-Ola, 08 December 2022. Vol. 1. Pp. 94–97. EDN: ABTYJF. (In Russian)

6. Voskresenskaya O.V. Spatial differentiation of the digital economy in Russian regions: factors, trends, prospects. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2025 Vol. 3. No. 10. Pp. 184–191. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.10.03.020. (In Russian)

7. Evdokimova Yu.V., Egorova E.N. Digital development of Russian regions. *Social Policy and Sociology*. 2025. Vol. 24. No. 2. Pp. 116–123. DOI: 10.17922/2071-3665-2025-24-2-116-123. (In Russian)

8. Kokovikhin A.Yu. Competencies of digital maturity of the subject of the Russian Federation. *Original Research*. 2022. Vol. 12. No. 12. Pp. 81–86. EDN: WJXXMO. (In Russian)

9. Ksenofontov A.S., Mukhametshina F.A., Akhmetgareeva A.A. Development of software tools for assessing the competitiveness of regions based on economic and digital indicators. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2025. Vol. 8. No.5. Pp. 100–110. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.05.08.011. (In Russian)

10. Kurnikova M.V. Assessment of technological maturity of Russian regions as a basis for their technological sovereignty and global competitiveness. *π-Economy*. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 105–123. DOI: 10.18721/JE.18406. (In Russian)

11. Nemkin A.I. The role of ratings in overcoming the digital inequality of Russian regions. *Russia: Society, Politics, History*. 2022. Vol. 5. No. 5. Pp. 22–29. DOI: 10.56654/ROPI-2022-5(5)-22-29. (In Russian)

12. Rytova E.V., Kholina E.R., Maykova A.A. Use of econometric methods to analyze and assess the relationship between digitalization indicators and the welfare of the regions of the Russian Federation. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2024. Vol. 23. No. 9. Pp. 1783–1800. DOI: 10.24891/ea.23.9.1783. (In Russian)

13. Samarina V.P., Nikitina K.A. Analysis of regional digitalization indicators. *Bulletin of Eurasian Science*. 2020. Vol. 12. No. 3. Pp. 53. (In Russian)

14. Sanina A.G., Khomyakova V.A., Ataeva A.G. Digital transformation and sustainable development of Russian regions: assessment of the relationship and managerial implications. *Public Administration Issues*. 2025. No. 2. Pp. 67–88. DOI: 10.17323/1999-5431-2025-0-2-67-88. (In Russian)

15. Stroev V.V., Sidorenko S.V. Analysis of digital maturity of the regions of the Russian Federation. *University Bulletin*. 2024. No. 5. Pp. 5–14. DOI: 10.26425/1816-4277-2024-5-5-14. (In Russian)

Финансирование. Работа выполнена в рамках научной работы аспирантов.

Funding. The work was carried out as part of the research activities of postgraduate students.

Информация об авторе

Максимов Артем Андреевич, аспирант, Университет «Синергия»;
129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1;
xsubect@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-4839-8049

Information about the author

Artem A. Maximov, Postgraduate Student, Synergy University;
9/14, Meshchanskaya street, building 1, Moscow, 129090, Russia;
xsubect@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-4839-8049

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 330.46 Оригинальная исследовательская статья

https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-333-346

SSGSNG

Проектирование автоматизированной системы анализа больших массивов текстовых данных для мониторинга достижения корпоративных целей

Ю. А. Раковская✉[1], А. В. Сахаров[1], А. Д. Сахно[1], М. Б. Ласкин[2]

[1]ПАО Сбербанк
117312, Россия, Москва, ул. Вавилова, 19
[2]Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук
199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39

Аннотация. Повышение объективности и глубины поиска при оценке исполнения задач с использованием ИИ-моделей является актуальной научно-технической задачей. Ее решение предполагает формирование обоснованных рекомендаций по отбору предметно-ориентированных и персонализированных исходных данных; разработку парсеров для внутреннего (закрытого) и внешнего (открытого) контуров; а также целенаправленный поиск рисков и новых возможностей в ходе реализации управленческих задач.

Цель исследования. Целью работы является анализ ключевых задач и проблем, возникающих при проектировании автоматизированной системы оценки исполнения поручений лица, принимающего решения (ЛПР), с использованием больших языковых моделей и других технологий искусственного интеллекта.

Методы исследования. В работе использован системный подход к проектированию системы мониторинга достижения стратегических целей руководства, что требует последовательной реализации следующих этапов: декомпозиция цели на задачи, формализация ключевых показателей эффективности (KPI), проектирование сбора и консолидации данных, разработка аналитического интерфейса для визуализации извлеченных данных, формирование механизма корректирующих воздействий на план достижения стратегической цели. При поиске информации о достижении поставленной цели и возможных рисках (как вручную, так и автоматически с помощью ИИ-моделей) необходимо избегать предвзятости выдаваемых данных, своевременно выявлять дезинформацию и обеспечивать конфиденциальность выполняемых операций.

Результаты. Устранение этих проблем возможно за счет: многокритериальной оптимизации запросов, направленной на поиск компромиссного решения в пространстве критериев качества, релевантности, практической полезности и этической допустимости; обязательного учета специфики предметной области; соблюдения требований к приватности и конфиденциальности данных. Рассмотрены три категории проблем, возникающих при отборе информации: общие, предметно-ориентированные и персональные. Предложен пайплайн процесса создания автоматизированной системы мониторинга целей.

Выводы. Разработанный подход к проектированию системы позволяет системно подойти к автоматизации мониторинга исполнения поручений ЛПР. Дальнейшие исследования должны быть направлены на практическую реализацию предложенных механизмов оптимизации запросов и защиту от информационных искажений в условиях неопределенности внешней и внутренней среды.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, управление знаниями, автоматическое извлечение сущностей, парсер, аналитические отчеты, социальные сети

Поступила 17.07.2026, одобрена после рецензирования 02.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

© Раковская Ю. А., Сахаров А. В., Сахно А. Д., Ласкин М. Б., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Для цитирования. Раковская Ю. А., Сахаров А. В., Сахно А. Д., Ласкин М. Б. Проектирование автоматизированной системы анализа больших массивов текстовых данных для мониторинга достижения корпоративных целей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 333–346. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-333-346

JEL: M15 Original research article

Designing automated system for large-scale text data analysis to monitor corporate goal attainment

Yu.A. Rakovskaya✉[1], A.V. Sakharov[1], A.D. Sakhno[1], M.B. Laskin[2]

[1]Sberbank PJSC
19, Vavilov street, Moscow, 117312, Russia
[2]Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
39, 14th Line of Vasilievsky Island, Saint Petersburg, 199178, Russia

Abstract. Enhancing the objectivity and depth of analysis when evaluating task performance via AI models represents a critical scientific and technical challenge. Addressing this challenge requires developing well-founded recommendations for selecting domain-specific and personalized source data, engineering data extraction tools for both closed (internal) and open (external) environments, and target-identifying risks and emerging opportunities in management task execution.

Aim. The objective of this research is to analyze the primary tasks and issues in designing an automated system to evaluate the execution of instructions from a decision-maker (DM), using large language models and other AI technologies.

Methods. The study adopts a systems approach to designing a monitoring system for leadership's strategic goals, which requires the sequential implementation of the following stages: decomposing goals into tasks, formalizing key performance indicators (KPIs), engineering data collection and consolidation, developing an analytical interface for visualizing the retrieved data, and establishing a mechanism for corrective actions on the strategic goal plan. When searching for information on goal achievement and potential risks whether manually or automatically via AI models it is essential to mitigate data bias, timely detect disinformation, and ensure the confidentiality of operations.

Results. The identified major search problems are divided into three categories: general, domain-specific, and personal. Addressing these problems is possible through: multi-criteria query optimization aimed at finding a compromise solution within the criteria space of quality, relevance, practical utility, and ethical acceptability; mandatory consideration of domain specifics; and compliance with data privacy and confidentiality requirements. Three categories of problems arising in information retrieval are considered: general, domain-specific, and personal. A pipeline has been developed for the implementation of an automated goal tracking system.

Conclusion. The developed approach to system design provides a systematic way to automate the monitoring of DM instruction execution. Further research should focus on the practical implementation of the proposed query optimization mechanisms and protection against information distortions under conditions of environmental uncertainty.

Keywords: decision support, knowledge management, automatic entity extraction, parser, analytical reports, social networks

Submitted 17.07.2026, approved after reviewing 02.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Rakovskaya Yu.A., Sakharov A.V., Sakhno A.D., Laskin M.B. Designing automated system for large-scale text data analysis to monitor corporate goal attainment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 333–346. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-333-346

© Rakovskaya Yu.A., Sakharov A.V., Sakhno A.D., Laskin M.B., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Введение

Одной из задач стратегического менеджмента является определение целей компании и разработка ключевых показателей эффективности (KPI) [1], что приводит к необходимости создания системы мониторинга текущих результатов и достижения поставленных целей, оценки внешней и внутренней среды, анализа отклонений и при необходимости внесения изменения в стратегии достижения целей как ответ на внешние возмущающие факторы [2]. Современное развитие больших языковых моделей (LLM), методов машинного обучения позволяет создавать такие системы, как автоматические сервисы [3, 4]. При проектировании автоматических систем мониторинга за достижением цели необходимо предусмотреть решение следующих основных задач [4]:

- декомпозиция цели на задачи [3],
- определение измеримых ключевых показателей эффективности [1],
- выбор внутренних и внешних информационных источников [2],
- интеграция результатов расчета показателей [4],
- выбор способов визуализации результатов анализа текущего состояния [5],
- разработка рекомендаций для модификации плана достижения целей [3].

Методология исследования

Прежде всего необходимо преобразовать стратегическую цель в управляемый и измеримый набор конкретных действий, необходимых для декомпозиции цели на задачи, которые имеют конкретные контролируемые параметры (KPI – ключевые показатели эффективности). Для реализации задачи декомпозиции цели в проектном управлении часто применяется методология SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) [6], позволяющая определить зависимость задач, необходимые кадровые, финансовые, временные, технические, технологические и другие ресурсы для их выполнения.

Затем следует определить объективные и измеримые показатели, предназначенные для контроля процесса выполнения каждой задачи [7]. Среди показателей выделяют опережающие, направленные на прогноз результата, и запаздывающие, отражающие состояние полученного результата. Также следует определить формулы расчета показателей, их периодичность, предусмотреть пороговые и целевые значения показателей.

При выборе внутренних информационных источников необходимо определить, откуда система будет автоматически брать данные для расчета показателей внутри организации. Для этого следует провести инвентаризацию всех внутренних корпоративных IT-систем, где формируются релевантные данные, для каждого ранее выбранного показателя определить источник данных [8]. Отдельно следует проанализировать наличие у этих систем API для автоматической выгрузки данных или необходимость в более сложных решениях (ETL-процессы), в том числе с привлечением оператора, что может сказаться на объективности данных, учитывая человеческий фактор или аффилированность сотрудника к исполняемой задаче.

Для составления списка внешних информационных источников контроля следует определить перечень глобальных факторов, положительно или негативно влияющих на реализуемые задачи. Затем сформировать список внешних источников данных, способов подключения к ним, определить частоту обновления данных.

Полученные значения показателей представляют собой разрозненный набор параметров, требующий системного анализа и интеграции [4]. Каждый параметр имеет свой приоритет и соответствующий вес, который следует учесть при обработке полученной информации и формировании агрегированных отчетов.

Визуализация и наглядное представление полученных результатов имеют исключительную важность для лиц, принимающих решения (ЛПР). Выбор способов визуализации результата анализа текущего состояния направлен на расстановку приоритетов в отчетной информации, снижение когнитивной нагрузки и концентрацию внимания проверяющего на критических аспектах. В зависимости от уровня контроля применяется сбалансированная система показателей с цветовой индикацией в виде светофора или предоставляется детальная информация в виде трендов, диаграмм Ганта и других графиков анализируемых показателей, а также производится настройка регламента системы автоматических уведомлений исполнителям о необходимости контроля конкретных действий.

По итогам текущего анализа показателей производится разработка рекомендаций по корректировке плана достижения цели, учитывая положительные и отрицательные отклонения, изменения во внутренних ресурсах, выявленные внешние факторы [10].

В качестве примеров инструментальной базы для реализации описанных этапов проектирования можно привести следующие системы:

– Платформа Avalanche предназначена для мониторинга и анализа медиаданных, социальных сетей, новостных источников. При оценивании репутационных целей позволяет отслеживать упоминания бренда, ключевых руководителей. Также осуществляет анализ рынка, производит мониторинг реакции на запуск новых продуктов/услуг[1].

– AI-платформа Kribrum предназначена для анализа социальных сетей и выявления рисков, обеспечивает раннее обнаружение негативных трендов, фейковых новостей, выполняет мониторинг настроения сотрудников[2].

– Система медиамониторинга Youscan предназначена для анализа упоминаний в цифровой среде, реализует маркетинговые цели по оценке эффективности рекламных кампаний, производит анализ отзывов клиентов и качество их обслуживания[3].

– Платформа Wobot – веб-ориентированная система мониторинга и аналитики упоминаний в цифровых источниках (социальных сетях, блогах, на форумах), включая анализ тональностей и выявление аномальной активности. Система построена на собственной поисковой платформе, ориентированной на обработку русскоязычного контента, и обеспечивала сбор сообщений по заданной теме наблюдения за указанный период с последующей оценкой их распространенности и структуры обсуждения. Результаты представлялись в виде сводной панели с агрегированными показателями: объемом упоминаний, числом авторов, количеством задействованных ресурсов, оценкой охвата и вовлеченности. Панель дополнялась аналитическими разрезами по источникам и географии, графиком динамики упоминаний, блоком лидеров мнений и доступом к ленте первичных публикаций[4].

Эти и подобные им системы позволяют перейти от реактивного к проактивному управлению, когда руководитель видит не только факты свершившихся событий, но и ранние сигналы потенциальных отклонений от целей. Переход к проактивному управлению предполагает введение систем метрик и характеристик информационного массива, предназначенных для измерения рисков и отклонений от целей.

[1] https://www.avax.network/

[2] https://kribrum.ru/

[3] https://brandanalytics.ru/

[4] Платформа Wobot от российского разработчика. Компания-владелец ресурса закрыта в 2019 году. Сведений о передаче ресурса другому владельцу нет. К платформе видеоаналитики Wobot AI отношения не имеет.

В качестве подобных метрик могут быть предложены:

1. Метрики для анализа результатов мониторинга открытых и частично закрытых источников с основным приоритетом на важность публикаций и рисковый фон. Качественная оценка массива данных строится через выявление тональности и признаков угроз. После очистки массива рассчитываются:

- абсолютный объем релевантного массива $V = \Sigma_{i=1..n} I_i$ (где $I_i = 1$ для сообщений, прошедших фильтр),

- объем доли оригинального контента $U = \frac{N_{orig}}{N_{total}}$ (N_{orig} – число оригинальных сообщений, N_{total} – общий объем массива),

- доля дубликатов $D_{share} = \frac{N_{dup}}{N_{total}}$, что позволяет оценить степень тиражирования и плотность повторов в наблюдаемом поле.

Базовые показатели:

- доли позитивных и негативных сообщений, $P_{pos} = \frac{N_{pos}}{N_{total}}$ и $P_{neg} = \frac{N_{neg}}{N_{total}}$;

- интегральная оценка рискового фона $RI = \frac{\Sigma_{i=1..m} r_i * w_i}{N_{total}}$, где r_i – бинарный признак наличия i-го фактора риска, w_i – его вес (чем выше значение RI, тем выше концентрация риск-сигналов в наблюдаемом массиве);

- индекс важности публикации: $I_{imp} = \frac{\Sigma n_k * v_k}{N_{total}}$, где n_k – число сообщений соответствующего уровня важности, а v_k – вес данного уровня. Подобный набор метрик соответствует возможностям платформы Avalanche.

2. Метрики для методик, ориентированных на динамику информационного потока во времени и параметрический индекс влияния источника, включающий внешний сигнал поискового запроса. Основной фокус на источники с интенсивным информационным потоком, такие как социальные сети, блоги и форумы.

Формируется массив всех собранных данных M_{all}, добавляются признаки: объект наблюдения, поисковый запрос, язык, география, дата, время, тип площадки, автор, аудитория источника, вовлеченность, тональность, роль объекта в сообщении, признак оригинальности и правила фильтрации. Пусть объем массива равен M. Тогда изменение потока во времени (время дискретно) равно $\Delta M(t) = M(t) - M(t-1)$, или в процентах $g(t) = \frac{[M(t) - M(t-1)]}{M(t-1)} * 100\ \%$.

Индекс влияния источника:

$$I_{src} = a * A_{src} + b * N_{msgs} + c * F_{search} + d * w_{role},$$

где A_{src} – аудитория источника, N_{msgs} – число сообщений от данного источника, F_{search} – частота поисковых запросов, w_{role} – вес роли объекта в публикации, a,b,c,d – весовые коэффициенты.

Базовая метрика вовлеченности:

$$ER = L + R + C,$$

где L – число лайков, R – число репостов, C – число комментариев.

Индекс тонального баланса

$$IT = P_{pos} - P_{neg},$$

где $P_{pos} = \frac{N_{pos}}{N_{total}}, P_{neg} = \frac{N_{neg}}{N_{total}}$, N_{pos} – число положительных сообщений, а N_{neg} – число отрицательных сообщений, N_{total} – общее число сообщений.

Индекс лояльности:

$$IL = \frac{N_{pos}}{N_{neg}}.$$

Коэффициент оригинальности:

$$U = \frac{N_{orig}}{N_{orig}+N_{dup}},$$

где N_{orig} – число оригинальных сообщений, а N_{dup} – число дубликатов. Набор таких метрик в целом следует принципам платформы Kribrum.

3. Относительные метрики: объект нормируется на конкурентное поле через долю упоминаний и чистую тональность, а категоризация опирается также на визуальные и демографические признаки. Метрики ориентированы на анализ бренд- и клиентских упоминаний в социальных медиа, отзывах, комментариях и иных цифровых каналах.

Исходный массив сообщений M_{all}, включающий пользовательские публикации и метаданные, дополняется признаками: дата публикации, источник, формат контента, потенциальный охват, вовлеченность, тональность, тематические теги, характеристики автора и демографические атрибуты аудитории. Доля упоминаний (Share of Conversation):

$$SOC = \frac{M_{obj}}{\Sigma_{k=1..m} M_k} * 100\%,$$

где M_{obj} – число упоминаний анализируемого бренда, а M_k – суммарный объем упоминаний всех объектов сравнения. Агрегированные доли положительной и негативной тональностей $P_{pos} = \frac{N_{pos}}{N_{total}}$ и $P_{neg} = \frac{N_{neg}}{N_{total}}$, показатель чистой тональности:

$$NSR = \frac{N_{pos} - N_{neg}}{N_{total}} * 100\ \%,$$

где NSR отражает итоговый эмоциональный баланс вокруг объекта. Сообщения автоматически получают теги и распределяются по категориям, что позволяет выделять ключевые темы, болевые точки и направления клиентского опыта. Формально процесс присвоения категории можно описать как

$$C_i = h(X_i, visual_i, meta_i),$$

где X_i – текстовое содержание, $visual_i$ – визуальные признаки контента, $meta_i$ – метаданные. Для каждого тега f рассчитывается доля $Tag = \frac{N_f}{N_{total}} * 100\%$. Для оценки автора рассчитывается показатель влияния I_{author}, зависящий от охвата, вовлеченности и устойчивой активности. Для оценки отклика аудитории используется стандартная метрика Engagement: $Engagement = Likes + Comments + Shares$, потенциальный охват массива определяется как

$$PotentialReach = \Sigma_{j=1..K}\, a_j,$$

где a_j – аудитория j-го источника или автора. Совместный анализ охвата и вовлеченности позволяет отличать широко распространенные, но слабо обсуждаемые публикации от сообщений с выраженной пользовательской реакцией. Примером использования подобных метрик является платформа Youscan.

4. Метрики, позволяющие сегментировать массив по предметным блокам. Формально процедура присвоения тега представляется как

$$Tag_i = g(X_i, L_i, meta_i),$$

где X_i – текст сообщения, L_i – набор лексико-семантических признаков, $meta_i$ – метаданные. Для каждой категории f рассчитывается относительная доля

$$Tag_{share(f)} = \frac{N_f}{N_{total}} * 100\%,$$

что позволяет выделять наиболее частотные темы и инфоповоды. Качественная интерпретация массива строится вокруг тональности. Для каждого сообщения определяется позитивная, негативная или нейтральная окраска, а на агрегированном уровне вычисляются стандартные доли

$$P_{pos} = \frac{N_{pos}}{N_{total}} \text{ и } P_{neg} = \frac{N_{neg}}{N_{total}}.$$

На их основе рассчитываются индекс тональности $IT = P_{pos} - P_{neg}$ и индекс лояльности $IL = \frac{N_{pos}}{N_{neg}}$. Чем выше IL, тем более благоприятным считается соотношение положительных и отрицательных оценок. Дополнительный аналитический слой связан с авторами и лидерами мнений. Для оценки значимости автора может быть предложен интегральный показатель:

$$I_{author} = \alpha * S + \beta * ER + \gamma * T,$$

где S – число подписчиков или потенциальная аудитория автора, ER – совокупная вовлеченность его сообщений, T – вес тематической релевантности. Такой показатель позволяет выделять адвокатов бренда, критиков и наиболее заметных участников дискуссии. Для оценки реакции аудитории применяются метрики вовлеченности и охвата. Вовлеченность отдельного сообщения определяется как

$$ER = L + R + C,$$

где L – лайки, R – репосты, C – комментарии. Потенциальный охват массива рассчитан как

$$A = \Sigma_{j=1..K} a_j,$$

где a_j – аудитория j-го источника. Совместное использование этих показателей позволяет судить не только о масштабе обсуждения, но и о степени его отклика. Такой или близкий по смыслу набор метрик соответствует платформе Wobot.

Автоматизация поиска информации на основе ИИ-моделей

При проведении поиска информации о достижении цели и возможных рисках как вручную, так и посредством ИИ-моделей важно избежать предвзятости выдаваемых данных, своевременно обнаружить дезинформацию, а также сохранить конфиденциальность производимых операций как во внутреннем, так и во внешнем контуре данных. На рис. 1 представлены три класса требований к системе автоматического поиска информации: общие, предметно-ориентированные и персональные.



***Рис. 1**. Основные требования к системе поиска информации на основе ИИ-моделей*

***Fig. 1**. Key requirements for an AI-driven information retrieval system*

Рассмотрим общие требования. Критерии отбора данных могут неявно отражать субъективные предубеждения исследователя или заказчика поиска. В этом случае существует риск смещения в сторону легкодоступных данных в ущерб наиболее релевантным [11]. Кроме того, отдельным проблемным вопросом является формализация интуитивных экспертных представлений о качестве данных [12].

При использовании в ходе поиска ИИ-моделей извлеченные данные могут содержать специфический контекст (культурный, временной, технологический) их создания, что ограничивает возможность применения данных в иных условиях. В результате возникает методологическая проблема разделения универсальных закономерностей и ситуативных артефактов [11, 13].

В стремлении дойти до истины, как правило, возникает проблема определения границы между необходимой релевантностью данных и нарушением приватности или коммерческой тайны. Поэтому обязательным условием является соблюдение регуляторных требований при работе с персональными и специализированными данными, например, как общий регламент по защите данных (GDPR) в ЕС или закон о переносимости и подотчетности медицинского страхования (HIPAA) в США [14, 15].

Безусловно, качественный оперативный поиск релевантной информации требует привлечения высокооплачиваемых экспертов, дорогостоящих распределенных систем сбора данных. На каждом этапе обработки при оценивании, фильтрации и аннотировании данных необходимы существенные временные, кадровые, вычислительные ресурсы [12, 16].

К предметно-ориентированным относятся требования, связанные со спецификой анализа и формированием предметно-ориентированных запросов. При подготовке запросов часто возникает проблема формализации экспертного знания. Зачастую эксперты оперируют неявными неформализованными знаниями, которые не имеют очевидного вербального представления и трудно поддаются преобразованию в объективные критерии для

отбора данных [12]. Особенно эта проблема осложняется при разрешении противоречий, возникающих между мнениями различных экспертов, работающих совместно в рамках одной предметной области [17].

При декомпозиции задачи и привлечении специалистов разного уровня знаний может возникнуть проблема разрыва между предметной областью и методами анализа. Специалисты, привлекаемые к анализу данных, могут обладать недостаточной глубиной понимания специфики предметной области для осуществления содержательного и релевантного отбора данных и осуществления осмысленного отбора. Это создает риск смещения в сторону отбора данных, удобных для применения конкретных моделей, но методологически бедных в предметном отношении [12, 18].

Требование к репрезентативности данных для всей предметной области возникает при формировании ограниченного набора данных, который отражает лишь узкую или идеализированную часть предметного поля, игнорируя пограничные случаи, исключения и естественную эволюцию знаний [19]. Особенно это критично для междисциплинарных предметных областей, где важно проанализировать не только основные знания дисциплин, но и их системные взаимосвязи, в том числе со смежными областями [20].

Требование к динамичности характерно для быстроразвивающихся предметных областей, где данные и основанные на них знания стремительно устаревают. Формирование и постоянная актуализация критериев актуальности данных становятся критически важной и методологически сложной задачей [16].

К персонализированным относятся требования приватности и охраны личных данных, если таковые содержатся в изучаемых источниках. Ключевой задачей является отбор данных, объем которых достаточен для эффективной персонализации, но недостаточен для прямой или косвенной идентификации личности либо восстановления атрибутов, чувствительных с точки зрения приватности [14]. Основная сложность заключается в нахождении оптимального баланса между практической полезностью и необходимым уровнем деперсонализации данных, используемых в запросе [15].

При анализе персональных поведенческих характеристик важна полнота контекстной картины, связанная с проблемой репрезентативности поведения. Отобранные поведенческие данные, такие как журналы действий, часто фиксируют лишь ограниченные фрагменты активности, не отражающие внутренние мотивы, ситуационный контекст или долгосрочные интенции личности. Это создает риск формирования цифрового двойника индивида, основанного на поверхностных корреляциях, а не на глубинных и устойчивых характеристиках [11, 19].

Требование к фрагментации и мультимодальности данных об одной личности связано с использованием индивидом множества разнородных устройств, платформ и форматов. В результате возникает методологическая сложность интеграции распределенных данных и отбора ключевых взаимодополняющих модальностей, необходимых для построения целостного и непротиворечивого профиля индивида [17].

Требование к динамичности также характерно и для анализа характеристик индивида, его внутренней непротиворечивости модели личности. Вкусы, цели и поведенческие паттерны индивида подвержены изменениям во времени и варьируются в зависимости от социальных ролей и контекстов, поэтому отобранные данные должны отражать устойчивые предпочтения и тенденции, а не ситуативные реакции или устаревшие интересы [13, 20].

Также следует отметить требование к интерпретируемости и этических последствий отбора данных для пользователя. Непрозрачные для пользователя алгоритмические принципы формирования его профиля подрывают доверие к ИИ-модели и чувство личного контроля над цифровым представлением [18]. Кроме того, на основе истории запросов, сформировавшегося поведения, предпочтений и демографических данных пользователя алгоритмы персонализированного отбора информации могут автоматически ограничивать разнообразие контента. Такая стратегия может систематически подтверждать существующие убеждения и стереотипы, создавая иллюзию консенсуса вокруг собственной позиции, а также приводит к исключению полезной информации, способной расширить кругозор или скорректировать сложившиеся взгляды [11, 13].

Этапы создания автоматизированной системы мониторинга целей

Проектирование мультиагентной автоматизированной системы мониторинга целей можно разделить на шесть этапов (пайплайн процесса представлен на рис. 2):

Этап 1. Формулировка цели, семантический анализ, декомпозиция на бинарные задачи оценки тональности, извлечение, оцифровка и очистка данных, запись в базу данных.

Проводится семантический анализ поставленной цели, выделяются главные сущности, ключевые слова и фразы. Результат этапа – ограниченный набор формулировок, пригодных для последующей токенизации и соответствующих решаемой задаче.

Этап 2. Сбор релевантных данных и бинарная оценка тональности.

Определяются релевантные источники информации. Из открытых источников извлекаются текстовые данные, содержащие заданные ключевые слова и фразы. Выполняется анализ бинарной тональности текстов, формируются первичные бинарные статистики. Результат – отчет о бинарной тональности и база текстовых данных для последующего анализа.

Этап 3. Категоризация тональности и формирование уровней анализа. Сравнение тональностей по внутренним и внешним источникам, классификация и ранжирование уровней тональности.

Положительные и отрицательные отзывы разбиваются на несколько категорий, отражающих различные аспекты. Формируются новые ключевые слова для токенизации, выявляются статистически значимые категории фрагментов текстов. Результат – статистически значимая информация по всем выделенным категориям, отчет о многоуровневой тональности.

Этап 4. Извлечение категориальных данных и разработка метрик. Сравнение статистик внутренней и внешней тональности.

Из созданной базы текстовых данных извлекаются отзывы по всем ранее выделенным категориям. Получаются категориальные статистики. Результат – выделение наиболее значимых категориальных уровней для последующего анализа, разработка метрик качества, отчет.

Этап 5. Отбор значимых категорий и формирование рекомендаций. Отбираются наиболее значимые категории для выработки выводов и рекомендаций лицу, принимающему решения (ЛПР). Анализ, адаптация результатов, стандартизация выводов и рекомендация для ЛПР. Генерация выводов и рекомендаций. Отчет «выводы и рекомендации».

Этап 6. Сравнение результатов и целей, разработка метрик сравнения, формирование общего сводного отчета в современных BI-системах.

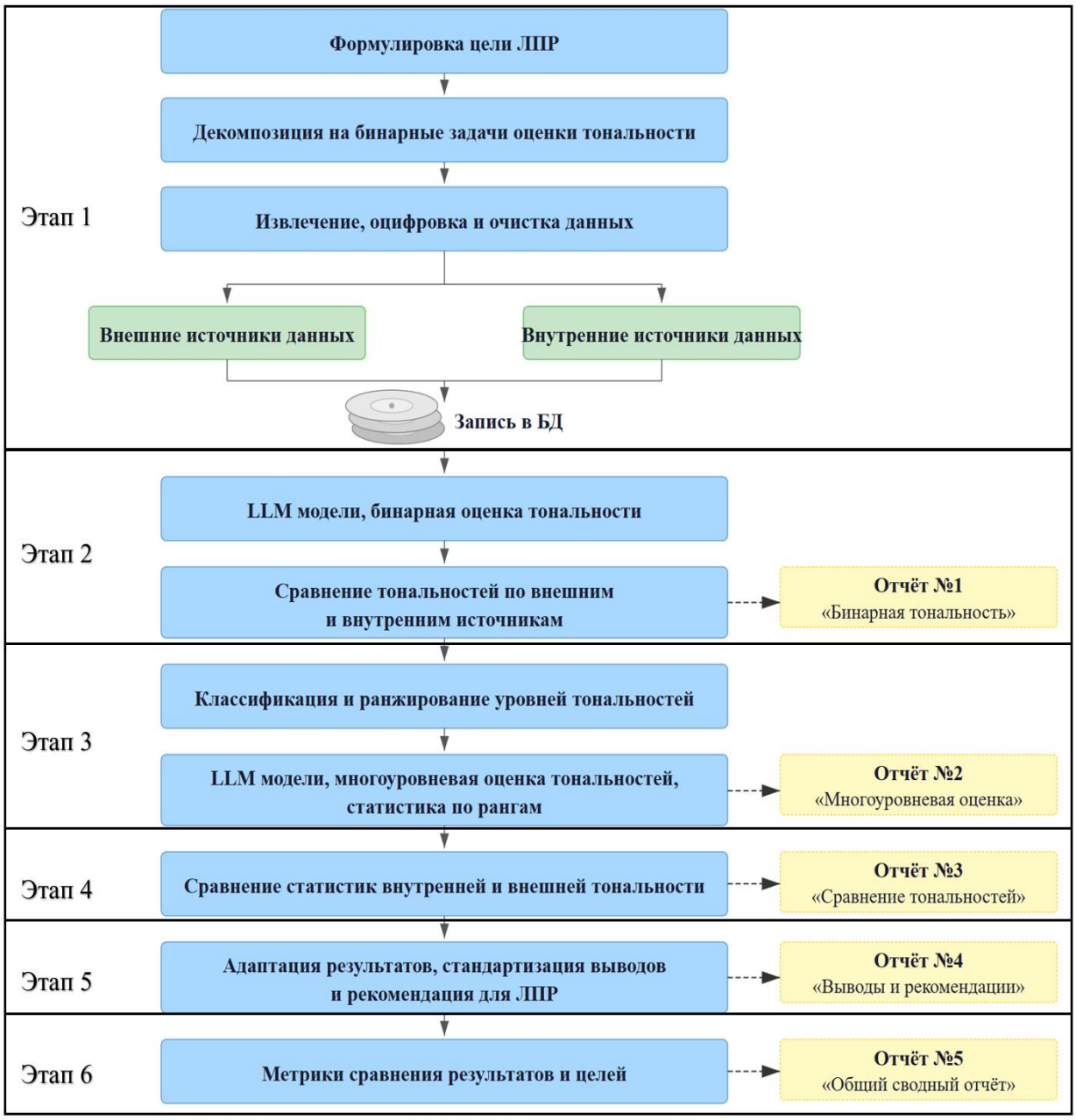


Рис. 2. *Пайплайн процесса создания автоматизированной системы мониторинга целей*

Fig. 2. *Pipeline for implementing an automated goal monitoring system*

Заключение

В настоящей работе предложен системный подход к проектированию автоматизированной системы мониторинга достижения корпоративных целей. Предложенная декомпозиция стратегических целей на основе методологии SMART с многоуровневым сентимент-анализом позволяет перейти от субъективных оценок к формализованным, измеримым и воспроизводимым критериям контроля. Рассмотрены три класса проблем информационного поиска: общие, предметно-ориентированные и персональные. Предложены метрики информационного массива, предназначенные для измерения рисков и отклонений от целей, учитывающие не только объем и тональность данных, но и риск-факторы, динамику информационных потоков, влияние источников и уровень вовлеченности аудитории, что

дает возможности для комплексной оценки информационного поля. Предложен шестиэтапный пайплайн обработки данных, охватывающий полный цикл от семантического анализа цели до формирования стандартизированных отчетов в BI-системах, что дает возможность для разработки масштабируемых и адаптируемых решений. Особое внимание уделено этапам категоризации тональности и извлечения категориальных данных, поскольку именно они обеспечивают переход от бинарных оценок к содержательной многоуровневой интерпретации, необходимой для поддержки управленческих решений. Практическая значимость работы заключается в возможностях перехода от реактивного к проактивному управлению, своевременному выявлению рисков и возможностей на основе данных, а не интуитивных догадок. Направления дальнейших исследований: практическая реализация предложенных механизмов многокритериальной оптимизации запросов, разработка методов защиты от информационных искажений и алгоритмической предвзятости в условиях неопределенности и динамично меняющейся внешней среды, интеграция предлагаемого подхода и подобных систем с существующими корпоративными IT-системами, обеспечение баланса между глубиной анализа и соблюдением требований конфиденциальности данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Perera R., Gendron C., Delgado C., et al. AI assistants in the workplace: goal-oriented recommendations using LLM. *Avances en Interacción Humano-Computadora*. 2024. Vol. 9. No. 1. Pp. 16–20. DOI: 10.47756/aihc.y9i1.140

2. Zhao S. (Ed.). From Models to Metrics: A governance framework for large language models in enterprise ai and analytics. *Analytics*. 2026. Vol. 5. No. 1. 25 p. DOI: 10.3390/analytics5010008

3. Bidochko A., Vyklyuk Y. Thought management system for long-horizon, goal-driven LLM agents. *Journal of Computational Science*. 2025. Vol. 85. DOI: 10.1016/j.jocs.2025.102517

4. Soroka E., Chopra T., Desai K., Lall S. Unsupervised evaluation of multi-turn objective-driven interactions. *arXiv preprint.* 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2511.03047

5. Coscia A., Guo S., Koh E., Endert A. OnGoal: Tracking and visualizing conversational goals in multi-turn dialogue with large language models. *Proceedings of UIST 2025*. ACM, 2025. 18 p. DOI: 10.1145/3656211.3656230

6. Doran G.T. There's a S.M.A.R.T. Way to write management's goals and objectives. *Management Review*. 1981. Vol. 70. No. 11. Pp. 35–36.

7. Parmenter D. Strategy and its relevance to performance measures. *Key Performance Indicators*. 2015. Pp. 87–97. DOI: 10.1002/9781119019855.ch5

8. Vassiliadis P. A Survey of extract–transform–load technology. *International Journal of Data Warehousing and Mining (IJDWM)*. 2009. Vol. 5. No. 3. Pp. 1–27. DOI: 10.4018/jdwm.2009070101

9. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*. 2008. Vol. 1. No. 1. Pp. 83–98.

10. Lyneis J., Sterman J. How to save a leaky ship: capability traps and the failure of win-win investments in sustainability and social responsibility. *Academy of Management Discoveries*. 2015. Vol. 2. No. 1. DOI: 10.5465/amd.2015.0006

11. Liu Y., Zhang X., Kaplan S. et al. Anchoring bias in large language models: an experimental study. *Journal of Computational Social Science*. 2026. Vol. 9. Article 11. DOI: 10.1007/s42001-025-00435-2

12. Zhang G. Knowledge protocol engineering: a new paradigm for ai in domain-specific knowledge work. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2507.02760. DOI: 10.48550/arXiv.2507.02760

13. Manca M., Pavan P., Scerri A. et al. Cognitive networks identify ai biases on societal issues in large language models. *EPJ Data Science*. 2026. Vol. 15. Article 7. DOI: 10.1140/epjds/s13688-025-00600-7

14. Li W., Chen Y., Wang Z. On-device ai for secure patient health monitoring. *IEEE Xplore*. 2025. DOI: 10.1109/11154594

15. Kumar A., Singh R., Gupta P. A Comprehensive research on privacy-preserving in health data analytics. *IEEE Xplore*. 2025. DOI: 10.1109/11188191

16. Qian H., Liu Z. Model-document protocol for ai search. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2510.25160. DOI: 10.48550/arXiv.2510.25160

17. Huang H., Yu Z., Li J., et al. Align2LLaVA: Cascaded human and large language model preference alignment for multi-modal instruction curation. *Findings of the ACL*. 2025. DOI: 10.18653/v1/2025.findings-acl.xxx

18. Gurin Schleifer A., Bar K., Ya'akobi Y., et al. Uncovering measurement biases in LLM Embedding Spaces: The Anna Karenina Principle and Its Implications for Automated Feedback. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2025. DOI: 10.1007/s40593-025-00485-7

19. Qian H., Liu Z. Scent of knowledge: optimizing search-enhanced reasoning with information foraging. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2505.09316. DOI: 10.48550/arXiv.2505.09316

20. Liu Q. ICG: Personalized cover image generation with multimodal large language models. *ACL Anthology*. 2025. DOI: 10.18653/v1/2025.acl-long.xxx

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Раковская Ю. А. – постановка задачи, написание текста и редакция статьи;
Сахаров А. В. – написание текста статьи;
Сахно А. Д. – общая концепция, структура, редакция текста статьи;
Ласкин М. Б. – общее руководство, редакция и подготовка финального текста для печати.

Contribution of the authors:

Rakovskaya Yu.A. – setting the task, writing the text and editing the manuscript;
Sakharov A.V. –writing the original text of the manuscript;
Sakhno A.D. – general concept, structuring, and text editing;
Laskin M.B. – general guidance, editing, and final text preparation for publication.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Раковская Юлия Александровна, управляющий директор – начальник центра, Корпоративно-инвестиционный блок ПАО Сбербанк;
117312, Россия, Москва, ул. Вавилова, 19;
rakovskayaya@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7997-5113
Сахаров Артур Валерьевич, главный инженер по разработке, ПАО Сбербанк;
117312, Россия, Москва, ул. Вавилова, 19;
saharovartur@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8140-4845

Сахно Артем Дмитриевич, руководитель направления по исследованию данных, Центр практического искусственного интеллекта ПАО Сбербанк;
117312, Россия, Москва, ул. Вавилова, 19;
sakhno.ad18@physics.msu.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0732-7669
Ласкин Михаил Борисович, д-р экон. наук, гл. науч. сотр. Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук;
199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39;
laskin.m@iias.spb.su, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0143-4164, SPIN-код: 5579-4815

Information about the authors

Yulia A. Rakovskaya, Managing Director, Head of Center, Corporate and Investment Banking Division, Sberbank PJSC;
19, Vavilov street, Moscow, 117312, Russia;
rakovskayaya@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7997-5113
Artur V. Sakharov, Chief Development Engineer, Sberbank PJSC;
19, Vavilov street, Moscow, 117312, Russia;
saharovartur@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8140-4845
Artem D. Sakhno, Head of Data Science, Center for Applied Artificial Intelligence, Sberbank PJSC;
19, Vavilov street, Moscow, 117312, Russia;
sakhno.ad18@physics.msu.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0732-7669
Mikhail B. Laskin, Doctor of Economy Sciences, Chief Researcher, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences;
39, 14th Line of Vasilievsky Island, Saint Petersburg, 199178, Russia;
laskin.m@iias.spb.su, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0143-4164, SPIN-code: 5579-4815

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 332.14:316.34 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-347-362
TNFFSZ

Снижение бедности без пространственной конвергенции: межрегиональные различия в качестве жизни населения России

С. В. Дохолян

Институт социально-экономических проблем народонаселения имени Н. М. Римашевской – структурное подразделение Федерального научно-исследовательского социологического центра РАН
117218, Россия, Москва, ул. Кржижановского, 24/35, корп. 5

Аннотация. Актуальность темы определяется противоречием, сложившимся в российской социальной статистике к середине 2020-х годов: официально измеряемая бедность в стране опустилась до исторического минимума, тогда как разрывы между регионами-лидерами и регионами-аутсайдерами сохранились, а по ряду параметров увеличились.

Цель работы – количественно оценить различия в уровне жизни населения России в 2014–2025 гг. с акцентом на региональную специфику, включая обеспеченность социальной и медицинской инфраструктурой.

Методика исследования опирается на официальные данные Росстата в действующей редакции. Сформированы тринадцать динамических рядов, максимально согласованных с учетом оговоренных методологических и территориальных разрывов – по бедности, доходам, пенсионному обеспечению, структуре доходов, рынку труда, жилищной обеспеченности и обеспеченности врачами. Новизна работы состоит в одновременном измерении межрегиональных разрывов в абсолютном и относительном выражении.

Результаты показывают, что уровень бедности снизился с 13,5 % в 2015 г. до 6,7 % (9,7 млн человек) в 2025 г., тогда как коэффициент Джини вырос с 0,398 в 2022 г. до 0,422 в 2025 г. Отношение крайних значений бедности по субъектам расширилось с 5,4 до 7,6 раза, безработицы по округам – с 3,6 до 5,1 раза, разрыв в среднедушевых доходах между Центральным и Северо-Кавказским округами – с 52,3 до 73,3 % среднероссийского дохода. Разрывы по обеспеченности жильем и врачами выросли и в относительном, и в абсолютном измерении.

Выводы. Снижение официально измеряемой денежной бедности не свидетельствует о пространственной конвергенции – относительные межрегиональные различия за 2014–2025 гг. не сократились, а выросли.

Ключевые слова: пространственное неравенство, качество жизни, бедность, межрегиональная дифференциация, денежные доходы населения, коэффициент Джини, рынок труда, социальная инфраструктура, федеральные округа

Поступила 04.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Дохолян С. В. Снижение бедности без пространственной конвергенции: межрегиональные различия в качестве жизни населения России // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 347–362. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-347-362

© Дохолян С. В., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Original article

Poverty reduction without spatial convergence: interregional differences in quality of life of Russian population

S.V. Dokholyan

Institute of Socio-Economic Studies of Population named after N.M. Rimashevskaya –
branch of the Federal Center of Theoretical and Applied Sociology of the Russian Academy of Sciences
24/35, Krzhizhanovskogo street, bldg. 5, Moscow, 117218, Russian

Abstract. The relevance of the topic stems from a contradiction that has emerged in Russian social statistics in the mid-2020s: officially measured monetary poverty has fallen to a historical minimum, yet the gaps between leading and lagging regions have persisted and, along several dimensions, widened.

Aim. The paper aims to quantify the differences in the standard of living of the Russian population in 2014–2025, with an emphasis on regional specifics, including the provision of social and medical infrastructure.

The **methodology** rests on official Rosstat data in the current edition, recalculated following the 2020 All-Russian Population Census. Thirteen-time series were compiled and harmonized as far as possible, subject to the stated methodological and territorial discontinuities, covering poverty, incomes, pensions, income structure, the labour market, housing, and physician availability; the novelty lies in measuring interregional gaps simultaneously in absolute and relative terms.

The results show that the poverty rate fell from 13.5% in 2015 to 6.7% (9.7 million people) in 2025, while the Gini coefficient rose from 0.398 in 2022 to 0.422 in 2025. Concurrently, a noticeable widening was observed in the ratio of extreme regional poverty values (from 5.4-fold to 7.6-fold) and unemployment across federal districts (from 3.6 to 5.1 times), while the gap in per capita incomes between the Central and North Caucasus Federal Districts increased from 52.3 to 73.3% of the national average. This trend of divergence is further underscored by the expanding gaps in housing and physician availability, which widened in both relative and absolute terms.

Conclusions. The decline in officially measured monetary poverty does not indicate spatial convergence, as relative interregional differences widened over 2014–2025.

Keywords: spatial inequality, quality of life, poverty, interregional differentiation, household monetary income, Gini coefficient, labour market, social infrastructure, federal districts, Rosstat

Submitted 04.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Dokholyan S.V. Poverty reduction without spatial convergence: interregional differences in quality of life of Russian population. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 347–362. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-347-362

Введение

Пространственное неравенство и разрыв в уровне жизни между регионами остаются для России одной из самых острых проблем. Страна занимает крупнейшую в мире территорию, различия природно-климатических условий здесь велики, ресурсы размещены неравномерно, а инфраструктурный каркас исторически асимметричен. Поэтому выравнивание возможностей для граждан дается России труднее, чем большинству стран. В 2014–2025 гг. ее социально-экономическая система прошла через несколько крупных потрясений: санкционные ограничения, падение цен на углеводороды в 2014–2015 гг., пандемия COVID-19 и перестройка внешнеэкономических связей после 2022 года.

© Dokholyan S.V., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Государство прямо заявляет цели снижения дифференциации и выравнивания бюджетной обеспеченности, однако пространственное неравенство воспроизводится вновь и вновь [1]. Более того, складывается парадокс: абсолютная бедность падает до исторического минимума, а разрывы между регионами-лидерами и регионами-аутсайдерами сохраняются и по ряду параметров даже растут.

Пространственное неравенство в России многомерно и не сводится к разнице в среднедушевых доходах, включает неравный доступ к здравоохранению и образованию, различия в продолжительности жизни, уровне безработицы, состоянии инфраструктуры и экологической обстановке. В сложившейся модели пространственного развития отчетливо преобладает центростремительная тенденция: финансовый, человеческий и инновационный капитал стягивается в крупнейшие агломерации и сырьевые регионы-доноры, тогда как значительная часть субъектов хронически не имеют ресурсов для самостоятельного развития [2].

Для этой модели период 2014–2025 гг. стал серьезным испытанием. Кризис 2014–2015 гг., соединивший санкционные ограничения с падением мировых цен на нефть, обнажил уязвимость регионов, зависящих от импорта технологий и экспорта сырья [3, 4]. Пандемия 2020–2021 гг. ударила по сфере услуг и малому бизнесу, что особенно болезненно сказалось на крупных городах; вместе с тем масштабные программы социальной поддержки не дали бедности вырасти на депрессивных территориях [5]. После 2022 г. рынок труда перестроился: острый кадровый дефицит и рекордно низкая безработица подтолкнули рост реальных заработных плат, прежде всего в промышленных регионах.

Отсюда научная проблема: снижает ли падение бедности и безработицы само пространственное неравенство, или сглаживает лишь отдельные финансовые показатели, тогда как структурные, инфраструктурные и демографические разрывы сохраняются и углубляются?

Основная часть

Степень разработанности проблемы

Центр-периферийные отношения и региональную асимметрию наиболее подробно исследовала Н. В. Зубаревич: она показывает устойчивость межрегионального неравенства в России и постсоветских странах [1], а на материале кризиса 2014–2015 гг. – его региональное измерение [3]. Вместе с С. Г. Сафроновым она измерила масштабы и динамику налогово-бюджетной дифференциации регионов [6], а бюджетный анализ пандемийного года обнаружил пределы децентрализации [7]. О. В. Кузнецова рассматривает инструменты федеральной пространственной политики – от муниципальной проблематики [8] до механизмов межрегионального сотрудничества [9]. Применительно к отстающим субъектам направления социально-экономической политики на примере СКФО рассмотрены в [10].

Бедность и действенность социальной защиты глубоко исследовала Л. Н. Овчарова с соавторами [5]. И. И. Корчагина и Л. М. Прокофьева показали, что незанятость родителей – одна из главных причин бедности семей с детьми [11]. М. Ю. Малкина количественно оценила региональную дифференциацию доходов в пандемию и под санкциями [12], а также отраслевые причины пространственных различий в заработной плате [13]. Л. М. Григорьев и В. А. Павлюшина вписали российское неравенство в глобальный контекст [14] и проследили региональную динамику доходов и потребительского спроса [15]. Методику измерения региональной бедности рассматривают Н. Н. Михеева и В. Г. Басарева [16], направления социальной политики – А. В. Суворов с соавторами [17].

Пространственную экономику макрорегионов раскрывают работы П. А. Минакира о «ловушке» роста на Дальнем Востоке [18], а также В. А. Крюкова и В. Е. Селивёрстова, критически оценивающих практику стратегического планирования [4]. Роль крупных агломераций как центров притяжения рабочей силы изучает Е. В. Антонов [2, 19], новые при-

чины неравенства – цифровизацию и распространение технологий искусственного интеллекта – выделяет С. П. Земцов [20, 21, 22]. Рынок труда и заработную плату анализирует В. Е. Гимпельсон [23]; Р. И. Капелюшников предостерегает от упрощенных трактовок неравенства и требует различать его источники [24].

В. Н. Бобков и Н. К. Долгушкин обосновывают переход от оценки бедности по доходам к комплексным индексам качества жизни и применяют их к федеральным округам [25]; близкий методологический подход, где критерием регионального развития становится именно качество жизни, изложен в [26], а связь социальной дифференциации с продолжительностью жизни населения прослежена в [27]. Н. Е. Тихонова и Е. Д. Слободенюк исследуют бедность профессионалов как признак сдвигов в социальной стратификации [28], В. Г. Доброхлеб – демографическое старение в региональном разрезе [29]. Разрывы в жилищной обеспеченности анализирует А. К. Гузанова [30], системные проблемы здравоохранения – В. Н. Иванов и А. В. Суворов [31].

Цель и задачи исследования

Цель статьи – количественно оценить различия в уровне жизни населения России в 2014–2025 гг. с акцентом на региональную специфику, включая обеспеченность социальной и медицинской инфраструктурой.

Для достижения цели решаются три задачи: обобщить подходы отечественных исследователей к проблеме регионального неравенства; проследить динамику ключевых социально-экономических индикаторов на федеральном и региональном уровнях; выявить структурные сдвиги к 2025 году и оценить, как они сказываются на пространственной связности страны.

Результаты исследования

1. Динамика бедности и доходов населения на национальном уровне (табл. 1)

Кризис 2014–2015 гг. резко увеличил уровень бедности: доля населения с доходами ниже прожиточного минимума выросла с 10,8 % в 2013 г. до 13,5 % в 2015 г., то есть с 15,6 до 19,8 млн человек. До 2020 г. показатель снижался медленно – за пять лет всего на 1,3 процентного пункта. Перелом наступил в 2021–2022 гг.: уровень бедности упал с 12,2 до 9,0 %. К 2025 г. обновил исторический минимум – 6,7 %, или 9,7 млн человек, – на 51 % меньше, чем в 2015 году.

Таблица 1. Численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума (2013–2020 гг.) / границы бедности (2021–2025 гг.)

Table 1. Population with monetary incomes below subsistence minimum (2013–2020) / poverty line (2021–2025)

Показатель	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Уровень бедности, %	10,8	11,3	13,5	13,3	13,0	12,7	12,4	12,2	11,1	9,0	8,3	7,1	6,7
Численность бедных, млн чел.	15,6	16,3	19,8	19,6	19,2	18,8	18,4	18,1	16,4	13,3	12,2	10,3	9,7

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. 2013–2020 гг. – ниже величины прожиточного минимума, 2021–2025 гг. – ниже границы бедности; 2025 г. – предварительные данные.

Динамика может быть связана с несколькими вероятными механизмами: введением единого пособия для семей с детьми и повышением адресности социальной поддержки [5], опережающей индексацией минимального размера оплаты труда и прожиточного мини-

мума, а также ростом заработных плат в нижних квантилях распределения на фоне дефицита кадров. Вместе с тем часть снижения объясняется методологическим переходом 2021 года, поэтому целиком относить его на счет реального улучшения положения малоимущих домохозяйств нельзя [16].

2. Пространственная дифференциация бедности и доходов

Таблица 2 показывает, что общенациональное снижение бедности не устранило межрегиональные разрывы. Отношение максимального уровня бедности к минимальному не сократилось, а выросло: в 2014 г. оно составляло 5,4 раза (6,5 % в Ямало-Ненецком автономном округе против 35,2 % в Республике Тыва), в 2020 г. – 7,0 раза, в 2025 г. – 7,6 раза (3,2 % в Санкт-Петербурге против 24,3 % в Республике Ингушетия).

Таблица 2. Уровень бедности в субъектах РФ с наименьшим и наибольшим его значением по итогам 2025 года, в % от численности населения субъекта

Table 2. Poverty rate in RF subjects with its lowest and highest values in 2025, % of subject population

Субъект Российской Федерации	2014	2020	2025
Пять субъектов с наименьшим уровнем бедности			
Санкт-Петербург	8,8	6,1	3,2
Ямало-Ненецкий автономный округ	6,5	4,5	3,3
Республика Татарстан	7,0	6,8	3,3
Чукотский автономный округ	7,5	7,7	3,3
Москва	8,8	6,1	3,8
Пять субъектов с наибольшим уровнем бедности			
Республика Ингушетия	23,9	29,4	24,3
Республика Тыва	35,2	31,7	18,6
Карачаево-Черкесская Республика	19,2	23,4	15,3
Республика Бурятия	18,2	19,9	14,1
Чеченская Республика	14,2	20,4	13,8
Российская Федерация	**11,3**	**12,2**	**6,7**

Источник: рассчитано автором по данным Росстата; ранжирование по значению 2025 г.

Аутсайдеры при этом двигались по-разному. Тыва за одиннадцать лет сократила бедность почти вдвое – с 35,2 до 18,6 %, Калмыкия – с 31,8 до 11,6 % и вышла за пределы первой пятерки. В Ингушетии же показатель почти не изменился: 23,9 % в 2014 г. и 24,3 % в 2025 г., а в промежутке он поднимался до 29,4 %. К 2025 г. республика осталась обособленной зоной застойной бедности, где за чертой бедности живет почти каждый четвертый – при среднероссийском значении менее одного из четырнадцати [10].

Таблица 3. Динамика среднедушевых денежных доходов населения по федеральным округам Российской Федерации, рублей в месяц

Table 3. Per capita monetary income dynamics by federal districts of Russian Federation, rubles per month

Федеральный округ	2014	2020	2025	Рост 2025 к 2014, раз
Центральный ФО	34 491	47 318	101 796	2,95
Северо-Западный ФО	27 779	39 502	82 651	2,98
Дальневосточный ФО	28 540	39 612	79 418	2,78
Уральский ФО	30 008	37 379	73 100	2,44
Южный ФО	23 997	30 413	62 738	2,61
Сибирский ФО	21 439	28 187	58 485	2,73
Приволжский ФО	23 598	28 604	58 238	2,47
Северо-Кавказский ФО	20 209	24 143	46 887	2,32
В среднем по Российской Федерации	**27 333**	**35 934**	**74 932**	**2,74**

Источник: рассчитано автором по данным Росстата; 2025 г. – предварительные данные.

Данные по федеральным округам (табл. 3) подтверждают, что неравенство доходов не только устойчиво, но и растет. За 2014–2025 гг. номинальные среднедушевые доходы по стране выросли в 2,74 раза, однако округа расходятся заметно: быстрее всех росли Северо-Западный (2,98) и Центральный (2,95), медленнее всех – Северо-Кавказский (2,32), Уральский (2,44) и Приволжский (2,47).

Рост среднедушевых доходов в Поволжье и на Урале был ниже среднероссийского; одного этого показателя недостаточно для вывода об их роли как новых точек экономического роста. Абсолютный разрыв между Центральным и Северо-Кавказским округами увеличился с 14 282 руб. в 2014 г. до 54 909 руб. в 2025 г. Напрямую сравнивать номинальные суммы за одиннадцать лет нельзя из-за инфляции, поэтому разрыв соотнесен со среднероссийским среднедушевым доходом: в 2014 г. он равнялся 52,3 % этой величины, в 2025 г. – 73,3 %. Кратное отношение доходов ЦФО к доходам СКФО выросло за тот же срок с 1,71 до 2,17. Отношение доходов подтверждает увеличение относительного межокружного разрыва, не сводимое к обесценению рубля [12, 15].

3. Пенсионная система и демографическая нагрузка (табл. 4)

Отношение средней назначенной пенсии к прожиточному минимуму пенсионера весь период держалось в узком коридоре 1,52–1,60. Максимум пришелся на 2020 г. (160,1 %), к 2025 г. показатель опустился до 152,0 %. Иными словами, в 2021–2025 гг. индексация пенсий отставала от роста прожиточного минимума пенсионера, хотя номинальный размер средней пенсии за одиннадцать лет вырос в 2,3 раза. Поскольку реальные располагаемые доходы населения в 2024–2025 гг. прибавляли по 7–8 % в год главным образом за счет оплаты труда, положение пенсионеров относительно остальных групп ухудшилось.

Таблица 4. Отношение среднего размера назначенных пенсий к величине прожиточного минимума пенсионера в Российской Федерации

Table 4. Ratio of average granted pensions to pensioner subsistence minimum in Russian Federation

Год	Прожиточный минимум пенсионера, руб.	Средний размер назначенных пенсий на 1 января, руб.	Отношение, %
2014	6 617	10 029,7	151,6
2018	8 483	13 323,1	157,1
2020	9 308	14 904,4	160,1
2023	12 363	19 322,2	156,3
2024	13 290	20 781,8	156,4
2025	15 250	23 175,2	152,0

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. За 2014, 2018 и 2020 гг. прожиточный минимум пенсионера – средняя из четырех квартальных величин, с 2021 г. он устанавливается на год.

Отдельного пояснения требует база сравнения. Пенсии часто сопоставляют с общей величиной прожиточного минимума на душу населения; такой прием занижает соотношение на 16–18 % и расходится с правовой конструкцией социальной доплаты, привязанной к прожиточному минимуму пенсионера.

Демографическая нагрузка (табл. 5) рассчитана через численность получателей пенсий в системе ПФР/СФР, а не через население старше трудоспособного возраста: второй показатель не учитывает досрочных пенсионеров, получателей пенсий по инвалидности и по случаю потери кормильца, из-за чего число занятых на одного представителя старшего возраста завышается, а оцениваемая демографическая нагрузка занижается примерно на 17 %. Оба расчета приведены в таблице рядом.

Таблица 5. Демографическая нагрузка на занятое население

Table 5. Dependency ratio on employed population

Год	Численность пенсионеров (ПФР/СФР) на 1 января, тыс. чел.	Занятые в среднем за год, тыс. чел.	Занятых на 1 пенсионера	Справочно: занятых на 1 человека старше трудосп. возраста
2014	41 019	71 687,8	1,75	2,12
2018	43 504	72 956,7	1,68	1,95
2020	43 546	71 115,7	1,63	1,93
2024	41 075	74 189,8	1,81	2,14
2025	41 170	74 445,5	1,81	н/д

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. Распределение населения по полу и возрасту на 1 января 2025 г. Росстатом временно не публикуется.

Минимум пришелся на 2020 г. – 1,63 занятых на одного пенсионера; к 2024–2025 гг. показатель поднялся до 1,81. Рост показателя может быть связан не с демографической динамикой, а с завершением основного этапа повышения пенсионного возраста и рекордным ростом занятости. Эффект пенсионной реформы будет исчерпан к 2028 году, а численность населения старше трудоспособного возраста возобновит рост, поэтому достигнутое соотношение может оказаться временным [29].

4. Структура доходов и монетарное неравенство

Структура денежных доходов (табл. 6) заметно изменилась. Доля оплаты труда выросла с 54,9 до 59,2 %, что согласуется с быстрым ростом заработных плат при дефиците кадров. Доля доходов от собственности увеличилась более чем вдвое – с 4,8 до 11,0 %: сказались высокие ставки по банковским депозитам в 2023–2025 гг. Доля прочих поступлений, куда после методологического изменения 2018 года попадают в том числе неучтенные доходы, сократилась с 15,1 до 6,6 %; с учетом изменения методики этот сдвиг нельзя однозначно интерпретировать как «обеление» экономики. Доля социальных выплат снизилась с пиковых 20,6 % в 2021 г. до 16,2 % в 2025 г.: их объем рос, но медленнее оплаты труда.

Таблица 6. Структура денежных доходов населения России по источникам поступления, % от общего объёма

Table 6. Monetary income structure of Russian population, % of total volume

Год	Доходы от предпринимательской деятельности	Оплата труда	Социальные выплаты	Доходы от собственности	Прочие денежные поступления
2014	7,0	54,9	18,2	4,8	15,1
2019	5,9	57,3	18,8	5,1	12,9
2021	5,7	57,2	20,6	5,7	10,8
2024	6,7	60,0	16,6	9,6	7,1
2025	7,0	59,2	16,2	11,0	6,6

Источник: рассчитано автором по данным Росстата (действующая методология по приказу от 02.07.2014 № 465 в редакции от 20.11.2018); данные за 2014 и 2019 гг. пересчитаны и не совпадают с публиковавшимися ранее.

Опережающий рост доходов от собственности может быть связан с пространственным неравенством. Эти доходы сосредоточены в верхних децильных группах и привязаны к столичным агломерациям и финансовым центрам, тогда как в депрессивных субъектах преобладают оплата труда бюджетного сектора и социальные трансферты [12, 24].

Табл. 7 фиксирует разнонаправленную динамику. Коэффициент Джини опустился до 0,398 в 2022 г. – ниже этой отметки он был только до 2003 года, после чего неравенство снова

стало расти и к 2025 г. достигло 0,422. Это значение совпадает с показателем 2007 года, максимальным за весь период наблюдений с 1995 года. Одновременно реальные располагаемые доходы прибавляли рекордно: +8,2 % в 2024 г. и +7,4 % в 2025 г. За период 2014–2025 гг. в целом коэффициент Джини вырос умеренно – с 0,414 до 0,422; резким был именно разворот после 2022 года.

Таблица 7. Динамика показателей благосостояния и неравенства населения РФ

Table 7. Welfare and inequality dynamics in Russian Federation

Год	Реальные располагаемые денежные доходы, % к предыдущему году	Коэффициент Джини
2014	−1,2	0,414
2018	+0,7	0,414
2020	−2,0	0,406
2022	+4,5	0,398
2024	+8,2	0,410
2025	+7,4	0,422

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. Ряд реальных располагаемых доходов пересмотрен ретроспективно: оценка за 2022 г. – +4,5 % вместо публиковавшихся ранее − 1,0 %.

Падение абсолютной бедности и рост относительного неравенства друг другу не противоречат: доходы росли по всему распределению, но у верхних групп быстрее. Доля пятой, наиболее обеспеченной, двадцатипроцентной группы выросла с 46,9 % в 2024 г. до 47,8 % в 2025 г., а доля первой снизилась с 5,3 до 5,2 %. Снижение официально измеряемой денежной бедности, таким образом, сопровождается концентрацией доходов; пространственная локализация этого процесса требует отдельной проверки [28].

5. Рынок труда: пространственные дисбалансы безработицы и дефицита кадров

Рынок труда (табл. 8) прошел две фазы. До 2020 г. безработных насчитывалось 3,7–4,4 млн человек, уровень безработицы держался на 4,8–5,8 %. После 2021 г. началось устойчивое сжатие: к 2025 г. безработных осталось 1,7 млн, а уровень безработицы опустился до 2,2 % – минимума за всю историю наблюдений. Занятость достигла исторического максимума – 74,4 млн человек.

Таблица 8. Динамика рынка труда в России, млн человек

Table 8. Russian labour market dynamics, million people

Показатель	2014	2018	2020	2022	2023	2024	2025
Рабочая сила	75,6	76,6	75,5	75,6	76,0	76,1	76,1
Занятые	71,7	73,0	71,1	72,6	73,6	74,2	74,4
Безработные	3,9	3,7	4,4	3,0	2,4	1,9	1,7
Уровень безработицы, %	**5,2**	**4,8**	**5,8**	**4,0**	**3,2**	**2,5**	**2,2**

Источник: рассчитано автором по данным Росстата (население 15 лет и старше); за 2014 г. – возрастная группа 15–72 года.

В пространственном разрезе (табл. 9) видно, что безработица снизилась везде, но выравнивания не произошло. В 2014 г. уровень безработицы в Северо-Кавказском округе превышал уровень Центрального в 3,6 раза, в 2020 г. – тоже в 3,6 раза, а в 2025 г. – уже в 5,1 раза. При среднероссийских 2,2 % в СКФО безработица составляет 7,6 %: в республиках Северного Кавказа сохраняется структурная безработица, которую общенациональный дефицит кадров не снимает [10].

Таблица 9. Уровень безработицы по федеральным округам РФ (по методологии МОТ), %

Table 9. Unemployment rate by federal districts of RF (according to ILO methodology), %

Федеральный округ	2014	2020	2025
Центральный ФО	3,1	3,9	1,5
Уральский ФО	5,8	5,5	1,5
Приволжский ФО	4,5	5,1	1,6
Северо-Западный ФО	4,1	5,0	2,0
Южный ФО	6,2	6,1	2,1
Дальневосточный ФО	7,1	6,4	2,4
Сибирский ФО	6,7	7,3	2,8
Северо-Кавказский ФО	11,1	13,9	7,6
В среднем по Российской Федерации	**5,2**	**5,8**	**2,2**

Источник: рассчитано автором по данным Росстата; за 2014 г. – возрастная группа 15–72 года, ряды по ДФО и СФО – в границах после 2018 г.

Одно из возможных объяснений состоит в том, что нехватка рабочих рук сосредоточена в промышленных и логистических центрах, а трудоизбыточные территории Северного Кавказа далеки от них, и население там сравнительно мало склонно к переезду [13, 23]. Межрегиональная миграция выравнивает рынки труда избирательно: она снижает напряженность в регионах-донорах рабочей силы, но забирает у них самую квалифицированную и молодую часть населения, закрепляя отставание [2].

6. Макроэкономический и демографический контекст

Макроэкономический фон (табл. 10) складывается из двух встречных процессов: население сокращается, а спрос на труд после пика идет на спад. Заявленная работодателями потребность в работниках достигла максимума в 2021 г. (1 922 тыс.) и к концу 2025 г. упала до 1 469 тыс. – рынок труда остывает после периода острого дефицита. Инфляция, ускорившаяся до 9,52 % в 2024 г., замедлилась до 5,59 % в 2025 г.; замедление инфляции сочеталось с ростом реальных доходов.

Таблица 10. Ключевые макроэкономические показатели Российской Федерации

Table 10. Key macroeconomic indicators of Russian Federation

Год	Численность населения на 1 января, млн чел.	Потребность в работниках, заявленная в органы службы занятости, на конец года, тыс. чел.	Инфляция (ИПЦ, декабрь к декабрю), %
2014	144,0	1 396,0	11,35
2021	147,5	1 922,4	8,39
2024	146,2	1 685,2	9,52
2025	146,1	1 469,0	5,59

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. Численность на 1 января 2014 г. – без Республики Крым и г. Севастополя, на 1 января 2024 и 2025 гг. – без ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областей.

Демографические индикаторы качества жизни (табл. 11) показывают, что восстановительный рост прервался. Достигнутый в 2019 г. максимум ожидаемой продолжительности жизни (73,34 года) был потерян в пандемию: в 2021 г. показатель упал до 70,15 года. К 2023 г. восстановление завершилось и установлен новый максимум – 73,41 года, но предварительная оценка за 2024 г. (72,84 года) говорит о новом снижении. Публикация показателя с отчетного 2024 года приостановлена, и это заметно сужает возможности регионального анализа: именно различия в продолжительности жизни между регионами полнее всего выражают неравенство качества жизни [27].

Таблица 11. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении в РФ, лет

Table 11. Life expectancy at birth in RF, years

Год	Оба пола	Мужчины	Женщины	Разрыв, лет
2015	71,38	65,95	76,67	10,72
2019	73,34	68,24	78,17	9,93
2021	70,15	65,69	74,50	8,81
2023	73,41	68,04	78,74	10,70

Источник: рассчитано автором по данным Росстата. Публикация показателя с отчетного 2024 года приостановлена; предварительная оценка за 2024 г. – 72,84 года.

Гендерный разрыв остается очень большим – 10,7 года в 2023 г., один из самых высоких в мире. Его сокращение в 2021 г. до 8,8 года объясняется не тем, что мужчины стали жить дольше, а непропорционально высокой избыточной смертностью женщин старших возрастов в пандемию.

7. Социальная инфраструктура: обеспеченность жильем и врачебными кадрами

Оценивать качество жизни только по деньгам нельзя [25, 26]. Не менее важна доступность базовых социальных благ, прежде всего жилья и здравоохранения. Пространственное неравенство здесь инертнее и преодолевается труднее, чем разрыв в доходах: инфраструктура требует долгих вложений и не поддается быстрому перераспределению.

За 2014–2024 гг. обеспеченность жильем выросла с 23,7 до 29,4 кв. м на человека (табл. 12). Заметную роль могли сыграть программы льготной ипотеки 2020–2024 гг. Однако картина не сводится к противопоставлению столичных агломераций и периферии. В 2024 г. по обеспеченности жильем лидируют Северо-Западный (31,6 кв. м) и Приволжский (31,1 кв. м) округа, а Центральный занимает лишь третье место (30,4 кв. м): одно из возможных объяснений состоит в том, что интенсивное строительство в Московской агломерации сопровождается миграционным притоком, увеличивающим знаменатель показателя.

Таблица 12. Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, по федеральным округам, кв. м

Table 12. Average total housing space per capita by federal districts, sq. m

Федеральный округ	2014	2020	2024
Северо-Западный ФО	24,4	29,0	31,6
Приволжский ФО	24,5	28,0	31,1
Центральный ФО	25,1	27,4	30,4
Уральский ФО	23,7	26,5	28,8
Южный ФО	22,4	25,6	28,7
Сибирский ФО	22,8	25,8	28,1
Дальневосточный ФО	22,3	24,5	26,3
Северо-Кавказский ФО	20,0	21,9	24,0
В среднем по Российской Федерации	**23,7**	**26,7**	**29,4**

Источник: рассчитано автором по данным Росстата; с 2025 г. показатель временно не распространяется.

Устойчивый аутсайдер – Северо-Кавказский округ с 24,0 кв. м, то есть 82 % среднероссийского уровня. Разрыв между первым и последним округом вырос с 1,26 раза в 2014 г. до 1,32 раза в 2024 г. Возможное объяснение – сочетание высокого естественного прироста с преобладанием индивидуального жилищного строительства, объемы которого не поспевают за ростом населения [30].

Таблица 13. Численность врачей всех специальностей по федеральным округам, на 10 000 человек населения

Table 13. Number of physicians of all specialties by federal districts, per 10,000 population

Федеральный округ	2014	2020	2024
Северо-Западный ФО	57,5	61,6	63,6
Дальневосточный ФО	52,9	54,7	55,6
Центральный ФО	50,2	52,1	53,5
Сибирский ФО	50,3	49,5	51,3
Уральский ФО	44,7	47,1	49,1
Приволжский ФО	46,7	47,5	48,9
Южный ФО	43,0	43,9	44,8
Северо-Кавказский ФО	41,6	43,4	42,9
В среднем по Российской Федерации	**48,5**	**50,0**	**51,3**

Источник: рассчитано автором по данным Росстата; данные за 2025 г. не опубликованы. Показатели несопоставимы с обеспеченностью врачами государственной системы здравоохранения, публикуемой Минздравом России.

Средняя обеспеченность врачами выросла с 48,5 до 51,3 на 10 000 человек, но разрыв между округами увеличился с 1,38 раза в 2014 г. до 1,48 раза в 2024 г. Лидирует Северо-Западный округ (63,6 в 2024 г.): здесь сосредоточены федеральные медицинские центры, клинические базы медицинских вузов и крупный сегмент частной медицины с конкурентной оплатой труда.

Показательно, что второе место занимает Дальневосточный округ (55,6). Значит, считать обеспеченность врачами как прямой признак «центральности» нельзя: в малонаселенных северных и восточных территориях высокий показатель на 10 000 жителей достигается за счет низкой плотности населения и районных коэффициентов к оплате труда, тогда как транспортная удаленность в расчете не отражена. Душевые показатели поэтому нельзя рассматривать как мера доступности инфраструктуры [18, 31].

Хуже всего положение в Северо-Кавказском (42,9) и Южном (44,8) округах. СКФО – единственный округ, где показатель за 2020–2024 гг. снизился – с 43,4 до 42,9, несмотря на программы «Земский доктор» и «Земский фельдшер». Неравный доступ к медицинской помощи может быть связан с разрывами в ожидаемой продолжительности жизни [27].

Выводы

Анализ динамики пространственного неравенства и качества жизни в России за 2014–2025 гг. позволяет сделать пять выводов.

Во-первых, в борьбе с абсолютной бедностью государство добилось многого: ее уровень снизился с пиковых 13,5 % в 2015 г. до 6,7 % в 2025 г., то есть с 19,8 до 9,7 млн человек. Но региональный разрез обнаруживает застойные зоны. В Ингушетии показатель за одиннадцать лет практически не сдвинулся – 23,9 % в 2014 г. и 24,3 % в 2025 г., – тогда как в Тыве он сократился почти вдвое, а в Калмыкии почти втрое. Отношение крайних значений выросло с 5,4 до 7,6 раза. Общенациональный успех распределен между территориями крайне неравномерно.

Во-вторых, рынок труда изменился коренным образом, но к пространственному выравниванию это не привело. Безработица упала до рекордных 2,2 %, и одновременно относительный разрыв между Северо-Кавказским и Центральным округами вырос с 3,6 до 5,1 раза. Дефицит кадров сосредоточен в промышленных и логистических центрах, а трудоизбыточные территории сохраняют структурную безработицу. Объяснение этой устойчивости через отток квалифицированных работников в сильные индустриальные центры опирается на данные литературы [2, 23] и в настоящей работе прямо не проверялось: миграционные потоки в расчеты не включались.

В-третьих, монетарное неравенство после короткого сжатия снова растет. Коэффициент Джини поднялся с 0,398 в 2022 г. до 0,422 в 2025 г., вернувшись к значению 2007 года – максимальному за период наблюдений с 1995 года; за 2014–2025 гг. в целом рост умеренный (с 0,414 до 0,422). Разворот совпал по времени с удвоением доли доходов от собственности (с 4,8 до 11,0 %); поскольку такие доходы сосредоточены в верхних децильных группах столичных агломераций, они выступают наиболее вероятным каналом усиления концентрации, однако декомпозиция Джини по источникам дохода выходит за рамки статьи. Разрыв в среднедушевых доходах между крайними округами вырос с 52,3 до 73,3 % среднероссийского дохода, кратное отношение – с 1,71 до 2,17.

В-четвертых, инфраструктурное неравенство закрепляет центр-периферийную поляризацию: разрыв между крайними округами по обеспеченности жильем вырос с 1,26 до 1,32 раза (с 5,1 до 7,6 кв. м), по обеспеченности врачами – с 1,38 до 1,48 раза (с 15,9 до 20,7 единицы на 10 000 человек). При этом простое деление на центр и периферию требует уточнения. По жилью вместе с Северо-Западным округом лидирует Приволжский, по врачам вместе с Северо-Западным – Дальневосточный, а устойчивый аутсайдер по обоим показателям один – Северо-Кавказский округ. Отсюда следует гипотеза, что положение территории в пространственной иерархии определяется не столько удаленностью от центра, сколько сочетанием демографической нагрузки и бюджетных возможностей региона; ее проверка требует отдельного исследования [10].

В-пятых, направление вывода о конвергенции зависит от способа измерения разрыва, и это различие принципиально. В абсолютном выражении разрывы по бедности и безработице сократились – с 28,7 до 21,1 и с 8,0 до 6,1 процентного пункта соответственно, поскольку оба показателя снижались по всей стране. В относительном выражении те же разрывы выросли – с 5,4 до 7,6 и с 3,6 до 5,1 раза. По доходам и социальной инфраструктуре расхождение зафиксировано обоими способами измерения. Следовательно, утверждение о пространственной конвергенции России в 2014–2025 гг. не подтверждается: оно справедливо лишь для абсолютных разрывов по двум показателям и не выполняется ни для одного из относительных.

Итак, к 2025 г. сформировалось следующее сочетание тенденций пространственного развития: масштабы крайней бедности резко сократились, но относительное неравенство доходов, инфраструктурные разрывы и демографическое истощение периферии остаются главными препятствиями для сбалансированного развития территорий. Снижение показателей официально измеряемой бедности не следует читать как признак пространственной конвергенции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубаревич Н. В., Сафронов С. Г.* Межрегиональное неравенство в России и постсоветских странах в XXI веке // Региональные исследования. 2024. № 1(83). С. 4–18. DOI: 10.5922/1994-5280-2024-1-1

2. *Антонов Е. В.* Рынки труда городских агломераций в России // Региональные исследования. 2020. № 2. С. 88–100. DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-7

3. *Зубаревич Н. В.* Региональное измерение нового российского кризиса // Вопросы экономики. 2015. № 4. С. 37–52. DOI: 10.32609/0042-8736-2015-4-37-52

4. *Крюков В. А., Селивёрстов В. Е.* Стратегическое планирование пространственного развития России и ее макрорегионов: в плену старых иллюзий // Российский экономический журнал. 2022. № 5. С. 22–40. DOI: 10.33983/0130-9757-2022-5-22-40

5. *Овчарова Л. Н., Синявская О. В., Бирюкова С. С. и др.* Социальная защита в России: развилки будущего // Вопросы экономики. 2022. № 8. С. 5–31. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-8-5-31

6. *Зубаревич Н. В., Сафронов С. Г.* Налогово-бюджетная дифференциация регионов России: масштабы и динамика // Региональные исследования. 2023. № 1(79). С. 31–41. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-3

7. *Зубаревич Н. В.* Возможности децентрализации в год пандемии: что показывает бюджетный анализ? // Региональные исследования. 2021. № 1(71). С. 46–57. DOI: 10.5922/1994-5280-2021-1-4

8. *Кузнецова О. В.* Развитие муниципальной проблематики в государственной пространственной политике России // Региональные исследования. 2022. № 2(76). С. 16–24. DOI: 10.5922/1994-5280-2022-2-2

9. *Кузнецова О. В.* Стимулирование межрегионального сотрудничества в федеральной пространственной политике // Проблемы развития территории. 2025. Т. 29. № 5(139). С. 44–57. DOI: 10.15838/ptd.2025.5.139.3

10. *Дохолян С. В.* Направления совершенствования социально-экономической политики развития проблемного региона (на примере СКФО) // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 10(132). С. 115–122. DOI: 10.26726/1812-7096-2021-10-115-122

11. *Корчагина И. И., Прокофьева Л. М.* Незанятость родителей: одна из причин бедности в семьях с детьми // Народонаселение. 2023. Т. 26. № 2. С. 40–51. DOI: 10.19181/population.2023.26.2.4

12. *Малкина М. Ю.* Стресс реальных доходов в российских регионах в условиях пандемии и санкций // Пространственная экономика. 2023. Т. 19. № 4. С. 58–83. DOI: 10.14530/se.2023.4.058-083

13. *Malkina M.Yu.* Spatial wage inequality and its sectoral determinants: the case of modern Russia // Oeconomia Copernicana. 2019. Vol. 10. No. 1. Pp. 69–87. DOI: 10.24136/oc.2019.004

14. *Григорьев Л. М., Павлюшина В. А.* Социальное неравенство в мире: тенденции 2000–2016 гг. // Вопросы экономики. 2018. № 10. С. 29–52. DOI: 10.32609/0042-8736-2018-10-29-52

15. *Григорьев Л. М., Павлюшина В. А., Бриллиантова В. В., Бондаренко К. А.* Региональная динамика доходов и потребительского спроса населения в России // Пространственная экономика. 2018. № 3. С. 138–151. DOI: 10.14530/se.2018.3.138-151

16. *Михеева Н. Н., Басарева В. Г.* Региональные особенности бедности в России // Проблемы прогнозирования. 2021. № 5(188). С. 74–85. DOI: 10.47711/0868-6351-188-74-85

17. *Suvorov A.V., Boldov O.N., Ivanov V.N. et al.* Social policy directions ensuring revival of economic growth in Russia // Studies on Russian Economic Development. 2020. Vol. 31. No. 4. Pp. 357–365. DOI: 10.1134/S1075700720040139

18. *Минакир П. А.* Экономическое развитие в «ловушке» роста: случай Дальнего Востока // Пространственная экономика. 2021. Т. 17. № 4. С. 7–15. DOI: 10.14530/se.2021.4.007-015

19. *Antonov E.V., Makhrova A.G.* Largest urban agglomerations and forms of settlement pattern at the supra-agglomeration level in Russia // Regional Research of Russia. 2019. Vol. 9. No. 4. Pp. 370–382. DOI: 10.1134/S2079970519040038

20. *Земцов С. П.* Потенциал создания и внедрения технологий искусственного интеллекта в регионах России // Региональные исследования. 2024. № 1(83). С. 34–47. DOI: 10.5922/1994-5280-2024-1-3

21. *Земцов С. П.* Цифровое неравенство и региональное развитие в России в условиях распространения технологий искусственного интеллекта // Журнал Новой экономической ассоциации. 2025. № 2(67). С. 225–233. DOI: 10.31737/22212264_2025_2_225-233

22. *Zemtsov S., Barinova V., Semenova R.* The risks of digitalization and the adaptation of regional labor markets in Russia // Foresight and STI Governance. 2019. Vol. 13. No. 2. Pp. 84–96. DOI: 10.17323/2500-2597.2019.2.84.96

23. *Гимпельсон В. Е.* Возраст и заработная плата: стилизованные факты и российские особенности // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2019. Т. 23. № 2. С. 185–237. DOI: 10.17323/1813-8691-2019-23-2-185-237

24. *Капелюшников Р. И.* Неравенство: как не примитивизировать проблему // Вопросы экономики. 2017. № 4. С. 117–139. DOI: 10.32609/0042-8736-2017-4-117-139

25. *Бобков В. Н., Долгушкин Н. К.* Пространственное неравенство качества и уровня жизни населения: Уральский и Приволжский федеральные округа и Россия в целом (2013–2016 гг.) // Уровень жизни населения регионов России. 2018. Т. 14. № 1. С. 15–28. DOI: 10.19181/1999-9836-2018-10002

26. *Дохолян С. В.* Качество жизни как основа оценки социально-экономического развития: методологический аспект // Региональные проблемы преобразования экономики. 2025. № 8(178). С. 227–233. DOI: 10.26726/rppe2025v8qolaa

27. *Дохолян С. В., Вершинина М. А.* Социальная дифференциация и продолжительность жизни населения: взаимосвязь и перспективы // Региональные проблемы преобразования экономики. 2024. № 12(170). С. 400–409. DOI: 10.26726/rppe2024v12sdppz

28. *Тихонова Н. Е., Слободенюк Е. Д.* Бедность российских профессионалов: распространенность, причины, тенденции // Мир России. Социология. Этнология. 2022. Т. 31. № 1. С. 113–137. DOI: 10.17323/1811-038X-2022-31-1-113-137

29. *Доброхлеб В. Г.* Демографическое старение в России и новая социальная реальность // Народонаселение. 2022. Т. 25. № 2. С. 66–76. DOI: 10.19181/population.2022.25.2.6

30. *Гузанова А. К.* Жилищная обеспеченность домохозяйств с детьми в современной России // Уровень жизни населения регионов России. 2025. Т. 21. № 1. С. 43–58. DOI: 10.52180/1999-9836_2025_21_1_3_43_58

31. *Ivanov V. N., Suvorov A. V.* Modern Development Problems of Russian Healthcare (Part 1) // Studies on Russian Economic Development. 2021. Vol. 32. No. 6. Pp. 631–639. DOI: 10.1134/S1075700721060058

REFERENCES

1. Zubarevich N.V., Safronov S.G. Interregional inequality in Russia and the post-Soviet countries in the 21st century. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2024. No. 1(83). Pp. 4–18. DOI: 10.5922/1994-5280-2024-1-1. (In Russian)

2. Antonov E.V. Labour markets of urban agglomerations in Russia. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2020. No. 2. Pp. 88–100. DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-7. (In Russian)

3. Zubarevich N.V. Regional dimension of the new Russian crisis. *Voprosy Ekonomiki*. 2015. No. 4. Pp. 37–52. DOI: 10.32609/0042-8736-2015-4-37-52. (In Russian)

4. Kryukov V.A., Seliverstov V.E. Strategic planning of the spatial development of Russia and its macro-regions: captive to old illusions. *Russian Economic Journal*. 2022. No. 5. Pp. 22–40. DOI: 10.33983/0130-9757-2022-5-22-40. (In Russian)

5. Ovcharova L.N., Sinyavskaya O.V., Biryukova S.S. et al. Social protection in Russia: the crossroads of the future. *Voprosy Ekonomiki.* 2022. No. 8. Pp. 5–31. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-8-5-31. (In Russian)

6. Zubarevich N.V., Safronov S.G. Fiscal differentiation of Russian regions: scale and dynamics. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2023. No. 1(79). Pp. 31–41. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-1-3. (In Russian)

7. Zubarevich N.V. Decentralisation opportunities in the pandemic year: what does budget analysis show? *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2021. No. 1(71). Pp. 46–57. DOI: 10.5922/1994-5280-2021-1-4. (In Russian)

8. Kuznetsova O.V. Development of municipal issues in the state spatial policy of Russia. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2022. No. 2(76). Pp. 16–24. DOI: 10.5922/1994-5280-2022-2-2. (In Russian)

9. Kuznetsova O.V. Promoting interregional cooperation in federal spatial policy. *Problems of Territory's Development*. 2025. Vol. 29. No. 5(139). Pp. 44–57. DOI: 10.15838/ptd.2025.5.139.3. (In Russian)

10. Dokholyan S.V. Directions for improving the socio-economic development policy of a problem region: the case of the North Caucasus Federal District. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional Problems of Transforming the Economy]. 2021. No. 10(132). Pp. 115–122. DOI: 10.26726/1812-7096-2021-10-115-122. (In Russian)

11. Korchagina I.I., Prokofieva L.M. Parents' non-employment as one of the causes of poverty in families with children. *Population*. 2023. Vol. 26. No. 2. Pp. 40–51. DOI: 10.19181/population.2023.26.2.4. (In Russian)

12. Malkina M.Yu. Real income stress in Russian regions amid the pandemic and sanctions. *Spatial Econmics*. 2023. Vol. 19. No. 4. Pp. 58–83. DOI: 10.14530/se.2023.4.058-083

13. Malkina M.Yu. Spatial wage inequality and its sectoral determinants: the case of modern Russia. *Oeconomia Copernicana*. 2019. Vol. 10. No. 1. Pp. 69–87. DOI: 10.24136/oc.2019.004

14. Grigoryev L.M., Pavlyushina V.A. Social inequality in the world: trends of 2000–2016. *Voprosy Ekonomiki*. 2018. No. 10. Pp. 29–52. DOI: 10.32609/0042-8736-2018-10-29-52. (In Russian).

15. Grigoryev L.M., Pavlyushina V.A., Brilliantova V.V., Bondarenko K.A. Regional dynamics of incomes and consumer demand of the population in Russia. *Spatial Economics*. 2018. No. 3. Pp. 138–151. DOI: 10.14530/se.2018.3.138-151. (In Russian).

16. Mikheeva N.N., Basareva V.G. Regional specifics of poverty in Russia. *Studies on Russian Economic Development.* 2021. Vol. 32. No. 5. Pp. 499–507. DOI: 10.1134/S1075700721050099

17. Suvorov A.V., Boldov O.N., Ivanov V.N. et al. Social policy directions ensuring revival of economic growth in Russia. *Studies on Russian Economic Development*. 2020. Vol. 31. No. 4. Pp. 357–365. DOI: 10.1134/S1075700720040139

18. Minakir P.A. Economic development in the growth "trap": the case of the Far East. *Prostranstvennaya ekonomika* [Spatial Economics]. 2021. Vol. 17. No. 4. Pp. 7–15. DOI: 10.14530/se.2021.4.007-015. (In Russian)

19. Antonov E.V., Makhrova A.G. Largest urban agglomerations and forms of settlement pattern at the supra-agglomeration level in Russia. *Regional Research of Russia*. 2019. Vol. 9. No. 4. Pp. 370–382. DOI: 10.1134/S2079970519040038

20. Zemtsov S.P. The potential for creating and adopting artificial intelligence technologies in Russian regions. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2024. No. 1(83). Pp. 34–47. DOI: 10.5922/1994-5280-2024-1-3. (In Russian)

21. Zemtsov S.P. Digital inequality and regional development in Russia amid the spread of artificial intelligence technologies. *Journal of the New Economic Association*. 2025. No. 2(67). Pp. 225–233. DOI: 10.31737/22212264_2025_2_225-233. (In Russian)

22. Zemtsov S., Barinova V., Semenova R. The risks of digitalization and the adaptation of regional labor markets in Russia. *Foresight and STI Governance*. 2019. Vol. 13. No. 2. Pp. 84–96. DOI: 10.17323/2500-2597.2019.2.84.96

23. Gimpelson V.E. Age and wages: stylized facts and Russian specifics. *Higher School of Economics Economic Journal*. 2019. Vol. 23. No. 2. Pp. 185–237. DOI: 10.17323/1813-8691-2019-23-2-185-237. (In Russian)

24. Kapelyushnikov R.I. Inequality: how not to primitivize the problem. *Voprosy Ekonomiki*. 2017. No. 4. Pp. 117–139. DOI: 10.32609/0042-8736-2017-4-117-139 (In Russian).

25. Bobkov V.N., Dolgushkin N.K. Spatial inequality of the quality and standard of living: the Ural and Volga federal districts and Russia as a whole, 2013–2016. *Living Standarts of the Population in the Regions of Russia*. 2018. Vol. 14. No. 1. Pp. 15–28. DOI: 10.19181/1999-9836-2018-10002. (In Russian)

26. Dokholyan S.V. Quality of life as a basis for assessing socio-economic development: a methodological aspect. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional Problems of Transforming the Economy]. 2025. No. 8(178). Pp. 227–233. DOI: 10.26726/rppe2025v8qolaa. (In Russian)

27. Dokholyan S.V., Vershinina M.A. Social differentiation and life expectancy of the population: interrelation and prospects. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional Problems of Transforming the Economy]. 2024. No. 12(170). Pp. 400–409. DOI: 10.26726/rppe2024v12sdppz. (In Russian)

28. Tikhonova N.E., Slobodenyuk E.D. Poverty among Russian professionals: prevalence, causes, trends. *Universe of Russia. Sociology. Ethnology*. 2022. Vol. 31. No. 1. Pp. 113–137. DOI: 10.17323/1811-038X-2022-31-1-113-137. (In Russian)

29. Dobrokhleb V.G. Demographic ageing in Russia and the new social reality. *Population*. 2022. Vol. 25. No. 2. Pp. 66–76. DOI: 10.19181/population.2022.25.2.6. (In Russian)

30. Guzanova A.K. Housing provision for households with children in modern Russia. *Living Standarts of the Population in the Regions of Russia*. 2025. Vol. 21. No. 1. Pp. 43–58. DOI: 10.52180/1999-9836_2025_21_1_3_43_58. (In Russian)

31. Ivanov V.N., Suvorov A.V. Modern development problems of Russian healthcare (Part 1). *Studies on Russian Economic Development*. 2021. Vol. 32. No. 6. Pp. 631–639. DOI: 10.1134/S1075700721060058

Финансирование. Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема «Социально-экономическое благополучие населения: ожидания, условия, факторы» (№ 125032704553-7).

Funding. This article was prepared within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project title “Socio-economic well-being of the population: expectations, conditions, factors” (No. 125032704553-7).

Информация об авторе

Дохолян Сергей Владимирович, д-р экон. наук, профессор, гл. науч. сотр., заведующий лабораторией проблем уровня и качества жизни, Институт социально-экономических проблем народонаселения имени Н. М. Римашевской – структурное подразделение Федерального научно-исследовательского социологического центра РАН;

117218, Россия, Москва, ул. Кржижановского, 24/35, корп. 5;

sergsvd@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4609-448X, SPIN-код: 6492-9940

Information about the author

Sergey V. Dokholyan, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory for the Problems of the Standard and Quality of Life, Institute of Socio-Economic Studies of Population named after N.M. Rimashevskaya – branch of the Federal Center of Theoretical and Applied Sociology of the Russian Academy of Sciences;

24/35, Krzhizhanovskogo street, bldg. 5, Moscow, 117218, Russian;

sergsvd@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4609-448X, SPIN-code: 6492-9940

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 330.34, 33.35, 338.24, 332.12 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-363-378
UZPSDS

Модели управления институциональными изменениями в целях опережающего развития высокотехнологичных отраслей региона

О. З. Загазежева, К. Ф. Край✉

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена недостаточной эффективностью действующих моделей управления институциональными изменениями, которые слабо связывают меры региональной поддержки с измеримыми результатами и не в полной мере учитывают особенности территории. Это не позволяет использовать научно-производственный потенциал региона и требует разработки практических рекомендаций по согласованию мер поддержки, институциональных механизмов и ключевых показателей эффективности (KPI) высокотехнологичных проектов.

Цель исследования – разработка практических рекомендаций по управлению институциональными изменениями, обеспечивающими опережающее развитие высокотехнологичных отраслей региона.

Методы исследования. Статистический и системный анализ, индукция, обработка и интерпретация данных, сравнение и выявление закономерностей.

Результаты. В работе проведено исследование управления институциональными изменениями как фактора опережающего развития высокотехнологичных отраслей региона. На основе анализа теоретических подходов и зарубежного опыта выявлены пробелы в существующих моделях. Авторская гипотеза состоит в том, что опережающее развитие высокотехнологичных отраслей достигается при целенаправленной трансформации организационных структур, процессов и норм, если меры региональной поддержки привязаны к KPI. Предложена система региональных преференций, увязанная с ключевыми показателями эффективности. Возможность ее применения проиллюстрирована на примере проекта по созданию и коммерциализации мобильных интеллектуальных роботов-автомойщиков. Показано, что такой механизм позволяет направлять поддержку на проекты, достигающие установленных показателей, и обеспечивает экономические, социальные и научно-технические эффекты.

Вывод. Опережающее развитие региональной экономики достигается за счет ее структурной трансформации, основанной на инновациях и знаниях, в рамках гибридной модели управления (государственное планирование плюс частная инициатива), ориентированной на региональные компетенции, с четкой архитектурой системы управления и адресными преференциями, привязанными к измеримым KPI, что подтверждается практическим потенциалом коммерциализации наукоемких продуктов.

Ключевые слова: региональная экономика, институциональные изменения, опережающее развитие, высокотехнологичные отрасли, модели управления, институциональные механизмы, региональные преференции, KPI, высокотехнологичные проекты, инновации, регион, инновационная политика, управление изменениями

Поступила 31.08.2026, одобрена после рецензирования 29.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Загазежева О. З., Край К. Ф. Модели управления институциональными изменениями в целях опережающего развития высокотехнологичных отраслей региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 363–378. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-363-378

© Загазежева О. З., Край К. Ф., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Original article

Institutional change management models to foster advanced development of regional high-tech industries

O.Z. Zagazezheva, K.F. Krai✉

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The relevance of this study stems from the insufficient effectiveness of current institutional change management models, which fail to adequately link regional support measures to measurable outcomes and do not fully account for territorial specificities. This situation hinders the utilization of the region's research and production potential, necessitating practical recommendations to align support measures, institutional mechanisms, and key performance indicators (KPIs) for high-tech projects.

Aim. To develop practical recommendations for managing institutional changes that foster the accelerated development of the region's high-tech industries.

Research methods. In this paper we employ statistical and systems analysis, induction, data processing and interpretation, comparative approaches, and pattern identification.

Results. The study examines institutional change management as a catalyst for the accelerated development of regional high-tech industries. An analysis of theoretical frameworks and international practices reveals systemic limitations in existing models. The author hypothesizes that accelerating high-tech industry growth requires a targeted transformation of organizational structures, processes, and norms, conditioned upon linking regional support to key performance indicators (KPIs). A performance-linked system of regional incentives is proposed. Its practical application is illustrated through a project developing and commercializing mobile intelligent robotic car-wash systems. The findings demonstrate that this mechanism effectively channels state support toward high-target projects, thereby generating economic, social, and scientific-technical benefits.

Conclusion. Accelerated development of the regional economy is achieved through its structural transformation driven by innovation and knowledge within a hybrid governance model (combining state planning and private initiative). This model focuses on regional competencies and features a clear governance architecture and targeted incentives linked to measurable KPIs, a strategy validated by the practical commercialization potential of knowledge-intensive products.

Keywords*:* regional economy, institutional changes, accelerated development, high-tech industries, management models, institutional mechanisms, regional preferences, KPIs, high-tech projects, innovation, region, innovation policy, change management

Submitted 31.08.2026, approved after reviewing 29.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Zagazezheva O.Z., Krai K.F. Institutional change management models to foster advanced development of regional high-tech industries. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 363–378. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-363-378

Введение

В настоящее время территориальное развитие играет большую роль в становлении экономики страны. Многие регионы имеют различную специализацию в разных отраслях – добыча полезных ископаемых, туризм, сельское хозяйство и т.д. С одной стороны, данный факт хорошо сглаживает разные потрясения экономики, с другой стороны, увеличивает

© Zagazezheva O.Z., Krai K.F., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

риски миграции внутри страны. В контексте пространственного развития следует снизить диспропорцию между регионами и создать устойчивую и конкурентоспособную экономику [1]. Анализ существующих моделей показывает, что они недостаточно связывают меры поддержки с измеримыми результатами и слабо адаптированы к региональным условиям. Зарубежный опыт рассматривается в статье как источник институциональных механизмов, которые могут быть использованы при разработке авторского подхода. Авторская гипотеза состоит в том, что опережающее развитие высокотехнологичных отраслей достигается при целенаправленной трансформации организационных структур, процессов и норм, если меры региональной поддержки привязаны к KPI.

Объектом исследования являются процессы управления институциональными изменениями в высокотехнологичных отраслях региональной экономики, направленные на опережающее развитие территории.

Предметом исследования являются модели, механизмы и инструменты управления институциональными изменениями в региональной экономике, обеспечивающие переход к опережающему развитию высокотехнологичных отраслей, а также условия их эффективной реализации на основе зарубежного опыта и региональных преференций.

Целью данного исследования является разработка практических рекомендаций по управлению институциональными изменениями, обеспечивающими опережающее развитие высокотехнологичных отраслей региона.

Концептуальные основы управления институциональными изменениями в высокотехнологичных отраслях региона

Пространственное развитие рассматривается такими авторами, как Н. В. Зубаревич, который проводил современный анализ социально-экономического развития регионов, в том числе с фокусом на «ловушку периферии». Одна из ключевых концепций, связанных с анализом социально-экономического развития регионов, – центро-периферийная теория. Согласно этой модели центры разного уровня стягивают ресурсы (человеческие, финансовые, природные) со своей периферии [2]. В. И. Блануца рассматривал пространственное развитие в постиндустриальную эпоху, сети и потоки, исследовал пространственную диффузию нововведений, включая социально-экономические инновации [3]. В. И. Блануца выделял три формы пространственной диффузии:

- Контагиозная – горизонтальное движение нововведения между соседними точками территории.
- Каскадная – вертикальное перемещение инновации в отдельные точки, находящиеся в определенной субординации между собой.
- Сетевая – горизонтальное продвижение нововведения между отдельными точками, которые не обязательно являются соседями, не имеют иерархии, но образуют сетевую структуру.

Работы В. И. Блануцы вносят вклад в понимание трансформации пространственной организации общества в постиндустриальную эпоху под влиянием развития информационно-коммуникационных технологий, сетей и потоков [4]. Существенный вклад в теоретическое обоснование устойчивого и опережающего регионального развития принадлежит П. М. Иванову.

В монографии П. М. Иванова концепция опережающего развития регионов раскрывается не через строгое формализованное определение, а через противопоставление различным моделям экономического роста [5].

П. М. Иванов трактует регион как социо-эколого-экономическую систему, ключевым свойством которой является адаптивность – способность сохранять качество жизни при

внешних и внутренних возмущениях, что, по его мнению, важнее формальных показателей ВВП. Центральное место в концепции автора занимает модель отношений «Центр – Периферия», которая, как он доказывает, становится главным источником конфликтов и определяет устойчивость государства. [6]. Однако его концепция не в полной мере учитывает отраслевую специфику высокотехнологичных производств. Поэтому в данной статье предлагается дополнить ее механизмом преференций, привязанных к KPI. Пространственное развитие регионов неравномерно. Диффузия инноваций показывает, что технологии распространяются не автоматически, а требуют институциональных условий. Это означает, что для опережающего развития высокотехнологичных отраслей необходимы целенаправленные институциональные изменения – трансформация организационных структур, процессов и норм. Управление такими изменениями и становится предметом исследования данной статьи.

В [1] автор подчеркивает, что модернизация невозможна в рамках догоняющего развития, ориентированного на воспроизводство уже сложившихся структур, и обосновывает необходимость перехода к обгоняющему (опережающему) развитию, основанному на инновациях и экономике знаний. В этом контексте опережающее развитие понимается как формирование новой, перспективной структуры экономики, способной обеспечить долгосрочный рост и повышение качества жизни, а не как простое сокращение отставания от более развитых стран [1, 2].

Ключевым инструментом реализации данной стратегии выступает предложенная автором модель управления устойчивым развитием региона, которая фактически выполняет роль модели управления институциональными изменениями. Регион в этой модели рассматривается как сложная социо-эколого-экономическая система, включающая природную, экономическую и общественную подсистемы, взаимодействующие в рамках единой технологической цепочки, направленной на обеспечение высокого качества жизни населения. Управление этой системой предполагает согласование потоков ресурсов, производства и социальных результатов, а также поддержание баланса между развитием экономики, состоянием окружающей среды и общественными потребностями [7, 8].

Особое значение в концепции П. М. Иванова имеет использование адаптивного подхода к управлению. Модель включается в контур управления регионом по типу адаптивной системы с идентификатором, что позволяет осуществлять постоянную корректировку управленческих решений на основе обратной связи и анализа отклонений фактических показателей от целевых значений. При этом существенную роль играет лицо, принимающее решения, участвующее в процессе уточнения модели и выборе управленческих воздействий. Такой подход обеспечивает гибкость управления и создает условия для институциональной трансформации, поскольку предполагает непрерывную адаптацию экономических, социальных и управленческих механизмов к изменяющимся внешним и внутренним условиям развития региона [5].

Модели управления институциональными изменениями для высокотехнологичных отраслей региона включают создание преференциальных зон: территории опережающего развития (ТОСЭР/ТОР), особые экономические зоны (ОЭЗ), внедрение проектных офисов, развитие инновационных кластеров и региональных технопарков. Они направлены на создание благоприятного инвестиционного климата, диверсификацию экономики и интеграцию науки с производством.

Основные модели и механизмы управления:

1. ТОСЭР/ТОР: модель, предполагающая создание уникального правового режима, налоговых льгот и упрощенных административных процедур для резидентов.

2. ОЭЗ: механизм, фокусирующийся на привлечении инвестиций в высокотехнологичные секторы через таможенные преференции и готовую инфраструктуру.

В российской региональной политике основными преференциальными инструментами выступают ТОР и ОЭЗ, которые различаются по целям, требованиям к инвесторам и набору льгот: ТОР ориентированы на Дальний Восток и Арктику, имеют низкий порог входа (0,5–5 млн руб.), сниженные страховые взносы (7,6 %) и используют существующую инфраструктуру, тогда как ОЭЗ нацелены на обрабатывающие и высокотехнологичные производства, требуют вложений от 120 млн руб. (для проектов технологического суверенитета – от 50 млн) и предоставляют налоговые и таможенные преференции при создании инфраструктуры за счет государства. С 2024–2025 гг. механизм создания ОЭЗ упрощен (единое соглашение, электронный документооборот, сокращенный паспорт проекта), а оценка их эффективности включает 25 показателей, среди которых ключевыми для инновационной деятельности являются затраты на НИОКР (в 2024 г. – более 35 млрд руб., рост на 60 %), выручка от высокотехнологичной продукции и число высокооплачиваемых рабочих мест (свыше 50 тыс. в технико-внедренческих зонах), причем последние, несмотря на малое количество (7 зон), генерируют почти половину всей выручки ОЭЗ. Региональный опыт Ростовской области показывает, что ТОР в моногородах (Гуково, Донецк, Зверево) сталкиваются с инфраструктурными ограничениями, отраслевыми запретами и оттоком населения, не достигая плановых показателей, поэтому регион делает ставку на ОЭЗ «Ростовская» как на более привлекательный для инвесторов режим, обеспечивающий таможенные льготы и готовую инфраструктуру [9, 17].

3. Инновационные кластеры и технопарки: модели, способствующие горизонтальной интеграции научных центров, вузов и производственных предприятий для обмена знаниями и ускоренного внедрения инноваций [7, 8].

4. Проектное управление (мегапроекты): управление изменениями через целевые программы, объединяющие комплекс проектов, направленных на развитие конкретных высокотехнологичных отраслей региона.

5. Институциональная устойчивость: система управления, направленная на адаптацию региональных институтов к быстрым технологическим изменениям, обеспечивая диверсификацию экономики [8].

В современной практике стратегического планирования кластерного развития находит применение метод составных реальных опционов, предусматривающий последовательную реализацию четырех управленческих альтернатив: опциона на свертывание и прекращение деятельности, опциона на расширение и тиражирование успешных практик, опциона на смену направления и временную паузу, а также опциона на отсрочку запуска обновленной стратегии. Данный подход обеспечивает адаптивность и предотвращает преждевременный отказ от стратегии, не обесценивая уже осуществленные тактические шаги. Эмпирическая верификация на материалах пилотного кластера электроэнергетики Нижегородской области выявила прирост интегральной стоимости стратегии на 89,1 % – с 2 710 022 до 5 124 706 тыс. руб., что подтверждает практическую значимость предлагаемого инструментария [10, 16].

В табл. 1 авторами представлена сравнительная характеристика основных моделей региональной инновационной политики по критериям их концептуальных оснований, применяемого инструментария, степени и форм государственного участия, а также потенциальных рисков реализации.

Таблица 1. Сравнительный анализ моделей региональной инновационной политики

Table 1. Comparative analysis of regional innovation policy models

Модель	Суть	Преимущества	Недостатки	Ключевые инструменты	Драйвер изменений	Роль государства	Скорость внедрения	Основные риски
Дирижистская (государственно ориентированная)	Государство – главный стратег и ресурсный донор; изменения инициируются «сверху» через целевые программы и прямое финансирование	Быстрая концентрация ресурсов, возможность реализации крупных инфраструктурных проектов, обеспечение технологического суверенитета в критических сферах	Риск неэффективного использования бюджетных средств, слабая обратная связь от бизнеса и науки, низкая адаптивность к быстрым изменениям	Национальные программы, государственный заказ, особые экономические зоны, прямые субсидии НИОКР	Государство	Главный стратег и инвестор	Высокая	Иждивенчество, бюрократизация
Модель «тройной спирали»	Тесная кооперация государства, бизнеса и университетов (науки); инновации возникают на пересечении сфер, роли гибридизируются	Создание гибридных структур (инжиниринговые центры, НОЦ), ускорение трансфера технологий, взаимное обогащение компетенциями	Сложность координации разнородных акторов, риск конфликта интересов, зависимость от «человеческого фактора» в управлении	Научно-образовательные центры (НОЦ), технологические платформы, центры трансфера технологий, государственно-частное партнерство	Кооперация трех секторов	Координатор, фасилитатор	Средняя	Конфликт интересов, неэффективное партнерство
Эволюционная	Опора на существующие конкурентные преимущества региона; концентрация ресурсов на ограниченном числе направлений, где есть научный и производственный задел	Реалистичность целей, снижение риска распыления средств, использование местной специфики	Может консервировать технологическое отставание, сложность выбора приоритетов (предпринимательский поиск), требует высокой экспертизы	Процесс предпринимательского поиска, стратегии умной специализации, региональные инновационные кластеры	Региональные компетенции	Фасилитатор, аналитик	Средняя	Ошибка выбора приоритетов
Адаптивная (самоорганизация инновационной системы)	Институты «выращиваются» снизу; управление сводится к устранению барьеров и созданию благоприятной среды для самоорганизации	Гибкость, быстрая реакция на изменения, поощрение предпринимательской инициативы, минимизация административных издержек	Требует зрелой инновационной культуры, результаты проявляются медленно, риск нескоординированных действий	Регуляторные песочницы, венчурные фонды, стартап-акселераторы, открытые инновационные платформы	Самоорганизация сообществ	Создатель условий (сервисная роль)	Низкая (эволюционная)	Неопределенность, нескоординированность

Зарубежный опыт управления институциональными изменениями в высокотехнологичных отраслях

1. ***Южная Корея (от аграрной экономики к технологическому лидерству)***.

В 1960-е годы Южная Корея была аграрной страной с низким уровнем промышленного развития.

Одним из ключевых технологических решений в Корее было развитие полупроводниковой промышленности. Так, например, Samsung – изначально небольшая торговая компания – под руководством основателя Ли Бёнчхуля трансформировалась в технологического гиганта. К 1980-м годам компания инвестировала огромные средства в НИОКР, сосредоточившись на разработке полупроводников и мобильных телефонов.

Стоит также упомянуть и сферы судостроения и автомобилестроения: Hyundai, основанная Чон Чжу-ёном, расширилась из строительного бизнеса в судостроение, автомобилестроение и сталелитейную промышленность. Модели Sonata и Elantra стали символами растущей производственной мощи страны [8].

Южнокорейское правительство реализовало стратегию государственного управления развитием через пятилетние экономические планы, которые направляли капитал в ключевые отрасли – сталелитейную, судостроительную, электронную – при одновременном поощрении экспортно-ориентированного роста. Государство выступало как катализатор, а частный сектор – как драйвер.

Сегодня Южная Корея занимает второе место в мире по технологическому развитию (99,5 балла в рейтинге US News) с лидирующими позициями в производстве полупроводников, 5G-технологиях, робототехнике и искусственном интеллекте.

2. ***Сингапур (от производственной экономики к экономике знаний)***.

После обретения независимости Сингапур был островным государством с ограниченными ресурсами. Для Сингапура можно выделить следующие ключевые технологические решения: с 1990-х годов Сингапур поставил R&D в центр экономической стратегии, рассматривая его как рычаг перехода от производства к инновационной экономике; страна сосредоточилась на развитии биотехнологий, информационных технологий, чистой энергетики и передового производства; внедрение концепции «умного города» с интеграцией цифрового управления, кибербезопасности, искусственного интеллекта и робототехники в городскую инфраструктуру [11].

Сингапурская модель – это сочетание стратегических государственных инвестиций в НИОКР, развития стартап-экосистемы и привлечения ведущих международных исследовательских центров. Правительство создало благоприятные условия для технологических инноваций через поддержку научных парков и венчурного финансирования.

Таким образом, Сингапур занимает 6-е место в мире по технологическому развитию (74,8 балла), известен своими инициативами «умного города», цифрового управления и высокотехнологичной инфраструктуры.

3. ***Китай (от «догоняющего» к технологическому лидерству)***.

В конце XX века Китай был преимущественно аграрной страной с низкой долей высокотехнологичного производства [12].

Ключевые технологические решения:

- Высокоскоростные железные дороги: Китай создал крупнейшую в мире сеть высокоскоростных железных дорог протяженностью более 45 000 км с поездами, развивающими скорость до 350 км/ч.

- 5G и искусственный интеллект: Китай стал мировым лидером в развертывании сетей 5G, разработке систем искусственного интеллекта, производстве электромобилей и цифровых платежах.

- Космические технологии: страна инвестирует значительные ресурсы в космические миссии и «умное» производство.

Китайская модель сочетает государственное планирование (стратегия «Сделано в Китае 2025») с поддержкой частных технологических гигантов (Huawei, Alibaba, Tencent). Государство выделяет капитал на НИОКР, создает особые экономические зоны и стимулирует экспорт высокотехнологичной продукции. Китай занимает 3-е место в мире по технологическому развитию (96,1 балла).

4. ***Бразилия (инновации в агропромышленности и энергетике)***.

Национальная программа «Пró-Álкоол» (Pró-Álcool), запущенная в 1975 году, создала крупномасштабную индустрию производства этанола из сахарного тростника. Бразилия стала мировым лидером в этой области, используя весь сахарный тростник (жмых перерабатывается в энергию). Программа принесла значительные социально-экономические и экологические выгоды, включая снижение зависимости от ископаемого топлива и сокращение выбросов углерода [13].

Сегодня в Бразилии широко распространены автомобили с гибким топливом (flex-fuel), а политика RenovaBio стимулирует дальнейшее расширение отрасли и экспорт.

5. ***Финляндия (трансформация машиностроения через цифровизацию)***.

Финляндия имела сильные инженерные традиции, но столкнулась с необходимостью модернизации традиционных отраслей. Сегодня страна делает ставку на цифровизацию тяжелого машиностроения, развивая такие направления, как Industry 4.0 и IoT, прецизионное позиционирование, автономия и робототехника, кибербезопасность и открытые данные [14].

Национальная инициатива Sustainable Industry X (SIX) – это не просто проект или экосистема, а национальная программа обновления промышленности, объединяющая производителей оборудования, технологических провайдеров, исследователей и политиков для создания дорожных карт и инфраструктур. Стоит также отметить уникальный уровень кооперации, который демонстрирует Финляндия: «Мы маленькая страна, мы знаем друг друга и действительно хотим работать вместе». Финляндия становится глобальным хабом для автономных рабочих машин, привлекая международных игроков (Sandvik, Kalmar, Ponsse) для инвестиций в R&D.

В табл. 2 авторами представлены другие примеры технологической специализации стран, отражающие связь между фокусом инновационной политики и достигнутыми отраслевыми результатами.

Таблица 2. Технологические приоритеты стран и достигнутые отраслевые результаты

Table 2. Technological priorities of countries and achieved sectoral results

Страна	Технологическое решение	Результат
Аргентина	ГМ соя (одни из первых после США, 1996)	>95 % производства сои – ГМ, страна стала третьим мировым производителем
Австралия	Технология Wi-Fi	Решила проблему интерференции радиосигналов в зданиях
Канада	Квантовые технологии	Национальная квантовая стратегия, компании D-Wave и Xanadu
Франция	Ядерная энергетика	80 % электроэнергии от АЭС, экспорт технологий
Германия	Зеленая энергетика	Перовскитные солнечные ячейки, агрофотовольтаика, водородные стратегии
Италия	Упаковочная робототехника	16,5 % мирового рынка упаковочного оборудования
Япония	Робототехника и Shinkansen (пули)	Лидер в робототехнике, высокоскоростные железные дороги с AI-обслуживанием
Саудовская Аравия	Опреснение воды	Передовые технологии обратного осмоса с рекуперацией энергии, AI для обслуживания
Турция	Беспилотные летательные аппараты	Разработка стелс-беспилотников и морских дронов

Проведенное исследование позволяет выделить некоторые факторы успеха. Для создания успешных кейсов в большинстве стран (Южная Корея, Сингапур, Китай, Финляндия) государство выступало не просто регулятором, а стратегическим инвестором и координатором. Главным инструментом стали долгосрочные национальные программы в сочетании с гибкой поддержкой частной инициативы. Страны не пытались «догнать» по всем фронтам, а выбирали направления, где у них уже были исторические заделы: Япония – робототехника и электроника, Германия – промышленная автоматизация [10], Бразилия – агропромышленность.

Финляндия демонстрирует наиболее яркий пример такой кооперации, где через блокчейн объединены все ключевые акторы для совместной разработки дорожных карт. Южная Корея, по сути, построила свою индустриализацию на том же принципе, где государство и крупный бизнес (чеболи) действовали в единой связке. Все успешные примеры показывают высокую долю инвестиций в исследования и разработки, а также внимание к подготовке квалифицированных кадров и развитию научных школ.

Исторический опыт стран, совершивших переход от догоняющего к опережающему развитию, показывает, что технологии сами по себе не являются гарантией успеха. Ключевую роль играют институциональные условия – способность государства формулировать долгосрочную стратегию, координировать усилия науки и бизнеса, создавать стимулы для инноваций и инвестировать в человеческий капитал.

Страны, которые смогли превратить технологические заимствования в собственные конкурентные преимущества, сделали это с помощью выбора приоритетов на основе существующих компетенций, создания устойчивых механизмов кооперации между ключевыми акторами, а также последовательной реализации долгосрочных национальных программ, не подверженных политической конъюнктуре.

Данный опыт может пригодиться для развития инновационной системы регионов, таких как Кабардино-Балкарская Республика, на основе имеющегося научного и производственного потенциала.

Архитектура системы управления институциональными изменениями в регионе

Система управления региональной экономикой – это комплексная организационно-экономическая конструкция, объединяющая субъекты, объекты, цели, методы, инструменты и институты, обеспечивающие целенаправленное воздействие на социально-экономическое развитие территории [14].

В теории управления любая организация (и регион как особая территориальная организация) представляет собой открытую социально-экономическую систему, имеющую определенную целевую функцию, для реализации которой она существует. Открытость означает, что система обменивается с внешней средой ресурсами, энергией, информацией и не может существовать в изоляции. Социально-экономический характер подразумевает, что система включает как экономические компоненты (производство, распределение, обмен, потребление), так и социальные (люди с их потребностями, мотивами, институтами, культурой).

Структурно-функциональная схема системы управления институциональными изменениями в регионе, представлена на рис. 1.

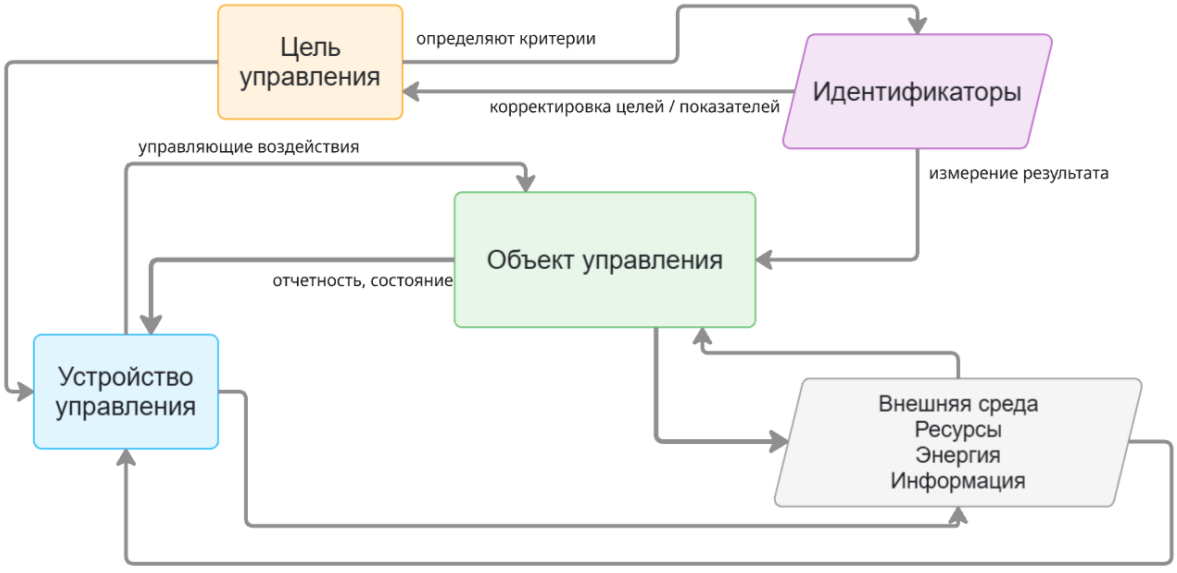


***Рис. 1**. Архитектура – системы управления региональной экономикой (разработана авторами)*

***Fig. 1**. Architecture of regional economic management system (developed by the authors)*

Система управления региональной экономикой разделяется на четыре базовых элемента:

– Цель управления – обеспечение устойчивого экономического роста, повышение качества жизни населения, сбалансированное развитие территории;

– Объект управления – региональная экономическая система (производство, инфраструктура, рынки, население, экология);

– Устройство управления – органы государственной власти региона, институты развития, механизмы государственно-частного партнерства;

– Идентификаторы – показатели экономического развития, социального благополучия, экологической безопасности, инновационной активности.

Эффективное функционирование описанной системы управления региональной экономикой невозможно без целенаправленного воздействия на факторы, дестабилизирующие социально-экономическое развитие. В этой связи ключевое значение приобретает управление институциональной устойчивостью – самостоятельное направление деятельности в системе государственного регулирования, нацеленное на разработку управленческих решений, обеспечивающих стабилизацию экономического развития. Объектом такого управления выступают процессы и явления, порождающие нестабильность, – факторы, которые в соответствии с теорией экономического анализа подразделяются на внешние и внутренние. Внешние факторы включают общеэкономические (спад производства, инфляция, нестабильность законодательства, снижение платежеспособного спроса), рыночные (сужение емкости внутреннего рынка, монополизм, колебания валютных курсов) и социально-политические (политическая нестабильность, криминогенная обстановка, дефицит квалифицированных кадров). Внутренние факторы связаны с производственной, инвестиционной, финансовой и организационно-управленческой сферой деятельности конкретных предприятий. Для российской экономики, как показывает практика, доминирующее негативное влияние оказывают именно внешние факторы – политическая и экономическая нестабильность, высокие инфляционные ожидания, несовершенство налоговой и кредитной политики, что существенно ограничивает эффективность внутрифирменных мер и требует активного вмешательства со стороны региональных органов власти.

Реагирование на выявленные угрозы строится на основе сочетания двух типов стратегий: защитной (резкое сокращение расходов, закрытие и распродажа подразделений, консервация мощностей) и наступательной (модернизация оборудования, внедрение новых технологий, поиск новых рынков сбыта, диверсификация производства). При этом управленческие функции – технологическая (адаптация технологий к региональным условиям), планово-прогнозная (определение перспектив развития), интегрирующая (стабилизация всех элементов рыночной инфраструктуры), защитная (противодействие негативным факторам), контрольно-информационная (выявление деформаций в хозяйственной деятельности) и социокультурная (развитие саморегулируемых институтов) – реализуются через последовательные этапы: оценку социально-экономических условий, диагностику отклонений и их причин, прогнозирование развития проблемных ситуаций, разработку и внедрение стабилизирующих программ, а также создание организационно-экономических стандартов деятельности на рынке. Количественная оценка влияния дестабилизирующих факторов осуществляется с помощью корреляционных моделей или экспертных методов, что позволяет ранжировать угрозы и своевременно принимать превентивные меры. Главная цель управления институциональной устойчивостью – стабилизация функ-

ционирования социально-экономической системы – достигается через опережающее воздействие на негативные процессы, сочетающее стратегические ориентиры и тактические инструменты. Таким образом, управление институциональной устойчивостью выступает неотъемлемым элементом общей системы управления регионом, обеспечивая согласование интересов хозяйствующих субъектов, региональных властей и общества в условиях трансформационной экономики [15].

В Кабардино-Балкарском научном центре РАН разрабатываются инновационные проекты в области интеллектуальных робототехнических систем, внедрение которых может способствовать росту эффективности экономических и социальных показателей. Примером является разработка мобильного сервисного робота-автомойщика, данный робот предназначен для бесконтактной мойки автомобиля в любом удобном месте без дополнительной инфраструктуры. В нем заложены ресурсосберегающие технологии, такие как регенерация использованной моющей жидкости для повторного применения.

Основные преимущества робота-автомойщика: не требует дополнительного оснащения; минимизирует затраты времени автовладельцев; сокращает затраты на содержание автомобиля; уменьшает экологическую нагрузку.

В мире насчитывается, по оценкам аналитиков, около 50–60 млн человек, владеющих автомобилями премиум-класса. Предположим, что каждый пятый (20 %) купит робота-автомойщика, что составит около 11 млн единиц. При стоимости робота-автомойщика 1 млн руб. объем рынка составит около 10 трлн руб. На рис. 2 представлен прогноз чистой прибыли от реализации роботов-автомойщиков на горизонте до 2040 года с учетом планируемых темпов выхода на рынок и операционных затрат.



***Рис. 2**. Прогнозный поток чистой прибыли от реализации (2025–2040)*

***Fig. 2**. Projected net profit flow from sales (2025–2040)*

Для внедрения высокотехнологичных разработок необходимо создавать типы преференции (табл. 3).

Таблица 3. Система преференций для создания инновационных разработок

Table 3. Incentive system for fostering innovative development in the region

Тип преференции	Примеры мер	Целевой эффект	Возможные риски	Привязка к KPI
Налоговые льготы	Уменьшение налоговой ставки на прибыль; освобождение от налога на имущество, земли, транспорта; инвестиционный налоговый вычет	Снижение издержек бизнеса; стимулирование реинвестиций	Недополучение доходов бюджета; риск злоупотреблений	Доля выручки от инновационной продукции 30 %; объем инвестиций в НИОКР 15 % выручки
Финансовая поддержка	Гранты; субсидии на НИОКР/оборудование/ сертификацию; льготные кредиты; софинансирование	Ускорение запуска проектов; снижение порога входа для стартапов	Нецелевое расходование; низкая возвратность	Количество патентов/ заявок; доля импортозамещающей продукции
Имущественная поддержка	Льготная аренда; земля за 1 рубль; размещение в технопарках/индустриальных парках	Сокращение капитальных затрат на старте; доступ к общей инфраструктуре	Перегрузка инфраструктуры; неравномерное распределение площадей	Загрузка площадей резидентами 85 %; доля резидентов с R&D-активностью 60 %
Административные меры	Единое окно; упрощение разрешительных процедур; сокращение сроков согласований	Сокращение времени на запуск проекта; снижение транзакционных издержек	Слабая координация ведомств; формальный подход	Среднее время получения разрешений – 30 дней; доля онлайн-услуг – 90 %
Поддержка кадров и экосистемы	Целевая подготовка кадров; совместные проекты вузов и бизнеса; центры трансфера технологий	Закрытие кадрового дефицита; ускорение коммерциализации разработок	Длительный срок подготовки кадров; слабая вовлеченность бизнеса	Количество выпускников по приоритетным специальностям; число лицензионных сделок вузов
Отраслевая специализация (кластеры)	Формирование кластеров по приоритетным направлениям; кооперация участников	Синергия участников; рост экспорта и локализации; обмен знаниями	Риск концентрации; зависимость от одной отрасли	Доля продукции кластера в ВРП; доля экспорта продукции кластера
Привязка льгот к результатам	Выдача льгот при достижении целевых показателей; мониторинг исполнения обязательств	Повышение эффективности бюджетных расходов; фокус на реальный результат	Сложность администрирования; риск занижения KPI	Выполнение плана по KPI 90 %; доля компаний, достигших KPI, 75 %

Внедрение системы управления региональным инновационным развитием имеет ряд положительных эффектов:

1. Экономические: увеличение валового регионального продукта; рост доли инновационной продукции в общем объеме производства; привлечение частных и венчурных инвестиций; создание высокотехнологичных производств; повышение производительности труда; диверсификация региональной экономики; рост налоговых поступлений в бюджет региона.

2. Социальные: создание новых высококвалифицированных рабочих мест; снижение оттока квалифицированных кадров (в т. ч. молодежи) из региона; повышение уровня образования и квалификации рабочей силы; улучшение качества жизни за счет внедрения инноваций в здравоохранении, образовании, ЖКХ; формирование инновационной культуры и предпринимательского мышления у населения.

3. Научно-технические: рост числа патентов и объектов интеллектуальной собственности; ускорение коммерциализации научных разработок; развитие научно-технической и опытно экспериментальной базы; трансфер передовых технологий в реальный сектор экономики и т.д.

Заключение

В статье рассмотрены особенности управления институциональными изменениями как фактора опережающего развития высокотехнологичных отраслей региона. На основе анализа теоретических подходов и зарубежного опыта выявлены пробелы в существующих моделях: недостаточная связь мер региональной поддержки с измеримыми результатами и слабая адаптация институциональных механизмов к региональным условиям.

Обосновано, что для опережающего развития высокотехнологичных отраслей необходима целенаправленная трансформация организационных структур, процессов и норм. Предложена авторская структурно-функциональная схема системы управления институциональными изменениями в регионе, включающая цель, объект, субъект и показатели эффективности.

Разработана система региональных преференций, увязанная с KPI. Она позволяет направлять поддержку на проекты, достигающие установленных показателей, и обеспечивает экономические, социальные и научно-технические эффекты.

Результаты исследования подтверждают, что институциональные изменения являются критическим условием опережающего развития высокотехнологичных отраслей региона. Технологии сами по себе не гарантируют успеха – ключевую роль играют институциональные условия: способность государства формулировать долгосрочную стратегию, координировать усилия науки и бизнеса, создавать стимулы для инноваций и инвестировать в человеческий капитал.

Выводы

На основе проведенного исследования можно сформулировать следующие ключевые выводы:

– Опережающее развитие требует трансформации экономики, основанной на инновациях и знаниях.

– Эффективна гибридная модель управления – сочетание государственного планирования и частной инициативы с учетом региональных компетенций.

– Архитектура управления должна включать цель, объект, субъект и показатели эффективности.

– Система региональных преференций результативна при привязке льгот к KPI.

– Регион обладает потенциалом коммерциализации наукоемких продуктов (на примере робота-автомойщика).

– Управление инновационным развитием дает синергетический эффект в экономической, социальной и научно-технической сферах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мельникова О. С.* Инновационные методы управления в регионах // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2013. № 1 [Электронный ресурс]. URL: https://ekonomika.snauka.ru/2013/01/1514 (дата обращения: 18.06.2026).

2. *Зубаревич Н. В.* Регионы России в конце 2023 г.: удалось ли преодолеть кризисный спад? // Вопросы теоретической экономики. 2024. № 1. С. 34–47. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2024_1_34_47

3. *Блануца В. И.* Пространственная диффузия нововведений: сфера неопределенности и сетевая модель // Региональные исследования. 2015. № 3(49). С. 4–12. EDN: VBLTHZ

4. *Блануца В. И.* Развертывание информационно-коммуникационной сети в производные территориальные структуры // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 165–173. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(165-173)

5. *Иванов П. М.* Устойчивое развитие: концепция, модель управления, стратегия: монография. Нальчик: Издательство М. и В. Котляровых, 2016. 236 с.

6. *Иванов П. М.* Алгоритмическая формула устойчивого регионального развития // Моделирование устойчивого регионального развития: материалы III Международной конференции, Нальчик, 07–11 сентября 2009 года. Часть 1. Нальчик: Кабардино-Балкарский научный центр РАН, 2009. С. 6–11. EDN: SAAJTX

7. *Блануца В. И.* Территориальная структура цифровой экономики России: предварительная делимитация «умных» городских агломераций и регионов // Пространственная экономика. 2018. № 2. С. 17–35. DOI: 10.14530/se.2018.2.017-035

8. *Мяснянкина О. В.* Путь к инновационному лидерству: опыт Южной Кореи // Регион: системы, экономика, управление. 2024. № 4(67). С. 134–141. DOI: 10.22394/1997-4469-2024-67-4-134-141

9. *Бердин А. Э., Бердина М. Ю.* Особые экономические зоны: теоретические аспекты создания и развития // Региональные проблемы преобразования экономики. 2020. № 11(121). С. 104–113. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-11-104-113

10. *Кирсанова Е. Г.* Создание кластеров как механизм реализации инновационной политики в Европейском союзе (на примере инновационных кластеров Германии) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26. № 1. С. 93–100. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-93-100. EDN: SWWURH

11. *Сеферян Л. А.* К вопросу о конкурентоспособности стран Юго-Восточной-Азии (на примере экономики Сингапура) // А-фактор: научные исследования и разработки (гуманитарные науки). 2022. № 3. С. 5. EDN: OJRSQY

12. *Захарова Т. В., Краковецкая И. В., Джан Х.* Эволюция развития Китая: необходимость перехода к инновационно-ориентированной модели экономики в условиях социальных и экологических ограничений // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 9. С. 134–139. EDN: STYKFN

13. *Носова Т. П., Кусая А. Е.* Стратегии улучшения эффективности деятельности участников финансового рынка // Кластерные инициативы в формировании прогрессивной структуры национальной экономики и финансов: сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции с международным участием, Курск, 07 апреля 2026 года. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2026. С. 245–249. EDN: AKPTTO

14. *Воробьева Д. А., Кириченко И. В.* Финляндия: инструменты инновационной политики в условиях кризиса национальной инновационной системы // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8. № 4(32). С. 544–553. DOI: 10.18184/2079-4665.2017.8.4.544-553. EDN: ZWTESV

15. *Иванова Е. В.* Система управления институциональной устойчивостью социально-экономического развития региона // Современные технологии управления. 2012. № 4(16). С. 14–19. EDN: OYJJMV

16. *Koshelev E., Koshelev E., Dimopoulos T., Mazzucchelli E.S.* Development of innovative industrial cluster strategy using compound real options // Sustainable Development and Engineering Economics. 2021. No. 2(2). Pp. 80–97. DOI: 10.48554/SDEE.2021.2.5. EDN: VLNRKE

17. *Куликов М. М.* Территории опережающего развития и особые экономические зоны в региональной промышленной политике: опыт США, Китая, России // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2026. № 15(1). С. 72–80. DOI: 10.24412/2225-8264- 2026-1-1069

REFERENCES

1. Melnikova O.S. Innovative management methods in regions. *Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tekhnologiy* [Economics and Management of Innovative Technologies]. 2013. No. 1. available at: https://ekonomika.snauka.ru/2013/01/1514 (accessed: 18.06.2026). (In Russian)

2. Zubarevich N.V. Regions of Russia at the end of 2023: was it possible to overcome the crisis decline? *Issues of Economic Theory.* 2024. No. 1. Pp. 34–47. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2024_1_34_47. (In Russian)

3. Blanutsa V.I. Spatial diffusion of innovations: the sphere of uncertainty and the network model. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2015. No. 3(49). Pp. 4–12. EDN: VBLTHZ. (In Russian)

4. Blanutsa V.I. Deployment of information and communication network into derivative territorial structures. *Geography and Natural Resources.* 2017. Vol. 38. No. 2. Pp. 173–1803. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(165-173). (In Russian)

5. Ivanov P.M. *Ustoychivoye razvitiye: kontseptsiya, model' upravleniya, strategiya* [Sustainable development: concept, management model, strategy: monograph]. Nalchik: Izdatel'stvo M. i V. Kotlyarovyh, 2016. P. 236. (In Russian)

6. Ivanov P.M. Algorithmic formula for sustainable regional development. *Modelirovanie ustojchivogo regional'nogo razvitiya: materialy III Mezhdunarodnoj konferencii, Nal'chik, 07–11 sentyabrya 2009 goda.* [Modeling of sustainable regional development: Proceedings of the III International Conference, Nalchik, September 7–11, 2009]. 2009. Vol. 1. Pp. 6–11. EDN: SAAJTX. (In Russian)

7. Blanutsa V.I. Territorial structure of digital economy of russia: preliminary delimitation of ‘smart’ urban agglomerations and regions. *Spatial Economics*. 2018. No. 2. Pp. 17–35. DOI: 10.14530/se.2018.2.017-035. (In Russian)

8. Myasnyankina O.V. The path to innovative leadership: the experience of South Korea. Region: sistemy, ekonomika, upravlenie [Region: Systems, Economy, Management.]. 2024. No. 4(67). Pp. 134–141. DOI: 10.22394/1997-4469-2024-67-4-134-141. (In Russian)

9. Berdin A.E., Berdina M.Yu. Special economic zones: theoretical aspects of creation and development. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional problems of economic transformation]. 2020. No. 11(121). Pp. 104–113. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-11-104-113. (In Russian)

10. Kirsanova E.G. Creation of clusters as a mechanism for implementing innovation policy in the European Union (using the example of innovative clusters in Germany). *Transbaikal State University Journal*. 2020. Vol. 26. No. 1. Pp. 93–100. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-93-100. (In Russian)

11. Seferyan L.A. On the issue of competitiveness of the countries of Southeast Asia (using the example of the economy of Singapore). *A-faktor: nauchnye issledovaniya i razrabotki (gumanitarnye nauki)* [A-factor: research and development (humanities)]. 2022. No. 3. P 5. EDN: OJRSQY. (In Russian)

12. Zakharova T.V., Krakovetskaya I.V., Zhang H. Evolution of China's development: the need to transition to an innovation-oriented economic model in the context of social and environmental constraints. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk* [Current Issues in the Humanities and Natural Sciences]. 2014. No. 9. Pp. 134–139. EDN: STYKFN. (In Russian)

13. Nosova T.P., Kusaya A.E. Strategies for improving the efficiency of financial market participants. *Klasternye iniciativy v formirovanii progressivnoj struktury nacional'noj ekonomiki i finansov: sbornik nauchnyh statej 9-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* Kursk: ZAO “Universitetskaya kniga”, Organizacia, 2026. Pp. 245–249. EDN: AKPTTO. (In Russian)

14. Vorobyeva D.A., Kirichenko I.V. Finland: instruments of innovation policy in the context of the crisis of the national innovation system. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2017. Vol. 8. No. 4(32). Pp. 544–553. DOI: 10.18184/2079-4665.2017.8.4.544-553. (In Russian)

15. Ivanova E.V. Management system of institutional sustainability of the socio-economic development of the region. *Modern Management Technology*. 2012. No. 4(16). Pp. 14–19. EDN: OYJJMV. (In Russian)

16. Koshelev E., Koshelev E., Dimopoulos T., Mazzucchelli E.S. Development of innovative industrial cluster strategy using compound real options. *Sustainable Development and Engineering Economics*. 2021. No. 2(2). Pp. 80–97. DOI: 10.48554/SDEE.2021.2.5

17. Kulikov M.M. Territories of advanced development and special economic zones in regional industrial policy: the experience of the USA, China, and Russia. *Vestnik Sibirskogo Instituta Biznesa i Informatsionnykh Tekhnologii*. 2026. No. 15(11). Pp. 72–80. DOI: 10.24412/2225-8264-2026-1-1069. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КБНЦ РАН, тема «Разработка механизмов управления устойчивым развитием региона на основе мультиагентного моделирования процессов опережающего формирования отрасли производства интеллектуальных систем и робототехнических комплексов» (№ 125032604487-6).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment for the KBNC RAS of research "Development of mechanisms for managing regional sustainable development based on multi-agent modeling of processes for the proactive formation of intelligent systems and robotic complexes manufacturing sector" (No. 125032604487-6).

Информация об авторах

Загазежева Оксана Зауровна, канд. эконом. наук, зав. Инжиниринговым центром, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-код: 3223-6780

Край Карина Фаезовна, науч. сотр., зав. лаб. «Модели и методы развития и внедрения инновационных проектов» Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-код: 5967-0267

Information about the authors

Oksana Z. Zagazezheva, Candidate of Economic Sciences, Head of the Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-code: 3223-6780

Karina F. Krai, Researcher, Head of the laboratory "Models and Methods for the Developing and Implementation of Innovative Projects", Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-code: 5967-0267

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 330.34 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-379-396
VHIIOY

Рынок искусственного интеллекта и интеллектуальной робототехники: тенденции, прогнозы и региональная практика (на примере Северо-Кавказского федерального округа)

О. З. Загазежева, К. Ф. Край✉, С. Х. Шалова

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В данной работе исследуются тенденции, долгосрочные перспективы и региональная практика развития мирового и российского рынков искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных робототехнических комплексов (ИРК). Актуальность исследования обусловлена необходимостью формирования научно обоснованной информационно-аналитической базы для стратегического планирования в условиях ускоренной цифровой трансформации, санкционных ограничений и дефицита долгосрочных прогнозов развития отечественного рынка ИИ и ИРК с учетом региональной специфики. Новизна работы заключается в комплексном подходе, объединяющем двухпериодную мультипликативную модель сложного процента с переменной во времени ставкой для прогнозирования объемов рынков ИИ и ИРК до 2035 года и анализ региональной практики внедрения указанных технологий в субъектах Северо-Кавказского федерального округа (СКФО). Систематизированы прикладные кейсы цифровой трансформации в здравоохранении, государственном управлении, видеоаналитике и агропромышленном комплексе макрорегиона с учетом инфраструктурных и кадровых ограничений.

Цель исследования – комплексный анализ текущего состояния, ключевых драйверов и долгосрочных перспектив развития мирового и российского рынков искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных робототехнических комплексов, а также определение специфики их практического внедрения в отраслях экономики и социальной сферы регионов Северо-Кавказского федерального округа.

Материалы и методы исследования. Эмпирическую базу составили официальная статистика, отраслевые отчеты и практические кейсы внедрения ИИ-технологий в субъектах СКФО. Методология основана на системном, сравнительном и структурно-функциональном анализе. Для прогнозирования до 2035 года применены методы экономико-математического моделирования (расчет базового среднегодового темпа роста (CAGR) и экстраполяция по сложному проценту), а для оценки региональной специфики – метод case-study.

Результаты. В работе представлены комплексный анализ и долгосрочный прогноз развития рынка робототехники и искусственного интеллекта с фокусом на специфику Северо-Кавказского федерального округа. На основе имеющихся данных по российскому рынку за 2025–2030 гг. и CAGR выполнена экстраполяция ключевых показателей на 10-летний горизонт (до 2035 года). Рассмотрены прикладные аспекты цифровой трансформации государственного управления, промышленного сектора, систем видеоаналитики и агропромышленного комплекса макрорегиона.

Выводы. Анализ показал, что внедрение систем ИИ и ИРК выступает базовым условием достижения технологического суверенитета. Успешная реализация этого потенциала в субъектах СКФО требует целенаправленного преодоления инфраструктурных ограничений и дефицита квалифицированных кадров с учетом региональной специфики.

© Загазежева О. З., Край К. Ф., Шалова С. Х., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальные робототехнические комплексы, рынок ИИ, прогнозирование, технологический суверенитет, цифровая трансформация, региональная экономика, Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО)

Поступила 07.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Загазежева О. З., Край К. Ф., Шалова С. Х. Рынок искусственного интеллекта и интеллектуальной робототехники: тенденции, прогнозы и региональная практика (на примере Северо-Кавказского федерального округа) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 379–396. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-379-396

JEL: 032 Original article

Artificial intelligence and intelligent robotics market: trends, forecasts, and regional practice (evidence from the North Caucasus Federal District)

O.Z. Zagazezheva, K.F. Krai✉, S.Kh. Shalova

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. This study examines the trends, long-term prospects, and regional practices shaping the development of global and Russian markets for artificial intelligence (AI) and intelligent robotic systems (IRS). The research stems from the need to establish a scientifically grounded analytical framework for strategic planning amidst rapid digital transformation and sanctions-related barriers, coupled with a lack of long-term forecasts for the domestic AI market that account for regional specifics. The scientific novelty lies in a comprehensive approach that combines a two-period multiplicative compound interest model featuring a time-varying rate to forecast market volumes through 2035 with an analysis of technology implementation across the constituent entities of the North Caucasus Federal District (NCFD). Practical cases of digital transformation in the macro-region's healthcare, public administration, video analytics, and agro-industrial sectors are systematized, taking into account infrastructure and workforce limitations

Aim. To provide a comprehensive analysis of the current state, key drivers, and long-term development prospects of the global and Russian markets for artificial intelligence and intelligent robotic systems, and to identify the specifics of their practical adoption within the socioeconomic sectors of the North Caucasus Federal District.

Materials and methods. The empirical basis of the study includes official statistics, industry reports, and case studies of AI technology adoption in the North Caucasus Federal District. The methodology rests on systemic, comparative, and structural-functional analysis. To generate forecasts through 2035, the paper applies economic-mathematical modeling through the baseline compound annual growth rate (CAGR) calculation and compound-interest extrapolation, while a targeted case-study approach serves to examine regional specifics.

Results. This paper offers a comprehensive analysis and long-term forecast of the artificial intelligence and intelligent robotics market, with a particular focus on the NCFD. Drawing on market data from the 2025–2030 period and CAGR, the study extrapolates key indicators over a 10-year horizon through 2035. It evaluates practical aspects of digital transformation within public administration, the industrial sector, video analytics systems, and the agro-industrial complex of the macroregion.

Conclusions. The analysis demonstrates that the deployment of AI and intelligent robotic systems (IRS) is a basic prerequisite for attaining technological sovereignty. The successful unlocking of this potential in the North Caucasus Federal District requires deliberate efforts to overcome infrastructure limitations and the shortage of qualified personnel, with due consideration for regional characteristics.

© Zagazezheva O.Z., Krai K.F., Shalova S.Kh., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Keywords: artificial intelligence, intelligent robotic complexes, AI market, forecasting, technological sovereignty, digital transformation, regional economy, North Caucasus Federal District (NCFD)

Submitted 07.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Zagazezheva O.Z., Krai K.F., Shalova S.Kh. Artificial intelligence and intelligent robotics market: trends, forecasts, and regional practice (evidence from the North Caucasus Federal District). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 379–396. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-379-396

Введение

Развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных робототехнических комплексов (ИРК) выступает ключевым фактором, определяющим глобальную технологическую конкурентоспособность государств и траекторию их социально-экономического развития. В соответствии с Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490[1], искусственный интеллект представляет собой «комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека».

Современный этап развития робототехники характеризуется формированием принципиально нового класса систем – интеллектуальных робототехнических комплексов, в которых искусственный интеллект, сетевые технологии, цифровое моделирование и адаптивные механизмы интегрируются в единую технологическую платформу. Такие системы способны не только выполнять заранее заданные операции, но и воспринимать окружающую среду, обучаться на основе данных, принимать решения в реальном времени и взаимодействовать с человеком в слабо структурированных условиях. Ключевыми технологиями, обеспечивающими развитие ИРК, выступают искусственный интеллект, сети 5G, цифровые двойники, интернет вещей, компьютерное зрение и мягкая (гибкая) робототехника [1].

Эволюция рынков ИИ и ИРК обусловлена комплексом фундаментальных факторов. С одной стороны, технологии искусственного интеллекта носят сквозной характер, пронизывая все отрасли экономики и сферы общественных отношений, что формирует принципиально новые направления деятельности хозяйствующих субъектов. Технология 5G обеспечивает высокую пропускную способность и низкую задержку передачи данных, позволяя управлять роботами дистанционно и использовать облачные вычислительные ресурсы. Искусственный интеллект лежит в основе восприятия, распознавания объектов, планирования, навигации, захвата и манипулирования предметами, а также принятия решений в условиях неопределенности. Цифровые двойники позволяют прогнозировать отказы и оптимизировать эксплуатацию оборудования, а мягкая робототехника повышает безопасность взаимодействия роботов с людьми и хрупкими объектами [1, 5].

Значимость развития ИИ и ИРК определяется их способностью повышать производительность труда, компенсировать дефицит рабочей силы, повышать безопасность в опасных средах и поддерживать устойчивое развитие. Робототехника становится инструментом решения социально значимых задач: помощь пожилым людям, мониторинг состояния

[1]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»). http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731

окружающей среды, автоматизация логистики и обеспечение непрерывности производства. Вместе с тем масштабное распространение технологий требует решения вопросов стандартизации, кибербезопасности, этики и подготовки кадров, способных работать в условиях ускоренной технологической трансформации [2].

Российская Федерация обладает значительным потенциалом для укрепления позиций в сфере разработки и применения ИИ. Этому способствуют высокий уровень базового физико-математического образования, сильная естественно-научная школа, компетенции в области моделирования и программирования, развитая информационно-коммуникационная инфраструктура, высокая степень проникновения сети Интернет и мобильной связи, а также постоянный рост профессионального сообщества специалистов по обработке данных. Вместе с тем согласно стратегическим прогнозам долгосрочного социально-экономического развития страны темпы внедрения конкурентоспособных технологий ИИ напрямую определяют скорость реализации приоритетных направлений научно-технологического прогресса, тогда как недостаточное развитие данных решений сопряжено с рисками экономического и технологического отставания.

Таким образом, анализ долгосрочных траекторий развития отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов опирается на комплексную оценку объемов, структуры, ключевых драйверов и барьеров роста.

С целью комплексного анализа текущего состояния, ключевых драйверов и долгосрочных перспектив развития мирового и российского рынков ИИ и ИРК, а также определения специфики их практического внедрения в отраслях экономики и социальной сферы регионов Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) в данной работе формируется надежная информационно-аналитическая база для обоснования стратегических приоритетов государственной политики и инвестиционных решений бизнеса.

Структура мирового и российского рынков ИИ-систем и ИРК

Структура мирового рынка ИИ-систем и ИРК

Рост мирового рынка искусственного интеллекта обусловлен цифровой трансформацией, расширением экосистем данных и потребностью отраслей в автоматизации и интеллектуальном принятии решений. Организации внедряют ИИ-решения для повышения операционной эффективности, снижения затрат и получения конкурентных преимуществ за счет предиктивной аналитики и анализа данных в реальном времени [3]. Ключевыми драйверами выступают внедрение генеративного и мультимодального ИИ в корпоративном секторе, масштабные инвестиции в ИИ-инфраструктуру и переход технологий от экспериментального использования к базовой бизнес-инфраструктуре. Рынок оказывает существенное влияние на смежные области – автомобильный ИИ, рынок чипов, здравоохранение, розничную торговлю и цепочки поставок[2].

Мировой рынок ИИ характеризуется высокой степенью сегментации и быстрым технологическим обновлением. В его структуре выделяются решения на основе машинного обучения, компьютерного зрения, обработки естественного языка, генеративного и агентного ИИ, а также аппаратные компоненты – процессоры, ускорители и сенсорные системы.

[2] Artificial Intelligence Market (2026–2033). URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market

Интеллектуальные роботы представляют собой передовые машины, объединяющие искусственный интеллект, машинное и глубокое обучение для автономного выполнения сложных задач и адаптации к динамично меняющимся условиям. Их ключевые возможности включают автономную навигацию, распознавание и манипулирование объектами, обработку естественного языка, предиктивное обслуживание оборудования и взаимодействие с человеком через коллаборативных роботов (коботов) [5].

Анализ мирового рынка ИРК целесообразно проводить по четырем срезам: компоненты, технологии, типы роботов и отрасли применения. В разрезе компонентов доминирует аппаратное обеспечение – датчики (камеры, LiDAR, ультразвуковые сенсоры), процессоры и исполнительные механизмы; программное обеспечение является наиболее динамично развивающимся сегментом, обеспечивая алгоритмы восприятия, обучения и принятия решений. В технологическом разрезе лидирует машинное обучение, далее следуют обработка естественного языка, компьютерное зрение и контекстная аналитика[3].

По типам роботов наибольшую долю занимают промышленные роботы, применяемые для сборки, сварки, обработки материалов и контроля качества. Сервисные роботы демонстрируют высокие темпы роста в здравоохранении, логистике, гостиничном бизнесе, ритейле и бытовом обслуживании [7]. По признаку мобильности преобладают стационарные роботы, востребованные в задачах, требующих высокой точности, однако растет значение мобильных и автономных платформ.

Высокоэффективная автоматизация и формирование киберфизических систем невозможны без развития базовых технологий: нейросетей и ИИ, обеспечивающих решение нестандартных задач; технического зрения и сенсоров для интерпретации обстановки; бортовых вычислительных систем и аппаратных ускорителей (GPU, ASIC, FPGA) для сложных расчетов, а также систем управления и взаимодействия для разработки алгоритмов управления и захватов [4, 6]. Интеграция технологий интернета вещей (IoT) с ИИ-роботами открывает значительные рыночные возможности. Подключение ИИ-роботов к распределенным сетям позволяет собирать данные в реальном времени и адаптироваться к изменяющимся условиям. В условиях «умного» производства это обеспечивает взаимодействие роботов с другими машинами и системами, оптимизацию процессов и сокращение времени простоев; развитие «умных» городов создает дополнительные возможности для ИРК в сфере мониторинга, технического обслуживания и городской логистики[4]. Применение ИИ и IoT в маркетинге также повышает эффективность кампаний за счет анализа потребительских данных, персонализации сообщений, автоматизации сегментации аудитории и оценки результативности стратегий [8].

Таким образом, структура мирового рынка ИИ и ИРК носит многоуровневый характер. Для наглядного представления данной структуры авторами разработана схема (рис. 1), систематизирующая основные элементы рынка и взаимосвязи между ними.

[3] Artificial Intelligence (AI) Robots Market. URL: https://www.marketresearch.com/Global-Insight-Services-v4248/Artificial-Intelligence-AI-Robots-44093010/

[4] Artificial Intelligence Robots Market Size, Share & Industry Analysis URL: https://www.fortunebusinessinsights.com/artificial-intelligence-robots-market-111519

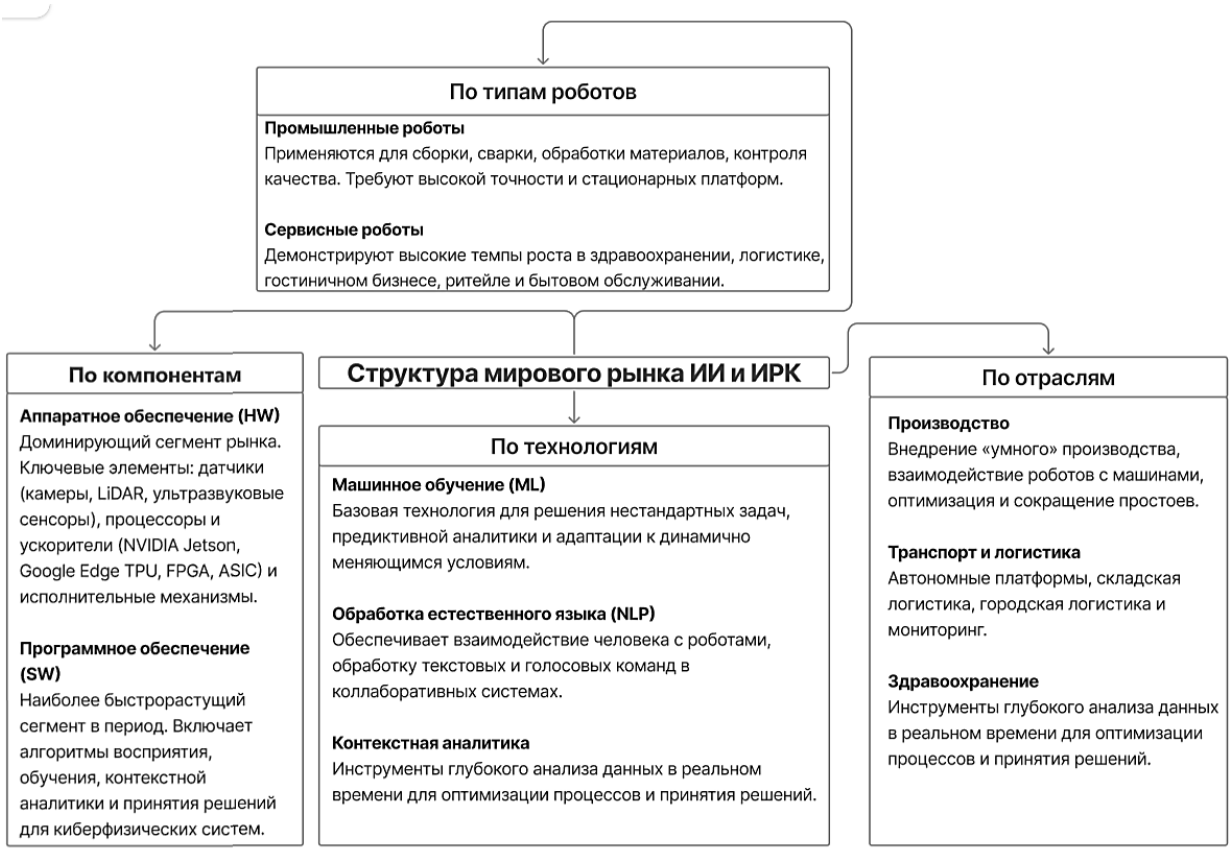


***Рис. 1**. Структура мирового рынка ИИ и ИРК (составлена авторами)*

***Fig. 1**. Structure of the global AI and intelligent robotics market (compiled by the authors)*

Структура российского рынка ИИ-систем и ИРК

Российский рынок искусственного интеллекта и интеллектуальной робототехники развивается в специфических условиях: высокий внутренний спрос на автоматизацию сочетается с ограниченным доступом к передовым зарубежным технологиям из-за санкционных ограничений[5]. Несмотря на это рынок демонстрирует устойчивую положительную динамику, хотя его доля в глобальном масштабе остается незначительной. Ключевым фактором роста являются промышленная автоматизация и интеграция ИИ: российские компании все чаще применяют машинное обучение, компьютерное зрение и IoT для разработки интеллектуальных роботов, способных принимать решения в режиме реального времени [10].

Структура рынка ИИ включает несколько ключевых сегментов, различающихся по типу технологий и характеру решаемых задач. Наиболее значимым направлением остается анализ данных, который применяется для прогнозирования спроса, выявления мошеннических операций (антифрод), финансовой аналитики и оптимизации бизнес-процессов. Этот сегмент постепенно перестает рассматриваться как отдельный продукт, поскольку аналитические функции встраиваются в большинство современных ИИ-решений [11].

Сегмент ИИ и машинного обучения охватывает аппаратное обеспечение (процессоры, GPU/TPU, периферийные устройства), программное обеспечение (ML-платформы, аналитическое ПО и инструменты разработки) и профильные услуги (AI-консалтинг и интеграцию), а также локальные (on-premise), облачные и гибридные модели развертывания. Вто-

[5]Искусственный интеллект (рынок России) URL: https://www.tadviser.ru/index.php/

рым по значимости сегментом является обработка естественного языка (NLP – Natural Language Processing), включающая технологии анализа и генерации текстов, распознавания речи, работу чат-ботов, голосовых помощников и систем автоматической обработки документов. NLP-решения широко используются в клиентской поддержке, маркетинге, кадровых сервисах и аналитике отзывов. Быстро растущим направлением является компьютерное зрение (CV – Computer Vision), применяемое для автоматизации визуального контроля качества на производстве, видеоаналитики, систем безопасности, а также оптимизации процессов в логистике, ритейле и городской инфраструктуре.

Отдельным сегментом выступают ИИ-агенты[6] – автономные системы, способные самостоятельно планировать последовательность действий, выполнять многошаговые задачи без участия человека, интегрироваться с корпоративными системами, базами данных и внешними API, а также принимать решения для достижения поставленной цели. Данный сегмент сформировался относительно недавно и демонстрирует высокие темпы роста[7].

По типу продуктов и услуг рынок ИИ включает готовые приложения для конкретных задач, платформы для разработки и обучения моделей[8], облачные и вычислительные сервисы, а также ИИ-устройства. Сервисный сегмент охватывает кастомную разработку, интеграцию ИИ-решений в ИТ-инфраструктуру компаний, консалтинг по внедрению, разметку и подготовку данных, а также обучение специалистов. Значительная часть бывших аналитических и NLP-проектов теперь реализуется в рамках сервисного сегмента, что отражает переход компаний от экспериментов к системному внедрению ИИ в бизнес-процессы. Структура рынка ИРК формируется под воздействием задач технологического суверенитета, импортозамещения компонентной базы и масштабного запроса со стороны ключевых отраслей промышленности на преодоление кадрового дефицита. В соответствии с данными Национальной ассоциации участников рынка робототехники (НАУРР) и Министерства промышленности и торговли РФ рынок структурируется по трем основным измерениям: типу оборудования и решений, технологическим компонентам и отраслевой специализации [9, 12]. По структуре продукции рынок делится на промышленную робототехнику, включающую шарнирные манипуляторы для автопрома, декартовые роботы для электроники и упаковки, SCARA-роботов (Selective Compliance Articulated Robot Arm – шарнирный манипулятор с избирательной податливостью)[9] для фармацевтики и пищевой промышленности, а также цилиндрические роботы для погрузочно-разгрузочных работ, и сервисную робототехнику, охватывающую персональные бытовые решения и профессиональные системы для медицины, логистики, сельского хозяйства, обороны и инфраструктуры. Географически центры робототехники сосредоточены в ключевых индустриальных регионах России. Центральный федеральный округ и Москва опираются на мощную научно-исследовательскую базу и государственные инициативы; Поволжский регион развивает робототехнику за счет автомобильной, аэрокосмической и машиностроительной отраслей [9], Уральский регион интегрирует роботов в горнодобывающую и металлургическую промышленность, Северо-Западный округ и Санкт-Петербург развиваются благодаря университетским исследованиям и международному сотрудничеству [9], Сибирский регион внедряет автоматизацию в энергетику и

[6]Искусственный интеллект в России – 2025 год: тренды и перспективы. https://ict.moscow/analytics/iskusstvennyi-intellekt-v-rossii-2025-trendy-i-perspektivy/?ysclid=muu6yk1yx774379534

[7]Отчет Индекс ИИ 2024 URL: https://ai.mipt.ru/news/tpost/bfn3g0m0p1-vishel-almanah-indeks-ii-2024 (дата обращения: 04.10.2026)

[8]RAI 2026 рынок искусственного интеллекта России: исследование AIANA. URL: https://aiana.ru/research/rai-2026-ru/?ysclid=muu70fjb14686416763

[9]SCARA-роботы https://robotics.yandex.ru/blogs/scara-roboti?ysclid=mumdtin32235405293

добывающий сектор. Эти рыночные характеристики указывают на динамичное развитие, обусловленное технологическими возможностями, экономическими потребностями и государственной поддержкой, отражая существующую промышленную и научную инфраструктуру России. Схема структуры российского рынка ИИ и ИРК представлена на рис. 2.

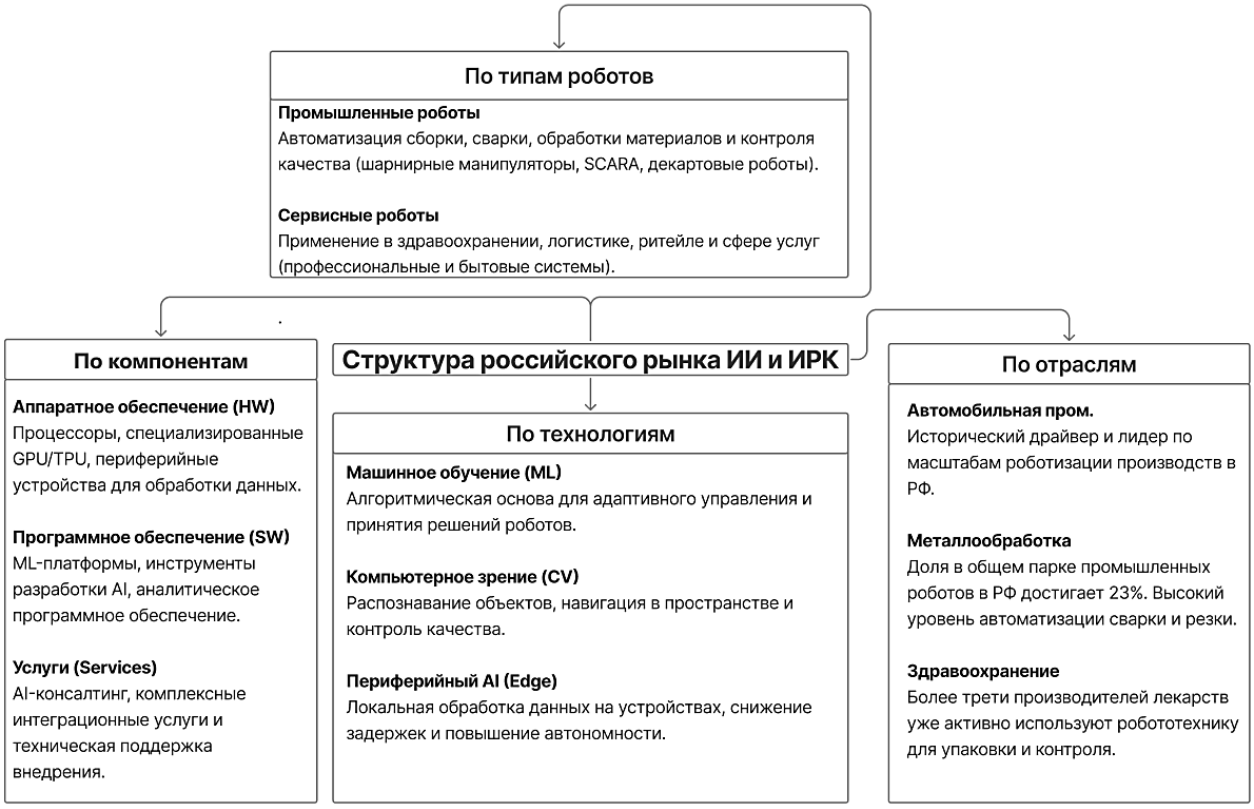


***Рис. 2**. Структура рынка ИИ и ИРК в РФ (разработана авторами)*

***Fig. 2**. Structure of the AI and intelligent robotics market in the Russian Federation (developed by the authors)*

Практика внедрения ИИ-технологий и ИРК в субъектах СКФО

Интеграция систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов в Северо-Кавказском федеральном округе представляет собой масштабный процесс цифровой трансформации, охватывающий ключевые сферы социально-экономического развития регионов. В основе этой динамики лежит внедрение передовых отечественных разработок в области компьютерного зрения, предиктивной аналитики, речевых технологий и интеллектуальной автоматизации управления, что позволяет качественно повысить эффективность медицинской диагностики, государственных услуг, городской инфраструктуры, агропромышленного комплекса и образовательной среды.

В сфере здравоохранения регионы СКФО демонстрируют высокую активность во внедрении цифровых помощников врача и систем анализа медицинских изображений. Интеллектуальные алгоритмы обработки рентгенограмм, компьютерной томографии[10] и

[10] Махачкалинские Известия. Общественно-политический еженедельник URL: https://midag.ru/v-dagestane-blagodarya-iskusstvennomu-intellektu-vremya-opisaniya-rentgen-snimkov-sokratilos-do-5-minut/

маммографии успешно развернуты в ведущих медицинских центрах и клиниках Дагестана[11], Ингушетии[12], Карачаево-Черкесии, Чеченской Республики и Ставропольского края. Внедрение таких решений, как анализ снимков на базе региональных диагностических центров, специализированные модули поддержки принятия врачебных решений («ТОП-3 диагнозов»)[13] и электронные клинические фармакологи, позволяет кратно сократить время первичной обработки данных, снизить нагрузку на медицинский персонал и минимизировать риски врачебных ошибок при постановке диагнозов. Анализ практики внедрения искусственного интеллекта в субъектах СКФО обнажает не только технологические эффекты, но и существенные нюансы финансово-экономического обоснования проектов. Ярким примером выступает проект развития Единой системы голосового обслуживания в Республике Ингушетия[14].

Значительные изменения происходят в секторе государственного управления[15], где на первый план выходит автоматизация взаимодействия с гражданами и оптимизация внутренних ведомственных процессов. На базе Ставропольского края и других субъектов округа при поддержке технологических лидеров активно внедряются ИИ-агенты и интеллектуальные чат-боты для контакт-центров и органов власти[16]. Эти инструменты обеспечивают круглосуточную обработку массовых запросов населения, сокращают время ожидания ответов и повышают общую прозрачность и оперативность предоставления государственных услуг.

Развитие городской среды и промышленного сектора округа сопровождается внедрением систем комплексной видеоаналитики[17] и интеллектуальной безопасности[18]. В Ставропольском крае развернуты комплексы распознавания лиц и мониторинга правопорядка, позволяющие в автоматическом режиме решать задачи общественной безопасности и оперативного контроля. Параллельно в реальном секторе экономики и агропромышленном комплексе СКФО внедряются элементы точного земледелия, беспилотный мониторинг земель и интеллектуальные системы управления логистикой, что способствует росту производительности труда и снижению издержек.

В научно-образовательной и гуманитарной сферах технологии искусственного интеллекта выступают драйвером сохранения и популяризации культурного наследия народов Северного Кавказа. Научно-исследовательские институты и университеты округа реализуют проекты по автоматизированной оцифровке, машинному переводу и семантическому анализу исторических текстов, памятников фольклора и эпосов. В школах и вузах

[11]ИИ проанализировал 9639 исследований в Дагестане URL https://yoldash.ru/news/ii-proanaliziroval-9639-issledovanij-v-dagestane/?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fdzen.ru%2Fnews%2Fsearch

[12]URL: https://tass.ru/sport/28145347

[13]Искусственный интеллект в здравоохранении Ингушетии: первые результаты цифровой трансформации URL: https://korsovet-yug.ru/regions-news/iskusstvennyy-intellekt-v-zdravookhranenii-ingushetii-pervye-rezultaty-tsifrovoy-transformatsii.html

[14]Ингушетия потратит миллионы на голосового помощника, который уже работает. URL: https://pravdakavkaza.com/page/news/6671/

[15]«Авантелеком» внедрил ИИ-помощника в контакт-центр Службы занятости населения Ставропольского края URL: https://gov.cnews.ru/news/line/2025-11-25_avantelekom_vnedril_ii-pomoshchnika?ysclid=mufueddo2392907454

[16]Госслужащие Ставрополья создали ИИ-агентов на образовательном интенсиве. https://stav.aif.ru/society/gossluzhashchie-stavropolya-sozdali-ii-agentov-na-obrazovatelnom-intensive. Подробнее: https://stavropol.media/news/2530994/?ysclid=mufv3cnh59381830035

[17]В Невинномысске внедрили ИИ для розыска людей URL: https://www.kommersant.ru/doc/8364308?ysclid=mufu5xlj6974506808

[18]Кабардино-Балкария внедряет ИИ для поиска преступников. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8335214

СКФО масштабируются цифровые образовательные платформы с элементами адаптивного обучения, формируя у молодежи необходимые компетенции в области работы с большими данными и современными технологиями. В Северо-Кавказском федеральном университете разработан учебный FPV-коптер (1,2 кг) для безопасного обучения операторов. Прочный модульный корпус выдерживает падение с высоты до 30 метров, а встроенный ИИ-модуль анализирует действия пилота в реальном времени и предотвращает аварии при ошибках новичков[19].

Особенности трансформации рынков ИИ и ИРК на примере субъектов Северо-Кавказского федерального округа (в частности, Кабардино-Балкарской Республики) обусловлены объективными факторами: сложным рельефом местности, разнообразием агроландшафтов, мелкоконтурностью участков и оттоком трудовых ресурсов из традиционных отраслей (овощеводство, садоводство). В ответ на эти вызовы региональные научные школы предлагают концептуальные решения по переходу к безлюдным и малолюдным технологиям. Как подчеркивают исследователи КБНЦ РАН [13, 14], в условиях природной изменчивости и дефицита оперативной информации классические методы ведения сельского хозяйства приводят к значительным потерям урожая. Разрабатываемая в республике интеллектуальная интегрированная система (ИИС) «Умное поле» объединяет распределенную гетерогенную сеть полевых станций на базе интернета вещей (IoT), беспилотные летательные аппараты и мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры принятия решений. Данный комплекс позволяет в режиме реального времени осуществлять мониторинг почвенно-климатических условий с учетом горного и предгорного рельефа КБР, прогнозировать производственные риски и автоматизировать управление исполнительными механизмами (агророботами и мобильной техникой), что способно увеличить производительность ключевых агрокультур региона (например, кукурузы) более чем на 50 % [15, 16].

Факторы, стимулирующие и ограничивающие развитие отрасли

Развитие искусственного интеллекта сопровождается серьезными рисками безопасности, связанными с потенциальной потерей контроля над автономными системами, ростом числа дипфейков (deepfake – технология создания поддельных изображений, видео или аудио с помощью искусственного интеллекта)[20], дезинформацией, алгоритмической предвзятостью, нарушением конфиденциальности и киберугрозами [17]. Масштабирование технологий сдерживается ресурсными ограничениями, связанными с острым дефицитом квалифицированных кадров, долгим циклом подготовки [18], аппаратными трудностями (включая санкции и импортозамещение в России, глобальный дефицит кремния и высокий уровень энергопотребления дата-центров), а также с нехваткой качественных верифицированных датасетов для обучения нейросетей [19]. Дополнительное давление на отрасль оказывают жесткие регуляторные барьеры и судебные иски крупных правообладателей (например, прецедент The New York Times против OpenAI)[21] из-за использования нелицензированного контента.

[19]На Ставрополье разработали "неубиваемый" беспилотник URL: https://rg.ru/2025/09/16/reg-skfo/na-stavropole-razrabotali-neubivaemyj-bespilotnik.html?ysclid=mufutjxp4y107773139&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.yandex.ru%2F

[20]Дипфейк, deepfake URL: https://encyclopedia.kaspersky.ru/glossary/deepfake/?ysclid=mumfd1p42196876816

[21]The Times Sues OpenAI and Microsoft Over A.I. Use of Copyrighted Work. URL: https://www.nytimes.com/2023/12/27/business/media/new-york-times-open-ai-microsoft-lawsuit.html?ysclid=mumfmp3o1j299535569

Факторы, определяющие динамику рынков ИИ и ИРК, классифицируются по происхождению (экономические, технологические, социальные, регуляторные, инфраструктурные) [10], уровню воздействия (макро-, мезо- и микроуровни) и функциональной направленности на драйверы и барьеры. Главными стимулами рыночного роста выступают роль ИИ как катализатора прорывных решений в промышленности и медицине, развитие систем интеллектуального управления, математическое моделирование и графы знаний.

В то же время масштабное распространение технологий тормозится высокими издержками на закупку оборудования, ПО и найм специалистов, что создает барьер для малого и среднего бизнеса, а также техническими сложностями вроде интеграции с устаревшими архитектурами, дефицита единых протоколов и высоких требований к энергопотреблению. Для преодоления этих преград индустрия переходит на модульное проектирование с поэтапными инвестициями, использует облачные ресурсы, периферийные вычисления (Edge AI), цифровые двойники и интеграцию с Интернетом вещей (IoT), обеспечивающую эффективное взаимодействие систем в реальном времени [6].

Российский и мировой рынок искусственного интеллекта и робототехники

Мировой рынок искусственного интеллекта в 2025 году оценивался в 390,9 млрд долл. США[22] (что по курсу 84 рубля за доллар эквивалентно 32 835,6 млрд рублей). Прогнозируется, что он вырастет с 1811,75 млрд долларов США[23] (154 754,8 млрд рублей) в 2030 году до 8 716,00 миллиардов долларов США[24] (741 034,3 млрд рублей) к 2035 году.

По данным Acumen Research and Consulting, в 2025 году объем мирового рынка роботов с ИИ составил 25 млрд долл. США (2 135,4 млрд рублей). По прогнозам исследовательской и консалтинговой организации Precedence Research, к 2030 г. объем мирового рынка роботов с искусственным интеллектом составит около 54,3 млрд долларов США[25] (4 638,16 млрд рублей) и достигнет 229,67 млрд долларов[26] (22 967 млрд рублей) к 2035 году.

Российский рынок искусственного интеллекта и интеллектуальной робототехники развивается в специфических условиях, характеризующихся высоким внутренним спросом на автоматизацию и одновременно ограниченным доступом к передовым зарубежным технологиям вследствие санкционных ограничений[27].

По итогам 2025 года объем российского рынка ИИ продемонстрировал рост на 29,7 %, составив 316,1 млрд руб.[28] и увеличившись в два раза за предшествующие два года. Несмотря на внешние ограничения отечественная индустрия сохраняет устойчивую положительную динамику, хотя ее доля в глобальном масштабе остается незначительной. В соответствии с оценками ассоциации AIANA прогнозируется увеличение объема рынка

[22] Artificial Intelligence Market. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/artificial-intelligence-ai-market

[23] Artificial Intelligence Market to Grow at 36.6% CAGR to Garner $1,811.75 Billion by 2030 – Grand View Research, Inc. URL: https://finance.yahoo.com/news/artificial-intelligence-market-grow-36-150100038.html

[24] Artificial Intelligence Market. URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/artificial-intelligence-market-1139

[25] Свыше $54 млрд составит рынок роботов с ИИ в 2030 году. URL: https://letaibe.media/news/svyshe-54-mlrd-sostavit-rynok-robotov-s-ii-v-2030-godu/

[26] Artificial Intelligence Robots Market Size, Forecast Report 2026 To 2035. URL: https://www.acumen-researchandconsulting.com/artificial-intelligence-robots-market

[27] Искусственный интеллект (рынок России). URL: https://www.tadviser.ru/index.php/

[28] Объем российского рынка ИИ превысил 316 млрд рублей по итогам 2025 года. URL: https://www.forbes.ru/tekhnologii/566354-ob-em-rossijskogo-rynka-ii-prevysil-316-mlrd-rublej-po-itogam-2025-goda

до 830 млрд руб.[29] к 2030 году с последующим масштабированием индустрии к 2035 году до 45,3 млрд долл. США[30] (порядка 3,85 трлн руб. по прогнозному курсу).

Российский рынок интеллектуальных робототехнических комплексов (ИРК) является составной частью более широкого рынка промышленной и сервисной робототехники. Объем рынка робототехники в России в 2025 году составил 30 млрд руб. К 2030 году, как ожидается, показатель достигнет 212 млрд руб.[31]

Поскольку экспертные прогнозы развития российского рынка ИРК до 2035 года в открытом доступе отсутствуют, авторы представили собственную оценку. Она базируется на данных исследования INDEXBOX, в которых приводится ежегодный прирост на уровне 6–9 % и прогнозируется двукратное увеличение объема рынка к 2035 году. Таким образом, учитывая прогнозируемую динамику, объем российского рынка ИРК к концу 2035 года составит порядка 424 млрд руб.

Прогнозные расчеты объемов рынков ИИ и ИРК

Представленные в данном разделе прогнозные расчеты и сценарные траектории разработаны для российского рынка ИИ и ИРК, методологической основой прогнозирования долгосрочной динамики объемов рынка ИИ и ИРК выступает двухпериодная мультипликативная модель сложного процента.

Среднегодовые темпы роста. Формула обратного расчета темпа роста CAGR (Compound Annual Growth Rate)[32] имеет вид[33]:

$$\mathrm{CAGR} = \left(\frac{Vn}{V0}\right)^{1/N} - 1,$$

где V0 – значение исследуемого параметра на начало периода расчетов, Vn – величина того же показателя к концу периода, N – количество временных интервалов, на которые разбит исследуемый период.

В условиях высокой макроэкономической неопределенности, санкционного давления и дискретного изменения параметров внешней среды (согласно подходу Е. М. Четыркина) [20, с. 42] применение единого среднегодового темпа роста CAGR на всем десятилетнем горизонте приводит к существенным погрешностям. Для устранения этого искажения прогнозный горизонт до 2035 года разделен на два самостоятельных этапа: первый период r_1 (2026–2030 гг.) и второй период r_2 (2031–2035 гг.).

На основе указанных объемов рынка ИИ и ИРК прогнозные показатели темпов роста (r_1 и r_2) рассчитываются по формуле CAGR с разбивкой по этапам.

[29] ИИ-рынок в России может вырасти до 830 млрд рублей к 2030 году. URL: https://adindex.ru/news/tendencies/2026/08/10/347886.phtml

[30] Sovereign AI Becomes Russia's New Technology Priority- Spherical Insights Analysis. URL: https://www.sphericalinsights.com/blogs/sovereign-ai-becomes-russia-s-new-technology-priority

[31] Объем рынка робототехники в России может вырасти к 2030 году до 212 млрд рублей URL: https://www.kommersant.ru/doc/8893936

[32] CAGR (Compound Annual Growth Rate). URL: https://etpinvest.ru/glossary/cagr/

[33] CAGR – показатель совокупного среднегодового темпа роста Compound Annual Growth Rate). https://xn----dtbhaacat8bfloi8h.xn--p1ai/index.php/CAGR

Для первого этапа (2026–2030 гг.) темп роста r_1 определяется как

$$r_1 = \left(\frac{V2030}{V2025}\right)^{1/5} - 1;$$

для второго этапа (2031–2035 гг.) как

$$r_2 = \left(\frac{V2035}{V2030}\right)^{1/5} - 1.$$

В качестве исходных данных используются значения объемов рынка из раздела «Российский и мировой рынок искусственного интеллекта и робототехники». Ниже приведены результаты подстановки: расчетные значения по сегментам ИИ:

Темп роста мирового рынка ИИ на 2030 год: $r_1 = (154754{,}8/32835{,}6)^{1/5} - 1 = 0{,}36$, или 36 %.

Темп роста мирового рынка ИИ на 2035 год: $r_2 = (741034{,}3/154754{,}8)^{1/5} - 1 = 0{,}37$, или 37 %.

Темп роста российского рынка ИИ на 2030 год: $r_1 = (830/316{,}1)^{1/5} - 1 = 0{,}21$, или 21 %.

Темп роста российского рынка ИИ на 2035 год: $r_2 = (3850/830)^{1/5} - 1 = 0{,}36$, или 36 %.

Расчетные значения по сегментам ИРК:

Темп роста мирового рынка ИРК на 2030 год: $r_1 = (4638{,}16 / 2135{,}4)^{1/5} - 1 = 0{,}17$, или 17 %.

Темп роста мирового рынка ИРК на 2035 год: $r_2 = (22967/ 4638{,}16)^{1/5} - 1 = 0{,}38$, или 38 %.

Темп роста российского рынка ИРК на 2030 год: $r_1 = (212 /30)^{1/5} - 1 = 0{,}48$, или 48 %.

Темп роста российского рынка ИРК на 2035 год: $r_2 = (424 / 212)^{1/5} - 1 = 0{,}15$, или 15 %.

Ниже в таблице 1 представлены итоговые количественные результаты прогнозирования темпов роста российского и мирового рынков ИИ и ИРК на горизонте до 2035 года.

Таблица 1. Расчет темпов роста (2026–2035 гг.)

Table 1. Growth rate calculations (2026–2035)

Рынок		Объем рынка 2025 г., млрд руб.	Объем рынка 2030 г., млрд руб.	Объем рынка 2035 г., млрд руб.	Темп роста r_1, %	Темп роста r_2, %
Мировой	ИИ	32 835,60	154 754,80	741 034,30	36	37
	ИРК	2 135,40	4 638,16	22 967,00	17	38
РФ	ИИ	316,1	830	3850	21	36
	ИРК	30	212	424	48	15

В соответствии с теоретическими положениями финансовой математики Е. М. Четыркина [20] динамичность рыночной среды исключает целесообразность использования фиксированной доходности. В связи с этим в рамках данного исследования применяется модель наращения сложных процентов с переменной во времени ставкой. При построении прогнозной траектории развития рынка до 2035 года нами сформирована двухэтапная структура доходности: на временном интервале с 2025 по 2030 год ожидаемая норма роста принимается константной и равной (r_1), тогда как на последующем этапе с 2031 по 2035 год параметр доходности фиксируется на уровне (r_2).

Для моделирования ежегодной динамики рынка используется универсальное рекуррентное уравнение сложных процентов [20]:

$$V_n = V_{n-1} \times (1 + r_t),$$

где V_n – объем целевого рынка в текущем году (n); V_{n-1} – объем рынка в предшествующем году; r_t – ставка прироста в соответствующем периоде.

Перейдем к конкретным границам прогнозирования, для первого периода уравнение принимает вид

$$V_{2030} = V_{2025} \times (1+r_1),$$

для второго периода

$$V_{2035} = V_{2030} \times (1+r_2).$$

Таким образом, в табл. 2 представлены расчеты прогноза развития мирового и российского рынков ИИ и ИРК в ежегодной динамике.

Таблица 2. Прогноз рынков искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов до 2035 года

Table 2. Artificial intelligence and intelligent robotics market forecast through 2035

Год	**Прогноз рынка ИИ, млрд руб.** (r_1 – 36 %, r_2 – 37 %)	**Прогноз рынка ИРК, млрд руб.** (r_1 – 17 %, r_2 – 38 %)	**Прогноз рынка ИИ, млрд руб.** (r_1 – 21 %, r_2 – 36 %)	**Прогноз рынка ИРК, млрд руб.** (r_1 – 48 %, r_2 –15 %)
2025	32 835,60	2 135,40	316,10	30,00
2026	44 771,82	2 493,75	383,42	44,36
2027	61 047,04	2 912,23	465,08	65,59
2028	83 238,54	3 400,94	564,13	96,97
2029	113 496,98	3 971,66	684,27	143,38
2030	154 754,80	4 638,16	830,00	212,00
2031	211 681,53	6 387,01	1 128,12	243,52
2032	289 548,82	8 795,27	1 533,31	279,74
2033	396 059,68	12 111,58	2 084,05	321,33
2034	541 750,69	16 678,33	2 832,59	369,11
2035	741 034,30	22 967,00	3 850,00	424,00

Несмотря на преобладание общего рынка искусственного интеллекта сегмент интеллектуальных робототехнических комплексов представляет собой критически важную точку притяжения для обеспечения технологического суверенитета страны. В частности, развитие робототехники специального назначения, включая автономные комплексы для сельского хозяйства и роботизированный сбор урожая, способно стать эффективным драйвером роста отечественного рынка аппаратных решений.

Для успешной реализации столь амбициозных прогнозов и преодоления разрыва с глобальными лидерами ключевое значение имеет прохождение всех этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Как показывает практика, коммерциализация разработок в области ИРК напрямую зависит от своевременного привлечения финансирования на ранних стадиях (через программы Фонда содействия инновациям и венчурные фонды) и последующего масштабирования бизнеса при поддержке институтов развития и индустриальных партнеров.

Реализация целевых показателей на горизонте до 2035 года будет зависеть от способности разработчиков интегрировать передовые алгоритмы ИИ в физические платформы, эффективно использовать инструменты государственной поддержки и формировать устойчивые кооперационные цепочки с реальным сектором экономики.

Заключение

В рамках исследования проведено комплексное аналитическое рассмотрение рынков искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов на национальном и глобальном уровнях. Анализ подтверждает, что данные направления выступают основными факторами технологического суверенитета, конкурентоспособности и эффективности ключевых отраслей экономики.

Изучение структуры рынков показало доминирование программного сектора при одновременном стратегическом значении аппаратных робототехнических комплексов для автоматизации производства и АПК. Прикладной опыт регионов продемонстрировал высокую эффективность цифровых решений в здравоохранении, государственном управлении и реальном секторе.

Применение двухпериодной мультипликативной модели прогнозирования позволило учесть макроэкономическую специфику и выявить устойчивый рост как мирового, так и российского рынков. Отечественный сектор развивается в русле глобальных тенденций, демонстрируя высокий потенциал адаптации и импортозамещения.

Для реализации стратегических ориентиров необходимы преодоление кадровых и технологических барьеров, стимулирование полного цикла научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, укрепление кооперации науки с бизнесом и расширение инструментов государственной поддержки.

Представленные в работе материалы формируют надежную основу для принятия управленческих и инвестиционных решений в сфере цифровой трансформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Molfino R., Cepolina E., Cepolina E. M., Cepolina S.* Robots trends and megatrends. Industrial Robot: the international journal of robotics research and application. 2024. No. 51(1). Pp. 117–124. DOI: 10.1108/IR-05-2023-0095

2. Statement on artificial intelligence, robotics and "autonomous" systems. European Group on Ethics in Science and New Technologies. Brussels: European Commission. 2018. 18 p. URL: europa.eu (accessed: 04.10.2026).

3. *Фомина А. Н.* Проблемы и перспективы развития рынка искусственного интеллекта в России // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 2. С. 1051–1068. DOI: 10.18334/vinec.12.2.114607

4. *Cepolina E. M., Cepolina F.* Digital twin and robotics: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. Vol. 114. No. 7. Pp. 1937–1953. DOI: 10.1007/s00170-021-06979-5

5. *Soori M., Arezoo B., Dastres R.* Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. Cognitive Robotics. 2023. Vol. 3. Pp. 54–70. DOI: 10.1016/j.cogr.2023.04.001

6. *Незнамов А. В.* Правовые аспекты реализации Национальной стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). 2019. №12. С. 82–88. DOI: 10.17803/2311-5998.2019.64.12.082-088

7. *Баранов А. М., Сюй И.* Влияние искусственного интеллекта на рынок труда: теоретико-методологические аспекты // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2025. № 5(152). С. 122–127. EDN: QXUIAE

8. *Арашев М.* Цифровые технологии в маркетинге: интеграция искусственного интеллекта и интернета вещей для улучшения эффективности кампаний // Вестник науки. 2023. Т. 4. № 10(67). С. 37–40. EDN: MHXRRC

9. *Романов А. В.* Приоритетные направления роботизации обрабатывающей промышленности Российской Федерации // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2024. Т. 10 (76). № 4. С. 88–98. EDN: IUWBIH

10. *Загазежева О. З., Махошев А. А., Край К. Ф. и др.* Исследование развития и прогноз отечественного и мирового рынков систем искусственного интеллекта и интеллектуальных робототехнических комплексов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 314–328. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-314-328

11. *Буйчик Д. Д., Соленая О. Я.* Анализ состояния рынка искусственного интеллекта в России // Инновационное приборостроение. 2023. Т. 2. № 3. С. 41–47. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-3-41-47

12. *Фролов И. Э., Киселев В. Н.* Искусственный интеллект как драйвер прорывных технологий: глобальные тренды и уроки для России // Проблемы прогнозирования. 2025. № 3(210). С. 122–134. DOI: 10.47711/0868-6351-210-122-134

13. *Нагоев З. В., Шуганов В. М., Заммоев А. У. и др.* Разработка интеллектуальной интегрированной системы «Умное поле» // Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 1(225). С. 81–91. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-1-81-91

14. *Нагоев З. В., Шуганов В. М., Бжихатлов К. Ч. и др.* Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6(104). С. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165

15. *Ковалев Д. И., Астанакулов К. Д.* Обзорный анализ БПЛА сельскохозяйственного назначения // Информатика. Экономика. Управление. DOI: 10.47813/2782-5280-2024-3-4-0101-0127

16. *Степаненко К. Д.* Искусственный интеллект: анализ потенциальных угроз и преимуществ для человеческой цивилизации // Теория и практика современной науки. 2025. № 10(124). С. 60–63.

17. *Митяков С. Н., Лапаев Д. Н., Мурашова Н. А.* Анализ кадрового потенциала в сфере искусственного интеллекта в России // Лидерство и менеджмент. 2026. Т. 13. № 6. С. 971–994. DOI: 10.18334/lim.13.6.126063

18. *Глушак Н. В., Катков Ю. Н.* Технологический суверенитет и ловушка низкой плотности нейросетей: институциональные ограничения развития искусственного интеллекта в России // Экономика, предпринимательство и право. 2026. Т. 16. № 8. С. 5663–5680. DOI: 10.18334/epp.16.8.126535

19. *Srinivasan N., Kumarasamy P., Velraj S., Rajendran K.* Next-Generation Robotics: AI Innovations, Implementation Challenges, and Future Perspectives // European Journal of Computer Science and Information Technology. 2025. Vol. 13. No. 1. Pp. 33–44.

20. *Четыркин Е. М.* Финансовая математика: учебник для вузов. 10-е изд. М.: Дело, 2011. 392 с. ISBN: 978-5-7749-0570-6

REFERENCES

1. Molfino R., Cepolina E., Cepolina E.M., Cepolina S. *Robots trends and megatrends*. Industrial Robot: the international journal of robotics research and application. 2024. No. 51(1). Pp. 117–124. DOI: 10.1108/IR-05-2023-0095

2. Statement on artificial intelligence, robotics and "autonomous" systems. European Group on Ethics in Science and New Technologies. Brussels: European Commission. 2018. 18 p. URL: europa.eu (accessed: 04.10.2026)

3. Fomina A.N. Problems and prospects of the artificial intelligence market development in Russia. *Voprosi innovatsionnoi ekonomiki* [Russian Journal of Innovation Economics]. 2022. Vol. 12. No. 2. Pp. 1051–1068. DOI: 10.18334/vinec.12.2.114607. (In Russian)

4. Cepolina E.M., Cepolina F. Digital twin and robotics: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2021. Vol. 114. No. 7. Pp. 1937–1953. DOI: 10.1007/s00170-021-06979-5

5. Soori M., Arezoo B., Dastres R. Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*. 2023. Vol. 3. Pp. 54–70. DOI: 10.1016/j.cogr.2023.04.001

6. Neznamov A.V. Legal aspects of the implementation of the National Artificial Intelligence Development Strategy until 2030. *Courier of the Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*. 2019. No. 12. Pp. 82–88. DOI: 10.17803/2311-5998.2019.64.12.082-088. (In Russian)

7. Baranov A.M., Syui I. The impact of artificial intelligence on the labor market: theoretical and methodological aspects. *Proceedings of Francisk Skorina Gomel State University*. 2025. No. 5(152). Pp. 122–127. EDN: QXUIAE. (In Russian)

8. Arashev M. Digital technologies in marketing: integration of artificial intelligence & internet of things to improve campaign effectiveness. *Science Bulletin*. 2023. Vol. 4. No. 10(67). Pp. 37–40. EDN: MHXRRC. (In Russian)

9. Romanov A.V. Priority directions of robotization of the manufacturing industry in the Russian Federation. *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie* [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Economics and Management]. 2024. Vol. 10. No. 4. Pp. 88–98. EDN: IUWBIH. (In Russian)

10. Zagazezheva O.Z., Makhoshev A.A., Krai K.F. et al. Research on development and forecast of domestic and global markets for artificial intelligence systems and intelligent robotic complexes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 314–328. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-314-328. (In Russian)

11. Buichik D.D., Solenaya O.YA. The analysis of the state of the artificial intelligence market in Russia. *Innovative Instrumentation*. 2023. Vol. 2. No. 3. Pp. 41–47. DOI 10.31799/2949-0693-2023-3-41-47. (In Russian)

12. Frolov I.E., Kiselev V.N. Artificial intelligence as a driver of breakthrough technologies: global trends and lessons for Russia. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*. 2025. No. 3(210). Pp. 122–134. DOI: 10.47711/0868-6351-210-122-134. (In Russian)

13. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Zammoev A.U. et al. Development of intelligent integrated system for "Smart" agricultural production. *Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*. 2022. No. 1(225). Pp. 81–91. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-1-81-91. (In Russian)

14. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Bzhikhatlov K.Ch. et al. Prospects for increasing the productivity and efficiency of agricultural production with the use of an intelligent integrated environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of of RAS*. 2021. No. 6(104). Pp. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165. (In Russian)

15. Kovalev D.I., Astanakulov K.D. A review of agricultural UAVs. *Informatics. Economics. Management*. 2024. Vol. 3. No. 4. Pp. 0101–0127. DOI: 10.47813/2782-5280-2024-3-4-0101-0127. (In Russian)

16. Stepanenko K.D. Artificial intelligence: analysis of potential threats and advantages for human civilization. *Teoriya i praktika sovremennoi nauki* [Theory and Practice of Modern Science]. 2025. No. 10(124). Pp. 60–63. (In Russian)

17. Mityakov S.N., Lapaev D.N., Murashova N.A. (2026) Analysis of human resources potential in the field of artificial intelligence in Russia. *Leadership and Management*. 2026. Vol. 13. No. 6. Pp. 971–994. DOI: 10.18334/lim.13.6.126063. (In Russian)

18. Glushak N.V., Katkov Yu.N. Technological sovereignty and the low-density neural network trap: institutional constraints on AI development in Russia. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2026. Vol. 16. No. 8. Pp. 5663–5680. DOI: 10.18334/epp.16.8.126535. (In Russian)

19. Srinivasan N., Kumarasamy P., Velraj S., Rajendran K. Next-Generation Robotics: AI Innovations, Implementation Challenges, and Future Perspectives. *European Journal of Computer Science and Information Technology*. 2025. Vol. 13. No. 1. Pp. 33–44.

20. Chetyrkin E.M. *Finansovaya matematika* [Financial Mathematics]: a textbook for universities. 10th ed. Moscow: Delo, 2011. 392 p. ISBN: 978-5-7749-0570-6. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КБНЦ РАН, тема «Разработка механизмов управления устойчивым развитием региона на основе мультиагентного моделирования процессов опережающего формирования отрасли производства интеллектуальных систем и робототехнических комплексов» (№ 125032604487-6).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment for the KBNC RAS of research "Development of mechanisms for managing regional sustainable development based on multi-agent modeling of processes for the proactive formation of intelligent systems and robotic complexes manufacturing sector" (No. 125032604487-6).

Информация об авторах

Загазежева Оксана Зауровна, канд. эконом. наук, зав. Инжиниринговым центром, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-код: 3223-6780
Край Карина Фаезовна, науч. сотр., зав. лаб. «Модели и методы развития и внедрения инновационных проектов» Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-код: 5967-0267
Шалова Сатаней Хаутиевна, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360002, г. Нальчик Россия, ул. Балкарова, 2;
satanei@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2345-1309, SPIN-код: 2183-8224

Information about the authors

Oksana Z. Zagazezheva, Candidate of Economic Sciences, Head of the Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
oksmil.82@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-4234, SPIN-code: 3223-6780
Karina F. Krai, Researcher, Head of the laboratory "Models and Methods for the Developing and Implementation of Innovative Projects", Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-code: 5967-0267
Satanei Kh. Shalova, Researcher, Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
satanei@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2345-1309, SPIN-code: 2183-8224

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 338.46, 311.1 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-397-405
VYYEJW

Даунсайзинг: необходимость и особенности прикладного анализа

М. В. Карманов[1], И. А. Киселева[1, 2], В. И. Кузнецов[1], А. М. Трамова✉[1, 2]

[1]Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36
[2]Университет «Синергия»
129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1

Аннотация. Статья посвящена актуальным проблемам оценки даунсайзинга, под которым понимают уменьшение упаковки продукта (количества, массы, объема и т.п.) без изменения его цены. Авторы статьи обращают внимание на особенности его применения в технике, менеджменте и маркетинге.

Цель исследования – уточнить сущность даунсайзинга, дать рекомендации по формированию системы статистических показателей для его оценки.

Методология. Применяются методы теоретического исследования в форме обобщения, сравнения и специальных аналитических процедур.

Область применения полученных результатов. Материал может быть полезен при разработке маркетинговых стратегий, оценке даунсайзинга, подготовке правовой базы.

Результаты. В статье приводится обзор литературы, посвященный вопросам даунсайзинга. Даны подходы к оценке масштабов распространения этого своеобразного общественного явления (количественный аспект), а также обращено внимание на его взаимоотношения с действующим законодательством (качественный аспект).

Выводы. Проблемы оценки даунсайзинга в современном мире приобретают особую актуальность. Предлагается система индикаторов, включающая 3 раздела: показатели масштабов распространения даунсайзинга (число товаров, охваченных даунсайзингом, их удельный вес в общем перечне всех товаров в целом и с разбивкой по отдельным товарным группам); показатели размеров даунсайзинга (абсолютный и относительный размеры уменьшения упаковки товара относительно определенной базы сравнения); показатели последствий даунсайзинга (экономия производителей и потери потребителей товаров, связанные с уменьшением размеров упаковки, индикаторы опросов общественного мнения о ситуации, связанной с изменением рыночной конъюнктуры).

Ключевые слова: даунсайзинг, система индикаторов даунсайзинга, показатели масштабов распространения даунсайзинга, показатели последствий даунсайзинга

Поступила 15.05.2026, одобрена после рецензирования 03.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Карманов М. В., Киселева И. А., Кузнецов В. И., Трамова А. М. Даунсайзинг: необходимость и особенности прикладного анализа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 397–405. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-397-405

© Карманов М. В., Киселева И. А., Кузнецов В. И., Трамова А. М., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

JEL: C 81; D11; D91 Original article

Downsizing: necessity and features of applied analysis

M.V. Karmanov[1], I.A. Kiseleva[1, 2], V.I. Kuznetsov[1], A.M. Tramova[✉ 1, 2]

[1]Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia
[2]Synergy University
9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia

Abstract. This article addresses current issues in assessing downsizing, which refers to reducing a product's packaging (quantity, weight, volume, etc.) without changing its price. Additionally, the authors highlight the specifics of its application across diverse fields, including engineering, management, and marketing.

Aim. The study aims to clarify the essence of downsizing and provide recommendations for developing a system of statistical indicators for its assessment.

Methodology. Theoretical research methods were used in the form of generalization, comparison, and specialized analytical procedures.

Practical significance. The findings can be effectively applied to developing corporate marketing strategies, monitoring product downsizing, and establishing a relevant legal framework.

Results. This article provides a literature review on downsizing issues. The approaches to assessing the scale of this unique economic phenomenon (quantitative aspect) are presented, and its relationship with current legislation (qualitative aspect) is also highlighted.

Conclusions. The issues of assessing downsizing are becoming increasingly relevant in the modern world. A system of indicators is proposed, comprising three sections: indicators of the scale of downsizing expansion (the number of products covered by downsizing, their share in the total list of all products both as a whole and broken down by individual product groups); indicators of the size of downsizing (the absolute and relative size of product packaging reduction relative to a specific baseline); and indicators of the consequences of downsizing (manufacturers' savings and consumers' losses associated with the reduction in packaging size, as well as public opinion poll indicators regarding the changing market conditions).

Keywords*:* downsizing, downsizing indicator system, indicators of the scale of downsizing distribution, indicators of the consequences of downsizing

Submitted 15.05.2026, approved after reviewing 03.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Karmanov M.V., Kiseleva I.A., Kuznetsov V.I., Tramova A.M. Downsizing: necessity and features of applied analysis. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 397–405. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-397-405

В течение последнего десятилетия потребители продовольственных и непродовольственных товаров все чаще и чаще в реальных и виртуальных магазинах сталкиваются с тем фактом, что при покупке требующегося товара им приходится платить известную и устоявшуюся цену, но за меньшее количество, меньший вес, меньший объем и т.п. Это обстоятельство привело к возникновению и быстрому распространению новой и чрезвычайно интересной научно-практической дефиниции, которая получила название «даунсайзинг».

© Karmanov M.V., Kiseleva I.A., Kuznetsov V.I., Tramova A.M., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Правда, истины ради сразу следует оговориться, что применительно к тем или иным разнообразным сферам человеческой жизнедеятельности даунсайзинг быстро приобрел свои специфические черты или «оттенки», позволяющие акцентировать внимание на конкретных сторонах объекта исследования.

Например, в технике, в частности в автомобильной промышленности, под даунсайзингом подразумевается осознанное, целенаправленное уменьшение объема двигателя, которое стало активно распространяться в конце 90-х годов прошлого века немецкой автомобилестроительной компанией «Ауди» [1]. По существу, оно сводилось к попытке достижения такого положения, когда одни и те же выходные параметры мощности двигателя достигаются за счет его меньшего объема, что считается эффективным с самых различных точек зрения (оптимизация затрат, улучшение экологии и т.п.).

В менеджменте под даунсайзингом понимается совсем другое, а именно плановое сокращение числа рабочих мест, связанное с самыми различными причинами производственной необходимости (слияния и поглощения, внедрение новой техники и новых технологий, оптимизация организационной структуры и др.). Иными словами, рассматриваемый процесс проистекает из множества корпоративных, социально-экономических и прочих причин, вынуждающих «сжимать» количественные размеры используемого персонала [2].

В маркетинге даунсайзинг увязывается с тщательно продуманной стратегией перспективного развития, когда осуществляется уменьшение упаковки продукта (фактически количества, массы, объема и т.п.) без изменения его цены. Логика подобного действия достаточно очевидна и проста, а потому неплохо работает на практике. Потребители, привыкшие к тем или иным товарам, не всегда и не сразу обращают внимание на произошедшие изменения, акцентируя свое внимание в первую очередь на цене продукта. Это позволяет производителям осуществлять скрытое повышение цен [3]. Кроме того, потребитель может не заметить небольшое уменьшение веса, и этот факт не будет для него важным. Производитель же может получить заметную экономию, если эта продукция производится в большом количестве.

Существуют и некоторые другие подходы к определению даунсайзинга, связанные с предметной областью рассматриваемого понятия. Поэтому сразу оговоримся, что в рамках данной научной статьи речь пойдет о необходимости и особенностях прикладного анализа даунсайзинга исключительно в орбите маркетинговой деятельности, то есть без отношения к технике, персоналу и иным возможным вариантам практического использования обозначенной выше дефиниции.

Представляется, что особая актуальность прикладного анализа даунсайзинга именно в маркетинге, на наш взгляд, вытекает не из попытки рейтингования важности тех или иных сфер общественной жизнедеятельности, а из осознания того обстоятельства, что именно процесс приобретения все меньшей и меньшей части товара за одни и те же деньги касается подавляющей части населения и, к сожалению, касается в непрерывном формате. Ведь даунсайзинг каждый день затрагивает денежные интересы широких слоев населения, а поэтому объективно требует настоятельного поиска адекватных ответов на ряд взаимосвязанных вопросов, а именно:

1) Чем даунсайзинг отличается от других близких понятий, которые зачастую подаются как его синонимы?

2) Почему даунсайзинг получил столь широкое распространение на практике и как к нему относиться с юридической точки зрения?

3) Какие индикаторы могут быть привлечены для количественной оценки разнообразных параметров и последствий даунсайзинга в обществе?

Анализируя содержание даунсайзинга, никоим образом нельзя сбрасывать со счетов тот факт, что в отдельных случаях его косвенно и неумышленно сближают или даже отождествляют с такими явлениями, как несоответствие массы нетто продукта заявлен-

ной производителем величине и с шринкфляцией. Поэтому, с нашей точки зрения, крайне важно отдельно остановиться на различиях даунсайзинга и весьма похожих, но все же несколько иных понятий.

Начнем с первого, то есть с несоответствия того, что заявлено, и того, что есть на самом деле. Если производитель заявляет одну массу нетто того или иного продукта, а на самом деле после вскрытия упаковки там оказывается меньшая, то это обстоятельство вступает в прямое противоречие с действующим законодательством и прямо нарушает права потребителей. Даунсайзинг с этим не имеет ничего общего, так как представляет собой маркетинговую стратегию, которая находится в правовом поле и пока официально не запрещена.

Что касается шринкфляции, здесь ситуация намного сложнее. В специальной литературе встречается множество точек зрения, часть из которых вступают в противоречие друг другу. В общем виде их можно свести в две группы [4, 5]:

- шринкфляция и даунсайзинг – это одно и то же или почти одно и то же, либо даунсайзинг является частным случаем шринкфляции, а потому они представляют единый объект прикладных исследований, имеющий несколько различных граней;
- шринкфляция и даунсайзинг – это совсем не одно и то же, а потому их нужно разделять и выделять в качестве самостоятельных объектов прикладных исследований.

На указанные различия также накладывается тот момент, что даунсайзинг достаточно часто рассматривают сквозь призму его практически применяемых вариантов. А среди них, как минимум, выделяют [6]:

- даунсайзинг продукта (изменение объема продукта без изменения размера упаковки и цены товара);
- даунсайзинг упаковки (изменение размера упаковки и объема продукта при сохранении пропорций упаковки и дизайна).

В совокупности подобные хитросплетения понимания даунсайзинга как с позиций его соотношения с близкими и не совсем близкими понятиями, так и с позиций разновидностей его фактического проявления вынуждают говорить о том, что при проведении любых количественных измерений тех или иных параметров исследуемого объекта просто необходимо, не претендуя на истину в последней инстанции, по возможности четко и однозначно обозначать понимание содержания даунсайзинга. В противном случае обязательно будут возникать пресловутые коллизии, связанные с взаимными обвинениями в некомпетентности и разночтениями в реальном содержании происходящего.

Занимаясь прикладными исследованиями даунсайзинга, хочется того или нет, но придется остановиться на необходимости выяснения масштабов распространения столь своеобразного общественного явления (количественный аспект), а также на его взаимоотношениях с действующим законодательством (качественный аспект).

В первую очередь обратим внимание на простейший из обозначенных аспектов. Он заключается в том, что в последние годы даунсайзинг приобрел черты трансграничного, массового и динамичного процесса, читай тренда [7]. Трансграничность даунсайзинга сводится к тому, что он наблюдается не в одном месте и даже не в одной стране, а на широком пространстве всего земного шара, включая его различные географические части, континенты, развитые и развивающиеся государства и т.п. При этом трансграничность сочетается с массовым проникновением в самые различные сегменты социально-экономической деятельности, охватывая и продовольствие, и промышленные товары, и многое другое. Ну, а динамичность развития выступает уже особым дополнением, связанным с тем, что даунсайзинг не просто стремительно ворвался в жизнь самых широких слоев обывателей, а не останавливаясь, продолжает «покорять» все новые и новые вершины.

Получается, что даунсайзинг, видимо, – не спонтанный и далеко не случайный ход развития рыночных стратегий поведения, вызывающий на поверхность бытия две противоположные и непримиримые точки зрения, а именно: все же что это такое – маркетинговая необходимость или обман покупателей? [8].

Ответ на поставленный вопрос и сложен, и прост. Сложен он своей неоднозначностью, а прост тем, с чьей позиции смотреть. С позиции производителей даунсайзинг – это объективная стратегическая необходимость, инструмент адаптации к рыночным условиям, позволяющий достичь запланированного или уже имевшегося уровня прибыльности [9]. С позиции потребителей даунсайзинг – это эмоциональный стресс, связанный с необходимостью платить те же деньги за меньшую часть товара, фактически нечестный ход, скрывающийся за привычным внешним видом и невнимательностью к публичной информации на упаковке [10].

Совершенно очевидно, что подобные подходы носят непримиримый характер и вынуждают искать истину в качественном разрезе, то есть в правовом поле обозначенной дилеммы. А она на сегодняшний день такова: в маркетинге, как и в любой другой сфере деятельности, можно делать все, что не запрещено законом. Если в юридическом порядке не существует четко прописанных ограничений по даунсайзингу, то получается достаточно интересная картина. Производители, прибегая к приемам «сжатия» содержимого товара, остаются чистыми с точки зрения закона, так как любые разговоры про «честный литр», «честный килограмм» и т.п. носят риторический характер. А потребители просто должны внимательно читать официальную информацию на товарах и самостоятельно на основе расчетов делать выводы о том, что покупать выгодно, а что невыгодно. И уже совсем другое дело, что не все граждане, особенно лица пожилого возраста, способны в уме прикинуть, сколько реально стоит полный литр, полный килограмм и т.п. того или иного товара.

Иными словами, в контексте количественной оценки различных сторон даунсайзинга вольно или невольно придется принимать ту или иную сторону (производителей или потребителей), чтобы всесторонне охарактеризовать результаты и последствия столь сложного и неоднозначного общественного явления. При этом никоим образом нельзя будет забывать, что именно отсутствие законодательных ограничений или хотя бы более жестких границ для применения даунсайзинга и служит веским основанием для его тотального распространения в современном обществе.

Акцентируя внимание на вопросе: а какие именно индикаторы могут быть задействованы для количественной характеристики параметров даунсайзинга, требуется осознавать, что придется сразу определиться с подходом к решению стоящей задачи. В контексте уже озвученных выше возможностей имеется несколько альтернатив:

- версия производителей;
- версия потребителей;
- единая версия.

С нашей точки зрения, все версии носят равнозначный характер и не предполагают игнорирования интересов тех или иных участников рассматриваемого процесса. Однако совершенно очевидно, что при выборе показателей для измерения тех или иных параметров даунсайзинга производителей будут интересовать одни индикаторы (например, полученный результат в виде приращения выручки или прибыли), а потребителей – другие индикаторы (например, утраченный результат в виде размера недополученного товара). При этом в процессе формирования единой версии системы показателей первые две версии вполне могут войти в ее состав в ранге самостоятельных разделов.

Другим вариантом единой версии построения системы показателей даунсайзинга может послужить конструкция, ориентированная не на интересы производителей или потребителей, а на конкретные стороны исследуемого явления. Предположим, для этого вполне применима следующая трехзвенная схема (рис. 1).

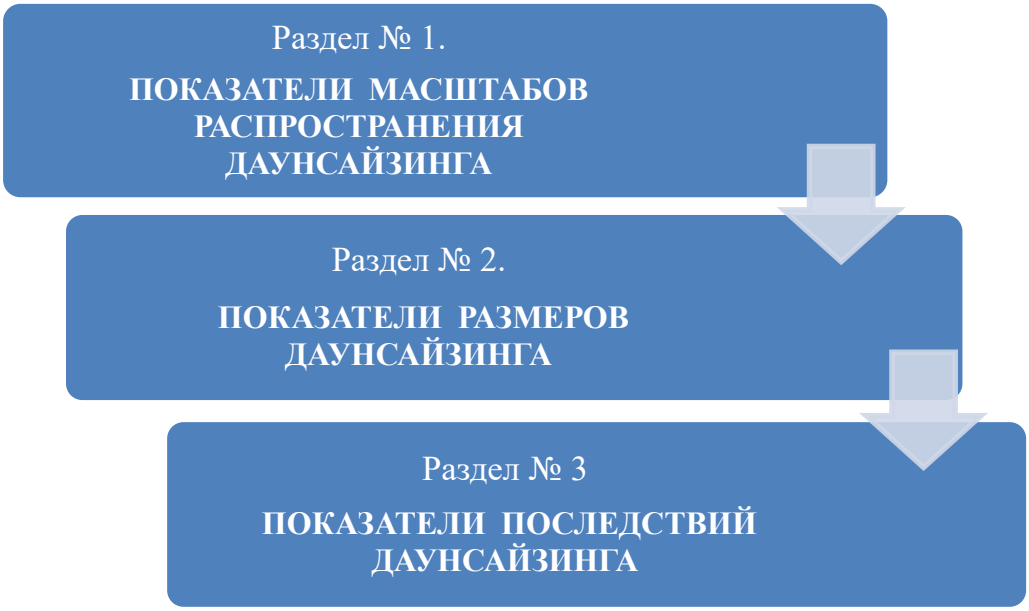


Рис. 1. *Система показателей статистики даунсайзинга*

Fig. 1*. Indicator system of downsizing statistics*

Конфигурация, представленная на рисунке 1, ориентирована на соблюдение строго определенной логики всесторонней количественной оценки даунсайзинга. Прежде всего крайне важно разобраться с масштабами его распространения, то есть проиллюстрировать, насколько тотальным является процесс «сжатия» упаковок тех или иных продуктов. Затем обязательно необходимо остановиться на самом размере «сжатия». То есть разобраться, насколько существенным является даунсайзинг по сравнению с начальной, общепринятой или ранее существовавшей упаковкой. И только после этого целесообразно переходить к измерению последствий даунсайзинга, которые при желании могут быть рассмотрены и с позиции производителей, и с позиции потребителей, и с позиции соблюдения законности, и с позиции вызываемого общественного резонанса. С нашей точки зрения, все эти аспекты вполне уживаются совместно в третьем разделе рассматриваемой системы показателей статистики даунсайзинга.

Если же говорить о наполнении каждого из трех разделов, обозначенных на рисунке 1, то следует отметить, что здесь еще предстоит кропотливая работа по отбору конкретных индикаторов, позволяющих решать практические задачи, вытекающие из логики прикладного исследования.

Например, в разделе показателей масштабов распространения даунсайзинга полезными могут оказаться индикаторы числа товаров, охваченных даунсайзингом, а также их удельный вес в общем перечне всех товаров в целом и с разбивкой по отдельным товарным группам. В разделе показателей размеров даунсайзинга, скорее всего, небезынтересными являются как абсолютный, так относительный размеры уменьшения упаковки товара относительно определенной базы сравнения. В разделе последствий даунсайзинга, видимо, придется увязывать между собой экономию производителей и потери потребителей товаров, связанные с уменьшением размеров упаковки, а также индикаторы опросов общественного мнения о ситуации, связанной с изменением рыночной конъюнктуры.

В целом самой главной особенностью даунсайзинга как объекта прикладного исследования, связанного с количественным измерением его важнейших параметров, на наш взгляд, выступает именно неоднозначный и противоречивый характер рассматриваемого общественного явления. С одной стороны, это инструмент маркетинговой деятельности, позво-

ляющий производителям товаров выжить в жестких условиях рынка, а с другой стороны, это первопричина дополнительного стресса потребителей, заставляющая их в лучшем случае тратить те же деньги за приобретение меньшей части товара. При этом количественная оценка даунсайзинга обязательно должна быть «очищена» от любых проявлений субъективизма, так как он не запрещен законом, и поэтому только комплексная статистическая характеристика социально-экономической ситуации, включая ключевые индикаторы рыночной конъюнктуры, способна определить истинные позитивные или негативные последствия, без преувеличения, сложнейшего феномена современного мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шаварин П. М., Смирнов А. С*. Даунсайзнг – будущее, которое вдруг стало прошлым. В сборнике: Наука в движении: от отражения к созданию реальности. Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / Под общей редакцией С. В. Юдиной. 2017. С. 183–186. EDN: YVZECZ

2. *Матиашвили В. М.* Даунсайзинг с человеческим лицом // Казанская наука. 2014. № 6. С. 239–244. EDN: SIZYGX

3. *Попова Т. С., Гречкин Е. И.* Шринкфляция и даунсайзинг как маркетинговые приемы воздействия на покупательское поведение // Практический маркетинг. 2023. № 9. С. 54–56. DOI: 10.24412/2071-3762-2023-9315-54-56

4. *Шелавина Е.* Инфляция, дефляция, шринкфляция? Даунсайзинг! // Переработка молока. 2019. № 7. С. 46–51. EDN: TLFNEA

5. *Иконникова С. Л.* Понятие даунсайзинг на примере потребительской корзины Челябинской области. В сборнике: Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей 22-й Международной научно-практической конференции. 2019. С. 124–126. EDN: VJAFQW

6. Электронный ресурс: https://retailwords.ru/teams/86?ysclid=m95jfu1c3t720686894 (дата обращения: 04.04.2025 г.).

7. *Симоненко О. С., Берлин С. И.* Даунсайзинг как тренд, или Почему мы платим больше за меньшее. В сборнике: Социально-экономическая система России: современные параметры устойчивости. Материалы региональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых / Под общей редакцией Э. В. Соболева, С. И. Берлина. 2017. С. 7–13. EDN: YAETSP

8. *Филимонова Ю. В.* Даунсайзинг – маркетинговая необходимость или обман покупателей? // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 333–334. EDN: SQJFJD

9. *Сорокина Ю. В., Кириченко Ю. Д.* Даунсайзинг как метод увеличения выручки организации: проблемы и возможности применения. В сборнике: Предпринимательство и инновации: путь к синергии. 2-я Всероссийская научно-практическая конференция (г. Шахты, 30 ноября 2018 года). Институт сферы обслуживания и предпринимательства, филиал ДГТУ. 2019. С. 37–39. EDN: FVOVGZ

10. Даунсайзинг по-русски: почему в магазинах трудно найти молоко в литровой упаковке? Электронный ресурс: http://versia.ru (дата обращения: 04.04.2015).

REFERENCES

1. Shavarin P.M., Smirnov A.S. Downsizing: A future that suddenly became the past. *Nauka v dvizhenii: ot otrazheniya k sozdaniyu real'nosti* [Science in Motion: From Reflecting to Creating Reality]. *Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Edited by S.V. Yudina. 2017. Pp. 183–186. EDN: YVZECZ. (In Russian)

2. Matiashvili V.M. Downsizing with a human face. *Kazanskaya nauka* [Kazan Science]. 2014. No. 6. Pp. 239–244. EDN: SIZYGX. (In Russian)

3. Popova T.S., Grechkin E.I. Shrinkflation and downsizing as marketing techniques of influence on consumer behavior. *Prakticheskiy marketing* [Practical Marketing]. 2023. No. 9. Pp. 54–56. DOI: 10.24412/2071-3762-2023-9315-54-56. (In Russian)

4. Shelavina E. Inflation, deflation, shrinkflation? Downsizing! *Pererabotka moloka* [Milk Processing]. 2019. No. 7. Pp. 46–51. EDN: TLFNEA. (In Russian)

5. Ikonnikova S.L. The concept of downsizing for example, the consumer basket of the Chelyabinsk Region. *Fundamental and applied research: current issues, developments and innovations*. *Collection of Papers from the 22nd International Scientific and Practical Conference*. 2019. Pp. 124–126. EDN: VJAFQW. (In Russian)

6. Electronic resource: https://retailwords.ru/teams/86?ysclid=m95jfu1c3t720686894 (Accessed: April 4, 2025). (In Russian)

7. Simonenko O.S., Berlin S.I. "Downsizing" as a trend or why we pay more for less. *Russia's Socio-Economic System: Modern Parameters of Sustainability. Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists*. Edited by E.V. Sobolev and S.I. Berlin. 2017. Pp. 7–13. EDN: YAETSP. (In Russian)

8. Filimonova Yu.V. Daunsing – marketing need or consumer deception? *Modern Technologies and Scientific and Technological Progress*. 2019. Vol. 1. Pp. 333–334. EDN: SQJFJD

9. Sorokina Yu.V., Kirichenko Yu.D. Downsizing as a method of increasing the earnings of the organization: problems and possibilities of application. *Entrepreneurship and Innovation: A Path to Synergy. 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference (Shakhty, November 30, 2018)*. Institut sfery obsluzhivaniya i predprinimatel'stva, filial DGTU, 2019. Pp. 37–39. EDN: FVOVGZ. (In Russian)

10. Downsizing, Russian-style: Why is it hard to find milk in one-liter cartons in stores? Online resource: http://versia.ru (accessed: 04/04/2015). (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Карманов Михаил Владимирович, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Karmanov.MV@rea.ru, SPIN-код: 9452-2999

Киселева Ирина Анатольевна, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры математических методов в экономике, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

профессор кафедры прикладной математики, Университет «Синергия»;

129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1;

Kia1962@list.ru, SPIN-код: 2213-2312

Кузнецов Владимир Иванович, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;
Kuznetsov.VI@rea.ru, SPIN-код: 9328-2911
Трамова Азиза Мухамадияевна, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;
профессор кафедры прикладной математики, Университет «Синергия»;
129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1;
Tramova.am@rea.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4089-6580, SPIN-код: 8583-3592

Information about the authors

Mikhail V. Karmanov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Statistics, Plekhanov Russian University of Economics;
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia;
Karmanov.MV@rea.ru, SPIN-code: 9452-2999
Irina A. Kiseleva, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Mathematical Methods in Economics, Plekhanov Russian University of Economics;
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia;
Professor of the Department of Applied Mathematics, Synergy University;
9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia;
Kia1962@list.ru, SPIN-code: 2213-2312
Vladimir I. Kuznetsov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Statistics, Plekhanov Russian University of Economics;
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia;
Kuznetsov.VI@rea.ru, SPIN-code: 9328-2911
Aziza M. Tramova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics;
36, Stremyannyy lane, Moscow, 115054, Russia;
Professor of the Department of Applied Mathematics, Synergy University;
9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia;
Tramova.am@rea.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4089-6580, SPIN-code: 8583-3592

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 330.34 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-406-421
WGGOEA

Искусственный интеллект и робототехника как факторы изменения качества жизни населения

К. Ф. Край✉, С. Х. Шалова

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена влиянием искусственного интеллекта и робототехники на качество жизни населения. Показана двойственная природа технологического прогресса: рост производительности, доступности услуг и снижение антропогенной нагрузки сочетаются с рисками сокращения занятости, цифрового неравенства и психоэмоционального напряжения. Систематизированы подходы к оценке качества жизни (Росстат, ВЦИОМ – Всероссийский центр изучения общественного мнения, ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития, ООН – Организация Объединенных Наций), выявлены их ограничения.

Цель исследования – анализ действующей системы показателей качества жизни населения и ее трансформации под воздействием искусственного интеллекта (ИИ) и робототехнических комплексов, а также разработка предложений по ее совершенствованию с учетом технологических факторов.

Материалы и методы исследования. Теоретико-методологическую основу составили концепции качества жизни и человеческого развития, подходы Росстата, ВЦИОМ, ОЭСР и ООН, исследования по цифровому неравенству и влиянию ИИ на рынок труда. Использованы сравнительный и системный анализ, обобщение статистических и социологических данных, кейс-анализ регионов СКФО.

Результаты. В работе показано, что существующие методики оценки качества жизни ориентированы на традиционные социально-экономические показатели и слабо учитывают технологические факторы. Обосновано, что цифровизация создает как новые возможности, так и риски – цифровое неравенство, дефицит компетенций, технологическую тревожность. Предложена система дополнительных индикаторов по пяти блокам: рынок труда и трансформация доходов, цифровое равенство и доступность услуг, компетенции и человеческий капитал, экологическая среда и социально-психологическое благополучие.

Выводы. Традиционных индикаторов качества жизни в условиях цифровизации недостаточно. Необходима интегральная оценка баланса возможностей и рисков цифровизации, учитывающая объективные, субъективные, цифровые и социально-психологические параметры. Внедрение предложенных показателей в региональную статистику повысит эффективность социально-экономической политики и устойчивость развития регионов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, робототехника, роботизация, автоматизация, качество жизни, человеческий капитал, устойчивое развитие, региональная экономика, цифровое неравенство, цифровая грамотность, социально-экономическое развитие

Поступила 04.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Край К. Ф., Шалова С. Х. Искусственный интеллект и робототехника как факторы изменения качества жизни населения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 406–421. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-406-421

© Край К. Ф., Шалова С. Х., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

JEL: 032 Original article

Artificial intelligence and robotics as drivers of change in the population's quality of life

K.F. Krai✉, S.Kh. Shalova

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The relevance of this study stems from the significant impact of artificial intelligence and robotics on the population's quality of life. The research highlights the dual nature of technological progress: gains in productivity, enhanced service accessibility, and reduced anthropogenic impact are closely accompanied by risks such as job losses, the digital divide, and psycho-emotional stress. To address these issues, the paper systematizes the main approaches to assessing the quality of life used by Rosstat, VTsIOM, the OECD, and the UN, while identifying their current limitations.

Aim. To analyze the current system of quality-of-life indicators and its transformation under the influence of AI and robotic systems, as well as to develop proposals for its improvement considering technological factors.

Materials and methods. he theoretical framework of the study is built upon concepts of quality of life and human development, incorporating approaches by Rosstat, RPORC, the OECD, and the UN alongside research on digital inequality and the impact of AI on the labor market. The paper employs comparative and systems analysis, the generalization of statistical and sociological data, and case studies of regions within the North Caucasus Federal District.

Results. The study demonstrates that existing quality-of-life assessment methodologies focus primarily on traditional socioeconomic indicators and largely overlook technological factors. It establishes that digitalization creates both new opportunities and risks, such as the digital divide, a skills gap, and technological anxiety. To address these gaps, a system of supplementary indicators is proposed, organized into five main categories: labor market and income transformation; digital equity and service accessibility; skills and human capital; the environmental context; and socio-psychological well-being.

Conclusions. Traditional quality-of-life indicators are insufficient in the context of rapid digitalization. A comprehensive framework is needed to evaluate the balance of digital opportunities and risks, considering objective, subjective, technological, and socio-psychological parameters. Integrating the proposed indicators into regional statistics enhance the effectiveness of socio-economic policies and foster sustainable regional development.

Keywords: artificial intelligence, robotics, robotization, automation, quality of life, human capital, sustainable development, regional economy, digital inequality, digital literacy, socio-economic development

Submitted 04.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Krai K.F., Shalova S.Kh. Artificial intelligence and robotics as drivers of change in the population's quality of life. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 406–421. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-406-421

Введение

На протяжении всей истории человечества технологические революции кардинально меняли уклад жизни, порождая как новые возможности, так и невиданные ранее вызовы. Сегодня мы стоим на пороге очередной трансформации, движущей силой которой ста-

© Krai K.F., Shalova S.Kh., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

новятся искусственный интеллект и робототехника. Активное внедрение искусственного интеллекта и робототехнических систем в различные сферы экономической и социальной деятельности объективно актуализирует вопрос о характере трансформации качества жизни населения под влиянием технологического прогресса[1]. Решение данного вопроса сопряжено с концептуальной сложностью, обусловленной неоднозначностью эффектов автоматизации. С одной стороны, внедрение интеллектуальных технологий создает предпосылки для повышения производительности труда, расширения доступности социально значимых услуг и снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. С другой – автоматизация сопряжена с рисками сокращения занятости в традиционных отраслях, углубления социально-экономической дифференциации, роста психоэмоционального напряжения и усиления технологической зависимости населения. Данное противоречие предопределяет дуалистическую природу влияния ИИ и робототехники, выступающих одновременно в качестве драйверов развития и источников социально-экономических вызовов.

Целью исследования является проведение анализа действующей системы показателей качества жизни населения и ее трансформации под воздействием искусственного интеллекта (ИИ) и робототехнических комплексов, а также разработка предложений по ее совершенствованию с учетом технологических факторов.

Качество жизни как научная категория

История изучения качества жизни в западной науке начинается с середины XX века: сначала обозначая качественные аспекты высокого уровня жизни, а затем став обобщающим для широкого круга социальных индикаторов. Популярность термина объяснялась его интуитивной прозрачностью, а вовлечение в разные дисциплины (от психологии до экономики) привело к переосмыслению его содержания. В 1970–1980-е годы сформировались три классических подхода: субъективный, объективный и ориентированный на человеческий потенциал. Итогом многолетних дискуссий стал доклад 2009 года, выполненный группой под руководством Стиглица, Сена и Фитусси, которые предложили объединяющую методологию [1].

Статистика уровня жизни изучает материальные условия людей, факторы, влияющие на их повседневную жизнь, и выявляет главные социально-экономические проблемы. Показатели уровня жизни являются фундаментом для создания социальных программ и главным индикатором того, насколько успешно работают экономические реформы. Определяющую роль здесь играют доходы населения, которые отражают материальное положение граждан и эффективность экономики в целом. Доходы анализируют по нескольким критериям: их уровню, структуре, динамике, соотношению с расходами и тому, как они распределяются между разными слоями общества.

Качество жизни населения (КЖН) постоянно находится в фокусе интересов государственного управления и научных исследований. Это определяется тем, что качество жизни является индикатором благополучия общества, достижения целей экономического и социального развития. В научной литературе представлено большое количество методик оценки КЖН. Одним из наиболее проблемных и вариативных аспектов при оценке качества жизни является определение компонентов и показателей такой оценки. Их состав

[1]The Future of Jobs Report 2025. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/

определяется подходом к оценке КЖН, целями оценки, уровнем охвата территорий и категорий населения, возможностями источников получения информации по характеристикам КЖН. Изменение состава показателей КЖН объективно связано с изменением потребностей населения, технологий производства товаров и услуг, методов получения доступа к информации. Выбор методологических подходов к формированию компонентов и показателей оценки качества жизни населения определяется рядом позиций, по которым исследователю необходимо принять решение:

1. Задачи оценивания включают либо обобщенную оценку территорий с последующим ранжированием по уровню КЖН, либо детальный анализ отдельных компонентов КЖН.

2. Современные характеристики КЖН, которые трансформируются под влиянием изменения потребностей населения и технологий производства товаров и услуг.

3. Масштаб оценивания КЖН, подразумевающий сопоставление между странами, оценка по стране в целом или по ее регионам.

4. Период оценки устанавливается на конкретный период или в динамике.

5. Доступность информационных ресурсов по показателям КЖН (данные государственной статистики, открытые ведомственные сведения, надежная информация рейтинговых агентств, коммерческих организаций и т.д.).

6. Характер оценки определяется применяемыми показателями КЖН и может быть объективным, субъективным или объективно-субъективным [2].

По данным Росстата, ключевыми индикаторами уровня жизни выступают[2]: доходы граждан, расслоение общества по уровню доходов и масштаб бедности, расходы и потребление товаров и услуг, величина прожиточного минимума и обобщающие показатели качества жизни.

В метриках ВЦИОМ качество жизни рассматривается преимущественно через призму субъективного восприятия граждан – то есть не через сухие экономические показатели (как у Росстата), а через уровень удовлетворенности людей своей жизнью, их страхи, надежды и социальное самочувствие [3]. Самая важная, по мнению россиян, характеристика качества жизни – здоровье – слагается в первую очередь из эмоционального состояния (32 %), экологической обстановки (28 %), доступности квалифицированной медицинской помощи (24 %) и качества продуктов питания (24 %)[3].

С 2011 года Система показателей благополучия ОЭСР служит ориентиром в работе по измерению и мониторингу благополучия за рамками ВВП. Она обеспечивает концептуальную основу для определения ключевых составляющих благополучия и оказала влияние на развитие национальных инициатив в этой сфере во многих странах ОЭСР.

Система показателей благополучия ОЭСР[4] (рис. 1) охватывает 11 аспектов текущего благополучия (условий, в которых люди живут сегодня) и 4 типа ресурсов для будущего благополучия: экономические, природные и социальные системы, необходимые для поддержания текущего благополучия. Данная система помогает не только понимать, улучшается ли жизнь в целом, но и выяснить, для кого именно, выявляя разрывы (неравенство) в показателях благополучия.

[2]Статистика уровня жизни населения. https://55.rosstat.gov.ru/history_statistic/document/263390

[3]Россия-2017: качество https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/rossiya-2017-kachestvo-zhizni-

[4]The OECD's Well-being Framework. https://www.oecd.org/en/data/tools/well-being-data-monitor.html

Опыт ООН в области измерения качества жизни прошел несколько этапов – от первых попыток агрегирования статистических данных в 1960-х годах до создания многомерных индексов, учитывающих не только экономические, но и социальные, демографические и гендерные аспекты (Индекс гендерного неравенства – ИГН). Первоначально оценка уровня жизни ограничивалась индексами реальной заработной платы и стоимости жизни, однако уже в 1970 году Исследовательский институт социального развития ООН предложил сводный индекс, включающий 16 социально-экономических показателей. В дальнейшем появился индекс физического развития качества жизни Морриса (ожидаемая продолжительность жизни, младенческая смертность, грамотность), а в 1990 году была принята концепция человеческого развития, центральным инструментом которой стал Индекс человеческого развития (ИЧР), измеряющий долголетие, образование и уровень жизни. С 2010 года семейство показателей ООН расширено за счет индексов, корректирующих ИЧР с учетом неравенства, Индексов гендерного различия населения (ИГН) и многомерной бедности (ИМБ). Несмотря на широкое признание, методология ООН не лишена недостатков: ограниченный набор индикаторов, отсутствие субъективных оценок и экологических факторов побуждают исследователей дополнять систему новыми измерителями, включая инновационную активность человеческого капитала [4].

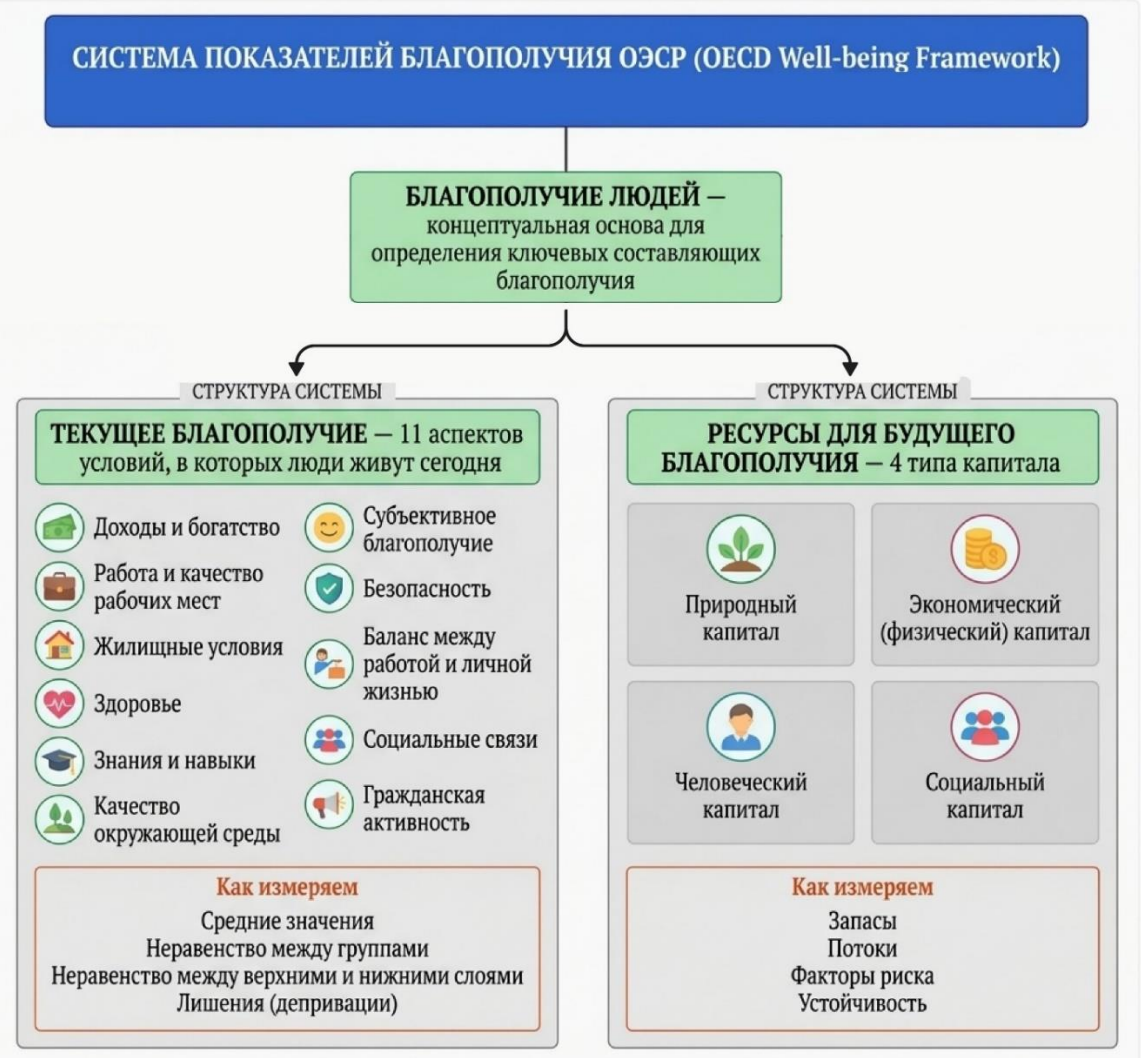


Рис. 1. *Концептуальная модель измерения благополучия ОЭСР*

Fig. 1. *Conceptual model of the OECD well-being measurement*

Сравнительная характеристика подходов к оценке качества жизни населения представлена в табл. 1 по ключевым критериям: тип подхода, индикаторы, методы сбора данных, преимущества, ограничения и применение в России.

Таблица 1. Сравнительная таблица подходов к оценке качества жизни населения

Table 1. Comparative analysis of approaches to assessing the quality of life

Критерий сравнения	Росстат	ВЦИОМ	ОЭСР	ООН
Тип подхода	Объективный (статистический)	Субъективный (социологический)	Интегральный (объективные и субъективные показатели)	Объективный (композитный индекс)
Что измеряет	Материальные условия жизни, доходы, расходы, дифференциацию, бедность	Субъективное восприятие жизни, удовлетворенность, страхи, надежды, социальное самочувствие	Текущее благополучие (11 аспектов) и ресурсы для будущего (экономические, природные, социальные)	Долголетие, образование, уровень жизни, а также неравенство, гендерные различия, многомерную бедность
Основные индикаторы	Доходы населения, расслоение (коэффициенты), расходы и потребление, прожиточный минимум, обобщающие показатели	Удовлетворенность жизнью, здоровье (эмоциональное состояние, экология, доступность медицины, качество продуктов), социальный оптимизм	11 аспектов (жилье, доход, работа, сообщество, образование, окружающая среда, гражданское участие, здоровье, удовлетворенность жизнью, безопасность, баланс работы и жизни) и 4 типа ресурсов	ИЧР: ожидаемая продолжительность жизни, уровень образования (средняя и ожидаемая продолжительность обучения), валовый национальный доход на душу населения. Дополнительно: ИЧРН, ИГН, ИМБ
Метод сбора данных	Государственная статистика, выборочные обследования домохозяйств, ведомственная отчетность	Ежемесячные репрезентативные опросы населения	Комбинирование статистических данных и опросов (интерактивная платформа)	Статистические данные по странам (из национальных источников и международных организаций)
Характер оценки	Обобщенная по стране и регионам, динамическая	Индексы общественных настроений, рейтинги удовлетворенности	Многомерная, с учетом неравенства и возможностью индивидуальной настройки весов	Ранжирование стран по уровню социально-экономического развития, анализ динамики
Преимущества	Регулярность, системность, сопоставимость по регионам, объективность	Улавливает субъективные ощущения и эмоциональное состояние, оперативность	Охватывает широкий спектр аспектов, учитывает неравенство, интерактивность	Простота расчета, международная сопоставимость, широкое признание, ориентация на человеческий потенциал
Ограничения	Не учитывает субъективное восприятие, ограничен статистической базой	Зависит от текущего настроения респондентов, не дает объективных количественных оценок	Сложность сопоставления из-за разных весов, отсутствие единого агрегированного показателя	Узкий набор показателей, не позволяет планировать развитие, слабо отражает инновационную составляющую
Применение в России	Используется для мониторинга социально-экономического положения регионов, формирования социальных программ	Используется для оценки общественных настроений, индексов счастья и социального оптимизма	Включена в международные сравнения, но не адаптирована на региональном уровне	Рассчитывается ИЧР для регионов России с 1997 года, используется для ранжирования субъектов РФ[5]

Качество жизни как фактор устойчивого развития региона (на примере Северо-Кавказского федерального округа)

Оценка качества жизни населения на региональном уровне остается одной из ключевых задач как научных исследований, так и государственного управления – экономической дифференциации его субъектов и устойчивого отставания большинства регионов от среднероссийских показателей по доходам, занятости и уровню бедности. Вместе с тем наличие позитивной динамики по ряду индикаторов, зафиксированное в рейтингах последних лет, свидетельствует о неоднородности процессов, протекающих в регионах округа.

[5]Голяшев А. Индекс человеческого развития: особенности расчета для регионов России. https://rf.ac-mos.ru/download/Сессия_3._А._Голяшев.pdf

Существующие методики оценки качества жизни, как правило, основаны на построении интегральных индексов, включающих десятки частных показателей. Однако, как справедливо отмечают исследователи, такой подход имеет серьезные ограничения: использование различных формул осреднения позволяет получать разные результаты на основе одного набора данных, а низкие значения по одним показателям могут компенсироваться высокими по другим, что искажает реальную картину [5]. Кроме того, большинство официальных систем оценки (Росстат, рейтинги РИА «Новости») базируются исключительно на объективных статистических данных, не учитывая субъективное восприятие населением собственного благополучия, что особенно критично для регионов с выраженной социокультурной спецификой.

В связи с этим в настоящем разделе для сравнительного анализа регионов СКФО используется подход, предложенный С. В. Крюковым, основанный на минимальном наборе объективных показателей – реальных среднедушевых доходах населения (характеризует уровень жизни) и ожидаемой продолжительности жизни (характеризует качество жизни) [6]. Данный подход позволяет отслеживать динамику изменения положения региона в пространстве «уровень жизни – качество жизни» и оценивать эффективность проводимой социально-экономической политики без риска манипуляции результатами, присущего интегральным индексам.

В работе С. В. Крюкова, посвященной сравнительному анализу регионов Северо-Кавказского федерального округа, в качестве ключевых индикаторов уровня жизни предлагается рассматривать реальные среднедушевые доходы населения, а для оценки качества жизни – относительную ожидаемую продолжительность жизни (соотнесенную со среднероссийским уровнем) [7].

В исследовании А. К. Сагидова, посвященном оценке качества жизни населения Северо-Кавказского региона, анализируются ключевые показатели, отражающие эффективность функционирования социальной сферы субъектов СКФО. Результативность региональной социальной инфраструктуры оценивается через итоговые индикаторы уровня и качества жизни населения. В качестве интегрального измерителя используется ИЧР – комплексный статистический показатель, аккумулирующий данные об образовании, состоянии здоровья (продолжительности жизни) и уровне материального благосостояния [8].

В расчет ИЧР входят семь компонентов: валовой внутренний продукт (по паритету покупательной способности) на душу населения; индекс дохода населения, ожидаемая продолжительность жизни, индекс долголетия, процент грамотности населения, доля учащихся в возрасте 7–24 лет и индекс образования.

Соотношение описанных подходов наглядно представлено на рис. 2, где в виде логической схемы систематизированы методы оценки качества жизни применительно к регионам СКФО. Схема демонстрирует, что подход С. В. Крюкова и методика А. К. Сагидова не противоречат, а дополняют друг друга: первый обеспечивает прозрачность и защищенность от манипуляции результатами, второй – полноту охвата социальной сферы за счет включения в расчет ИЧР показателей дохода, долголетия и образования. В совокупности они позволяют рассматривать качество жизни как ключевой фактор устойчивого развития региона.

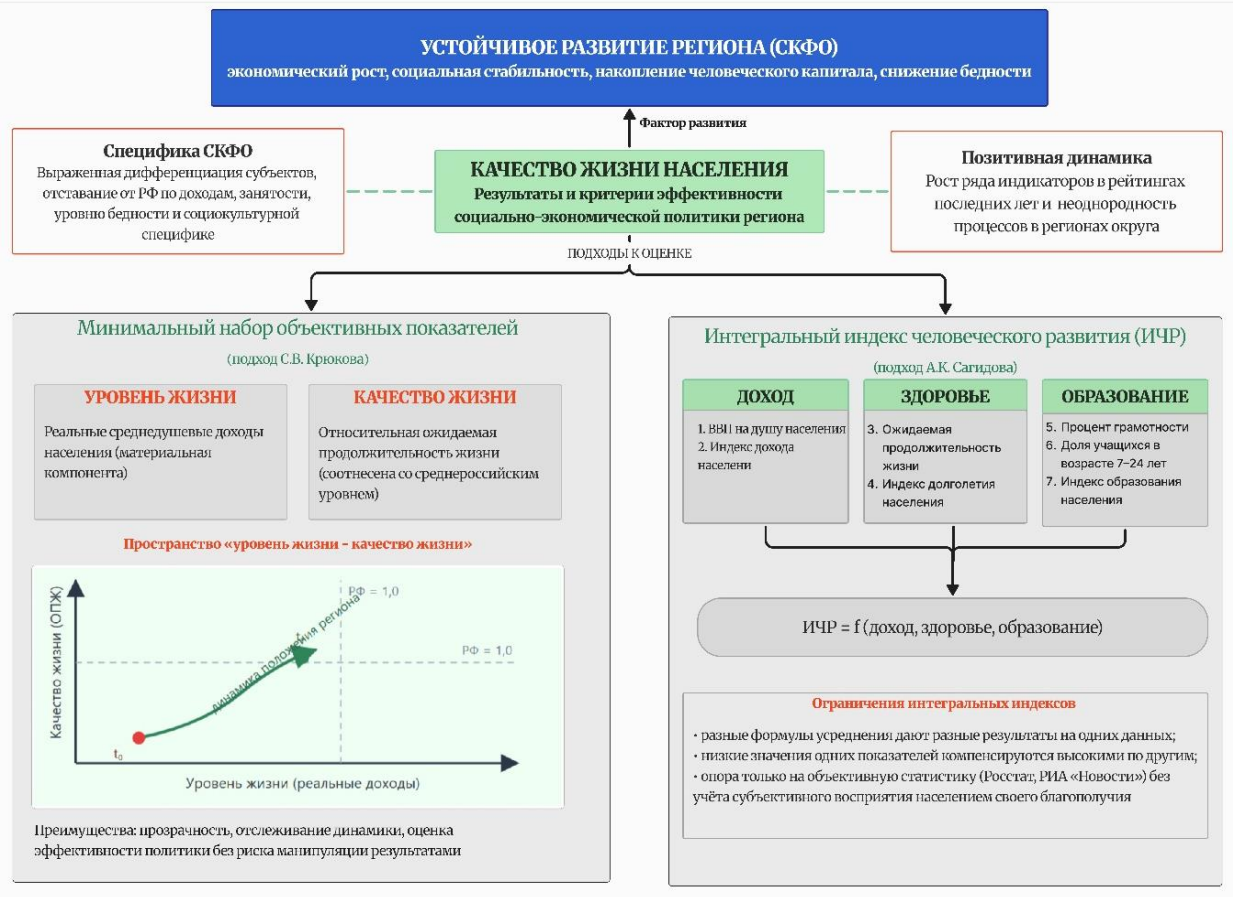


***Рис. 2**. Логическая схема «Качество жизни как фактор устойчивого развития региона (СКФО)»: подходы к оценке и компоненты ИЧР (составлено авторами)*

***Fig. 2**. Logical framework "Quality of life as a factor of sustainable regional development (NCFD)": assessment approaches and the HDI components (compiled by the authors)*

Новые индикаторы качества жизни региона в условиях цифровизации

В последние годы в субъектах СКФО активно реализуются пилотные проекты по внедрению интеллектуальных систем в промышленности, сельском хозяйстве и социальной сфере, что наряду с повышением производительности, точности прогнозов и доступности услуг несет риски сокращения традиционных рабочих мест, структурного дисбаланса на рынке труда, изменения социально-психологического климата и усиления цифрового неравенства [9]. Поскольку качество жизни традиционно оценивается через объективные (доходы, занятость, жилье) и субъективные (удовлетворенность жизнью) показатели, а новые каналы влияния цифровой трансформации, ИИ и робототехники на благополучие существующие системы (Росстат, ВЦИОМ, ОЭСР, ИЧР) фиксируют фрагментарно, возникает необходимость включения цифрового измерения, учитывающего как новые возможности, так и сопутствующие риски.

Новым этапом цивилизационного развития выступает цифровая трансформация. В периодизации «доиндустриальное, индустриальное, постиндустриальное, информационное» цифровое общество представляет собой второй этап информационного, основанный на массовом использовании цифровых технологий, включая искусственный интеллект и роботизированные комплексы, а также на сфере высококвалифицированных услуг и управления, охватывающей здравоохранение, образование, госуправление и культуру, и на цифровой информации, а также больших данных как ключевом факторе производства.

Цифровизация влияет не только на технологии, но и на институты, а значит, на все стороны качества жизни, однако данное влияние двойственно. С одной стороны, растет благосостояние, меняются компетенции, условия труда (удаленная работа, фриланс, Гиг-экономика[6]), социальные и финансовые услуги (умная медицина, открытое образование, электронное правительство). С другой стороны, возникают риски, связанные с сокращением низкоквалифицированных работников, ростом неравенства и поляризацией, размыванием среднего класса, дефицитом цифрового доверия, киберугрозами и отставанием правового регулирования.

Расчеты показали, что в России в 2015–2017 годах уровень цифровой составляющей качества жизни вырос с 0,477 до 0,525. При этом регионы развивались неравномерно: самые высокие показатели были отмечены в Центральном, Северо-Западном и Уральском федеральных округах, а самый низкий – в Северо-Кавказском федеральном округе (0,414). Анализ 85 регионов России позволил выделить наиболее развитые и отстающие территории. К лидерам относятся Москва и Ямало-Ненецкий автономный округ, где индекс превышает 0,6, а самое низкое значение зафиксировано в Республике Дагестан (0,325). Наиболее проблемными направлениями оказались цифровые навыки населения, а также цифровое развитие трудовой и социальной сфер. Более высокие результаты наблюдались в области информационной безопасности, обеспеченности населения цифровыми технологиями и предоставления электронных государственных услуг. Это связано с реализацией государственных программ развития информационного общества. Таким образом, для оценки качества жизни в условиях цифровизации недостаточно использовать только традиционные показатели: необходимо учитывать также уровень цифрового развития населения и регионов, который отражает новые возможности и возникающие риски [10].

Исследование 142 профессий в 13 отраслях показало, что средняя уязвимость российского рынка труда перед искусственным интеллектом составляет 4,35 балла из 10, тогда как в США – 4,9 балла. В России к группе высокого риска относятся 22,2 % работников (около 4,6 млн человек), среднего риска – 46 %, низкого – 31,8 %. Доля работников с высоким риском ниже, чем в США (42 %), поскольку в российской экономике больше профессий, связанных с физическим трудом. Наиболее уязвим финансовый сектор (7,9 балла), особенно бухгалтеры, численность которых составляет около 1,5 млн человек. Высокий уровень риска также отмечен в сфере культуры и медиа, а также в IT (по 6,9 балла). При этом занятость в IT растет на 10,7 % в год благодаря появлению и изменению профессиональных ролей. Наименее уязвимы строительство (2 балла) и здравоохранение (3,2 балла), хотя в этих сферах сохраняется острый дефицит работников[7].

С точки зрения цифрового равенства и доступности услуг сокращение разрыва между сельскими и городскими домохозяйствами выступает одним из ключевых условий устойчивого социально-экономического развития. Неравномерный доступ к широкополосному интернету, современным устройствам и цифровым компетенциям ограничивает возможности сельского населения в получении государственных, медицинских, образовательных и финансовых услуг в электронной форме, усиливая территориальную дифференциацию качества жизни. В этой связи особую значимость приобретают меры государственной политики, направленные на развитие телекоммуникационной инфраструктуры в малых населенных пунктах, обеспечение ценовой доступности подключения, а также повышение циф-

[6]Гиг-экономика (gig economy) – рынок труда с преобладанием краткосрочных, проектных или разовых заданий (гигов) вместо постоянного найма.

[7]Высшее образование – фактор риска. Анализ 142 профессий российского рынка на AI-уязвимость. https://habr.com/ru/articles/1011044/

ровой грамотности населения, в том числе посредством программ переподготовки сельских жителей в рамках федерального проекта «Кадры для цифровой экономики». Комплексная реализация данных направлений позволяет рассматривать цифровую доступность не только как технологическую, но и как социальную категорию, определяющую степень включенности граждан в современную экономику и общественную жизнь [11].

Эмпирические данные о психологическом благополучии молодежи в условиях цифровизации свидетельствуют: на выборке 368 респондентов 18–39 лет удовлетворенность жизнью в реальном мире тесно связана с удовлетворенностью цифровой жизнью, а благополучие определяется не только доступом к технологиям, но и субъективными и компетентностными параметрами – удовлетворенностью доступом к цифровым технологиям, управлением цифровыми устройствами, цифровой компетентностью, пользовательской активностью, отношением к технологиям, жизнестойкостью и удовлетворенностью жизнью в реальном и виртуальном мирах. При оценке качества жизни региона в условиях цифровизации одних показателей цифровой инфраструктуры уже недостаточно, необходимо учитывать и субъективные показатели: насколько люди удовлетворены доступом к технологиям, ощущают ли цифровое равенство и сохраняют ли баланс между онлайн- и офлайн-жизнью. Доступ к технологиям и удовлетворенность ими важны населению для благополучия и реальной жизни. Слишком высокая активность в интернете может снижать удовлетворенность жизнью, но цифровая компетентность, умение управлять своими устройствами и жизнестойкость способны ослабить этот негативный эффект. Поэтому при оценке качества жизни региона в условиях цифровизации стоит учитывать как объективные параметры цифровой среды, так и субъективные показатели, включающие удовлетворенность доступом к технологиям, цифровую активность, компетентность и психологическое благополучие в смешанной онлайн-офлайн реальности [12].

Пути решения проблемы цифрового неравенства в России рассматриваются через его влияние на доходы и бедность. Для России проблема имеет внешнее измерение – отставание от мировых лидеров (41 место в рейтинге сетевой готовности) и внутреннее – межрегиональное неравенство, которое считается более опасным, поскольку отстающие, прежде всего аграрные, территории способны затормозить цифровое развитие всей страны. За десять лет разрыв между федеральными округами по широкополосному доступу сократился в 3,6 раза, однако даже в округе-лидере каждое десятое домохозяйство не подключено к сети, а в Орловской и Кировской областях – каждое четвертое, тогда как в Татарстане, ЯНАО и Чечне охват превышает 98 %. Связь между доступом к интернету и бедностью практически исчезла – государство обеспечило возможность подключения независимо от доходов, но сохраняется обратная зависимость между бедностью и наличием компьютера и усиливается положительная связь доходов с широкополосным доступом, открывающим возможности для повышения квалификации и дистанционной занятости. Техническая сторона во многом решается федеральным проектом «Устранение цифрового неравенства» (с 2014 года, второй этап с 2021 года охватывает населенные пункты от 100 до 250 человек), однако нерешенным остается вопрос готовности самих людей использовать цифровые возможности для работы и бытовых задач, а не только для развлечения. Поэтому ключевыми направлениями предлагаются устранение препятствий, с которыми столкнулись программы цифровизации в отстающих регионах, и расширение цифровой грамотности с пересмотром обучающих программ в сторону практического применения инструментов. Для снижения цифрового неравенства достаточно обеспечить всем гражданам базовые навыки и доступ к сети, тогда как преодоление бедности требует освоения также профессиональных и комплементарных навыков. Мотивация граждан в сочетании с действующими государственными мерами способна свести цифровое неравенство к минимуму и сократить отрыв страны от мировых лидеров [13].

В 2025 году Индекс цифровой грамотности россиян составил 68 п.п., что на 3 п.п. ниже уровня 2024 года и стало первым снижением за семь лет мониторинга (в 2018 году – 52 п.п.). Это говорит о том, что население не успевает адаптироваться к скорости внедрения новых технологий. Основной риск – деградация продвинутых компетенций: доля россиян с продвинутым уровнем цифровых навыков сократилась с 32 до 21 % (– 11 п.п.), а доля владеющих базовым уровнем выросла до 75 % (+ 9 п.п.), начальный уровень – до 4 %. Наиболее уязвимыми группами оказались молодежь 14–17 лет (62 п.п.), незанятые граждане и жители городов с населением 500 тыс. – 1 млн человек (65 п.п.), тогда как максимальные значения показали жители Москвы и Санкт-Петербурга (70 п.п.) и предприниматели (72 п.п.). Слабыми сторонами остаются настройка программного обеспечения (53 п.п. – 6 п.п. за год), оценка достоверности информации (59 п.п., особенно низкая у групп 25–34 и старше 55) и создание аудио- и видеоконтента (59 п.п.), что напрямую затрагивает цифровую безопасность и защиту персональных данных. В качестве возможности можно рассматривать выравнивание гендерного разрыва (в 2025 году женщины и мужчины сравнялись на уровне 68 п.п.) и сохранение высоких показателей по работе с информацией (76–79 п.п.), а также наличие системного инструмента развития компетенций – национального проекта «Экономика данных», эффективность которого зависит от готовности граждан к цифровой трансформации. Ключевой вывод для оценки индикаторов человеческого капитала – прогноз Аналитического центра НАФИ: при сохранении текущей тенденции уже к 2027 году темпы развития технологий заметно превысят способность людей безопасно и эффективно ими пользоваться, что создает угрозу цифровому суверенитету и требует перехода к непрерывному микрообучению и системному освоению новых инструментов, а также смещения акцента со знания конкретных технологий на умение обучаться и осваивать новые сервисы[8].

Дополнительным источником данных о реальных цифровых навыках населения выступает Всероссийская акция «Цифровой диктант», проводимая с 2019 года и позволяющая оценивать не формальный уровень образования, а практические компетенции в разрезе возраста, пола и региона.

Охват вырос с 39,4 тыс. участников до 2,12 млн в 2024 г. (в группе старше 60 – в 3,1 раза). Средний индекс цифровой грамотности после пика 7,25 балла в 2020 г. снизился до 6,43 в 2023 г. и восстановился до 6,60 в 2024 г. В структуре индекса высока финансовая киберграмотность (7,45), но цифровая безопасность составляет 6,15, а цифровые компетенции – 5,96 (самое слабое звено). Лучшие результаты у детей до 13 лет (7,08–7,25), худшие – у молодежи 18–25 лет (6,19); у 14–17-летних критически низкая цифровая безопасность (5,08), у людей старше 60 высокая финансовая киберграмотность (8,23), но минимальные цифровые компетенции (4,61). Территориальный разброс – от 6,83 в ЦФО до 5,97 в СКФО; лидеры – Карелия (7,69) и Москва (7,51).

В 2024 г. Кабардино-Балкария заняла первое место в СКФО по цифровой грамотности – 6,68 балла, опередив Ставропольский край (6,64), Северную Осетию – Аланию (6,48) и КЧР (6,38), у Дагестана (6,09), Ингушетии (5,93) и Чечни (5,78) показатели ниже. КБР – единственный субъект округа выше среднероссийского уровня, что делает ее «опорным» регионом СКФО[9].

Однако лидерство относительное: средний балл скрывает разрывы между городом и селом, возрастными и социальными группами. Поэтому нужны новые индикаторы цифрового неравенства внутри региона и определение целевых групп. Сочетание высокой формальной цифровой грамотности с северокавказскими социально-территориальными особенностями делает КБР удобным объектом для апробации такого подхода.

[8]Индекс цифровой грамотности – 2025: цифровая грамотность россиян впервые за семь лет снизилась. https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=194241

[9]Цифровая грамотность населения России в 2024 г. https://raec.ru/activity/analytics/14712/

Индикаторы экологической среды и техносферы фиксируют не только инфраструктурные, но и ресурсосберегающие эффекты цифровизации, значимые для качества жизни населения. Первый индикатор – доля предприятий (особенно в АПК), внедривших элементы ИИ и точного земледелия (умный полив, мониторинг посевов БПЛА). В России цифровизация охватывает до 30 % сельхозпредприятий, ИИ используют около 30 % крупных и средних компаний и лишь 2 % малых. В 2025 г. внедрять ИИ-решения начали 12 % предприятий АПК. В агросекторе применяется около 24 тыс. машин с элементами автопилотирования, которыми в 2026 г. планируется обработать 12,5 млн га, а агродронами – более 1 млн га; уровень технологической независимости АПК достиг 57,8 % при целевом значении 66,7 % к 2030 г. Для Кабардино-Балкарской Республики показателен пример применения дронов и специализированного ПО для мониторинга кормовых бобов, затраты на удобрения и СЗР снизились на 15–25 %, а содержание кормового белка выросло более чем на 40 %[10] [14].

Второй индикатор – индекс эффективности умного природопользования, отражающий процент снижения потерь ресурсов (воды, электроэнергии, удобрений) за счет внедрения предиктивной аналитики. Мировые оценки свидетельствуют, что применение IT-технологий в земледелии США повышает урожайность на 5–10 % и снижает потребность в ресурсах на 15–20 %, а системы прецизионного орошения сокращают потребление воды примерно на 30 %. Российская практика применения IT-технологий и ИИ демонстрирует экономию удобрений до 1500 руб./га, СЗР – до 20–30 %, топлива – на 3–5 %, семян – не менее 10 %, цифровой двойник маслоэкстракционного завода позволяет экономить до 50 млн руб. в год [14].

В условиях смешанной онлайн-офлайн реальности психологическое благополучие нужно оценивать через удовлетворенность жизнью и в реальном, и в виртуальном мире, поскольку они взаимосвязаны. Важны доступ к технологиям и цифровое равенство, а наиболее благополучны люди с умеренной онлайн-активностью: цифровая компетентность и жизнестойкость смягчают негативные эффекты экранного времени. Позитивное и взвешенное отношение к технологиям помогает, тогда как технопессимизм снижает удовлетворенность виртуальной жизнью, но в реальной при умеренной вовлеченности может ее повышать [15].

Соответственно, Индекс технологического оптимизма нельзя рассматривать изолированно, он связан с благополучием в смешанной онлайн-офлайн реальности. Благополучие молодежи определяется не столько доступом к технологиям, сколько умеренной активностью в сочетании с цифровой компетентностью и жизнестойкостью, которые смягчают вред экранного времени. Психологическое благополучие нужно оценивать комплексно, учитывая цифровые и реальные пространства как взаимосвязанные[11].

Важным индикатором качества жизни в условиях цифровизации становится не только доступ к технологиям, но и отношение населения к ним. В этом контексте показатель доверия россиян к искусственному интеллекту позволяет оценить социальную приемлемость цифровых решений и готовность общества к их внедрению в повседневную жизнь.

По данным ВЦИОМ (октябрь 2024 г.), 87 % россиян осведомлены об ИИ, а 81 % смогли указать сферы, в которых доверяют ему. Наибольшее доверие вызывают виртуальные помощники (44 %), творчество (42 %) и робототехника (40 %), ниже – промышленность (32 %), здравоохранение и транспорт (по 28 %), образование (24 %), экономика, социальная сфера и военное дело (по 19 %), безопасность (18 %) и государственное управление (13 %). Чем абстрактнее сфера, тем ниже доверие. Молодежь доверяет ИИ заметно больше: среди представителей цифрового поколения, родившихся в период 1990–2010 гг., и младших миллениалов

[10]Искусственный интеллект в сельском хозяйстве России: от нейросетей в полях до «цифрового гнета». https://fermozavr.ru/iskusstvennyj-intellekt/iskusstvennyy-intellekt-v-sel-skom-khozyaystve-rossii-ot-neyrosetey-v-polyakh-do

[11]Исследование РОМИР и НИУ ВШЭ: россияне с оптимизмом смотрят на развитие информационных технологий, но опасаются за безопасность данных. https://romir.ru/feed/issledovanie-romir-i-niu-vshe-rossiyane-s-optimizmom-smotryat-na-razvitie-informacionnyh-tehnologiy-no-opasayutsya-za-bezopasnost-dannyh?ysclid=mu5eunmu11705314162

недоверие фиксируется лишь в 0–4 % случаев; они чаще поддерживают ИИ в интернете вещей (66–69 %), творчестве (58–64 %) и робототехнике (50–52 %). В образовании зумеры чаще других доверяют ИИ (49 %) и считают, что он повысит качество образования (62 %), тогда как старшие поколения видят в нем скорее угрозу (45–48 %). Россияне с высшим образованием лучше разбираются в технологиях и чаще доверяют ИИ. Эти данные дополняют Индекс технологического оптимизма: доверие к ИИ дифференцировано по сферам, поколениям и уровню образования, что важно учитывать при оценке цифрового благополучия и качества жизни[12].

Проведенный анализ позволяет систематизировать выделенные компоненты и отразить логику их взаимодействия. Полученная структурно-логическая схема приведена на рис. 3.

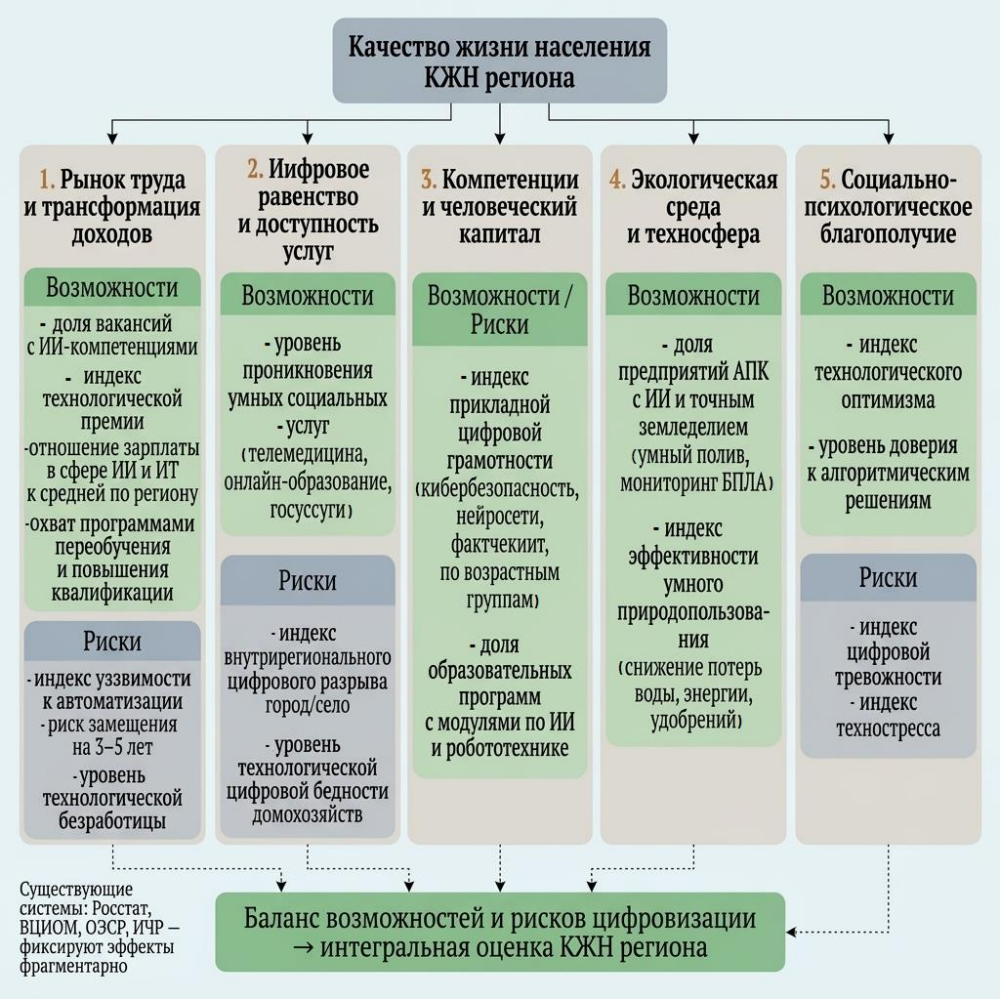


***Рис. 3**. Дополнительные индикаторы оценки качества жизни населения региона в условиях цифровой трансформации (составлено авторами)*

***Fig. 3**. Supplementary indicators for assessing regional quality of life in the context of digital transformation (compiled by the authors)*

Внедрение этих индикаторов в региональную статистику позволит не только фиксировать сухие экономические цифры, но и оценивать, насколько технологии реально работают на благо общества, а не усугубляют существующее неравенство.

[12]Уровень доверия россиян к искусственному интеллекту. https://ict.moscow/projects/ai/research/uroven-doveriia-rossiian-k-iskusstvennomu-intellektu/?ysclid=mu5f0axe1q689943666

Заключение

Проведенное исследование показало, что искусственный интеллект и робототехника оказывают двойственное влияние на качество жизни населения. Наряду с ростом производительности, расширением доступности услуг и снижением антропогенной нагрузки технологический прогресс порождает риски сокращения занятости, углубления цифрового неравенства и усиления психоэмоционального напряжения. При этом существующие методики оценки качества жизни, включая подходы Росстата, ВЦИОМ, ОЭСР и ООН, ориентированы преимущественно на традиционные социально-экономические показатели и слабо учитывают технологические и цифровые факторы.

На примере Северо-Кавказского федерального округа обоснована необходимость дополнения традиционных индикаторов цифровым измерением, поскольку регион характеризуется выраженной социально-экономической дифференциацией и отставанием по ряду цифровых показателей. В связи с этим предложена система дополнительных индикаторов, охватывающих рынок труда и трансформацию доходов, цифровое равенство и доступность услуг, компетенции и человеческий капитал, экологическую среду и техносферу, а также социально-психологическое благополучие. В условиях цифровизации необходима интегральная оценка баланса возможностей и рисков, учитывающая объективные, субъективные, цифровые и социально-психологические параметры. Внедрение предложенных показателей в региональную статистику позволит повысить эффективность социально-экономической политики и устойчивость развития регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедева Л. С.* Качество жизни: ключевые подходы и структура понятия // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2018. № 4. С. 68–80. DOI: 10.14515/monitoring.2018.4.04

2. *Нестеренко И. Ю.* Качество жизни населения: компоненты и показатели оценки // Вестник Сургутского государственного университета. 2025. Т. 13. № 2. С. 43–55. DOI: 10.35266/2949-3455-2025-2-4

3. *Барбашова Е. В., Лясковская О. В., Шуметов В. Г.* Индексный подход к субъективной оценке качества жизни (по материалам мониторинга социальных настроений ВЦИОМ) // Human Progress. 2021. Т. 7. №. 3. С. 3. DOI: 10.34709/IM.173.4

4. *Талалушкина Ю. Н.* Опыт ООН в исследовании качества жизни населения // Экономический журнал. 2013. № 3(31). С. 46–53. EDN: SZWTWX

5. *Крюков С. В.* Сравнительная оценка регионов РФ по уровню и качеству жизни населения // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2018. № 3. С. 22–29. DOI: 10.22394/2079-1690-2018-1-3-22-29

6. *Крюков С. В.* Динамическая оценка уровня и качества жизни населения региона на основе пространственной модели // Учет и статистика. 2018. № 4(52). С. 58– 67.

7. *Крюков С. В.* Сравнительный анализ регионов Северо-Кавказского федерального округа по уровню и качеству жизни населения // Крымский научный вестник. 2019. № 4(25). С. 31–37. EDN: VNGIMG

8. *Сагидов А. К.* Оценка качества жизни населения Северо-Кавказского региона // Вопросы структуризации экономики. 2020. № 2. С. 36–39. DOI: 10.26159/APR.2020.80.2.006

9. *Абдулманапов П. Г.* Статистический анализ цикличности демографических процессов в СКФО // Региональные проблемы преобразования экономики. 2020. № 3(113). С. 83–90. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-3-83-90

10. *Литвинцева Г. П., Петров С. П.* Теоретические основы взаимодействия цифровой трансформации и качества жизни населения // Журнал экономической теории. 2019. Т. 16. № 3. С. 414–427. DOI: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.10

11. *Садыртдинов Р. Р., Варламова Ю. А., Еремеева Е. А.* Цифровой разрыв между сельскими и городскими домохозяйствами в России // Ars Administrandi (Искусство управления). 2025. Т. 17. № 3. С. 473–494. DOI: 10.17072/2218-9173-2025-3-473-494

12. *Костяев А. И.* Цифровое неравенство между городским и сельским населением // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2024. Т. 17. № 3. С. 50–67. DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.3

13. *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

14. *Сергеев А. И., Булгаков А. Л.* ИИ трансформация российского сельского хозяйства: анализ существующих решений и экономической эффективности их внедрения // Финансовые рынки и банки. 2026. № 5. С. 429–432. EDN: LYELTJ

15. *Солдатова Г. У., Чигарькова С. В., Илюхина С. Н.* Цифровые предикторы психологического благополучия молодежи в реальном и виртуальном мирах // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2025. № 48(1). С. 78–100. DOI: 10.11621/LPJ-25-04

REFERENCES

1. Lebedeva L.S. Quality of life: key approaches and structure of the concept. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes.* 2018. No. 4. Pp. 68–80. DOI: 10.14515/monitoring.2018.4.04. (In Russian)

2. Nesterenko I.Yu. Population quality of life: Assessment components and indicators. *Surgut State University Journal*. 2025. Vol. 13. No. 2. Pp. 43–55. DOI: 10.35266/2949-3455-2025-2-4. (In Russian)

3. Barbashova E.V., Lyaskovskaya O.V., Shumetov V.G. Index approach to subjective assessment of the quality of life (according to the materials of monitoring social mood by VTSIOM). *Human Progress.* 2021. Vol. 7. No. 3. P. 3. DOI: 10.34709/IM.173.4. (In Russian)

4. Talalushkina Yu.N. Experience UNO in study quality to life's of the population. *Ekonomichesky zhurnal*. 2013. No. 3(31). Pp. 46–53. EDN: SZWTWX. (In Russian)

5. Kryukov S.V. Comparative evaluation of RF regions by the level and quality of life. *State and Municipal Management. Scholar Notes*. 2018. No. 3. Pp. 22–29. DOI: 10.22394/2079-1690-2018-1-3-22-29. (In Russian)

6. Kryukov S.V. Dynamic evaluation of the level and quality of life of the region's population based on a spatial model. *Accounting and Statistics.* 2018. No. 4(52). Pp. 58–67. (In Russian)

7. Kryukov S.V. Comparative analysis of the regions of the North Caucasus Federal District in the level and quality of life. *The Crimean Scientific Bulletin.* 2019. No. 4(25). Pp. 31–37. EDN: VNGIMG. (In Russian)

8. Sagidov A.K. Assessment of the quality of life of the population of the North Caucasian region. *Voprosy strukturizatsii ekonomiki* [Issues of Economic Structuring]. 2020. No. 2. Pp. 36–39. DOI: 10.26159/APR.2020.80.2.006. (In Russian)

9. Abdulmanapov P.G Statistical analysis of cycling demographic processes in the northern federal district. *Regional Problems of Transforming the Economy.* 2020. No. 3(113). Pp. 83–90. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-3-83-90. (In Russian)

10. Litvintseva G.P., Petrov S.P. Theoretical foundations of digital transformation of economy and people's quality of life. *Russian Journal of Economic Theory*. 2019. Vol. 16. No. 3. Pp. 414–427. DOI: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.10. (In Russian)

11. Sadyrtdinov R.R., Varlamova Yu.A., Eremeeva E.A. Digital divide between rural and urban households in Russia. *Ars Administrandi.* 2025. Vol. 17. No. 3. Pp. 473–494. DOI: 10.17072/2218-9173-2025-3-473-494. (In Russian)

12. Kostyaev A.I. Digital inequality between urban and rural population. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2024. Vol. 17. No. 3. Pp. 50–67. DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.3. (In Russian)

13. Blinichkina N.Yu. Digital inequality: challenges and solutions in Russia. *Vestnik BSU Bulletin. Economics and Management*. 2025. No. 2. Pp. 28–36. DOI: 10.18101/2304-4446-2025-2-28-36. (In Russian)

14. Sergeev A.I., Bulgakov A.L. AI transformation of Russian agriculture: analysis of existing solutions and economic efficiency of their implementation. *Financial Markets and Banks*. 2026. No. 5. Pp. 429–432. EDN: LYELTJ. (In Russian)

15. Soldatova G.U., Chigarkova S.V., Ilyukhina S.N. Digital predictors of youth psychological well-being in real and virtual worlds. *Moscow University Psychology Bulletin*. 2025. No. 48(1). Pp. 78–100. DOI: 10.11621/LPJ-25-04. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КБНЦ РАН, тема «Разработка механизмов управления устойчивым развитием региона на основе мультиагентного моделирования процессов опережающего формирования отрасли производства интеллектуальных систем и робототехнических комплексов» (№ 125032604487-6).

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment for the KBNC RAS of research “Development of mechanisms for managing regional sustainable development based on multi-agent modeling of processes for the proactive formation of intelligent systems and robotic complexes manufacturing sector” (No. 125032604487-6).

Информация об авторах

Край Карина Фаезовна, науч. сотр., зав. лаб. «Модели и методы развития и внедрения инновационных проектов» Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-код: 5967-0267

Шалова Сатаней Хаутиевна, науч. сотр. Инжинирингового центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
satanei@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2345-1309, SPIN-код: 2183-8224

Information about the authors

Karina F. Krai, Researcher, Head of the laboratory “Models and Methods for the Developing and Implementation of Innovative Projects”, Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
kraykarina@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-7361, SPIN-code: 5967-0267

Satanei Kh. Shalova, Researcher, Engineering Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;
satanei@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2345-1309, SPIN-code: 2183-8224

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 658.7 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-422-432
WIHRXS

Цифровая трансформация как ключевой фактор, стимулирующий открытые инновации на предприятиях

Юйцяо Пань

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

Аннотация. Актуальность исследования в данной работе с точки зрения цепочки поставок состоит в изучении влияния цифровой трансформации на интегрированные инновации предприятий. Используя данные за период с 2018-го по 2024 год, автор фокусируется на цифровой трансформации целевых предприятий, их поставщиков и клиентов. Путем многомерного измерения прогресса цифровизации оценивается роль цифровой трансформации в инновационном сотрудничестве предприятий.

Цель исследования – изучение путей воздействия цифровой трансформации предприятия на интегрированные инновации в контексте развивающейся цифровой экосистемы, выявление механизма распространения цифровых эффектов в цепочке поставок, определение ключевых модераторных факторов, влияющих на силу этого эффекта, и эмпирическая проверка исследовательских гипотез на основе данных китайских предприятий.

Научная новизна. Цифровая трансформация и ее влияние на инновации привлекли широкое внимание академических кругов и промышленности, в контексте совместных инноваций в цепочке поставок остается ряд ключевых вопросов, требующих дальнейшего изучения: во-первых, необходимо дополнительно исследовать, как именно собственная цифровая трансформация компании влияет на ее интегрированную инновационную деятельность; во-вторых, неясно, как процессы цифровизации поставщиков и клиентов оказывают межорганизационное воздействие на инновационную эффективность целевых компаний посредством механизмов распространения технологий и информации. Для устранения этих пробелов в данной работе проводится комплексное эмпирическое исследование, сочетающее теоретические объяснения механизмов с анализом данных предприятий на микроуровне.

Результаты. В работе показано, что цифровая трансформация не только значительно повышает собственные инновационные возможности предприятий, но и создает положительный эффект передачи на партнеров по цепочке поставок и сбыта посредством механизмов распространения технологий и обмена информацией, тем самым оптимизируя распределение внутренних ресурсов и инновационные процессы.

Выводы. В статье раскрыта решающая роль цифровизации как средства передачи инноваций в сетях цепочки поставок, предоставляющего теоретическую и эмпирическую поддержку для понимания механизмов корпоративного сотрудничества в области инноваций в цифровую эпоху.

Ключевые слова: цифровая трансформация, конвергенция и инновации, побочные эффекты цепочки поставок, побочные эффекты технологии, побочные эффекты информации

Поступила 01.07.2026, одобрена после рецензирования 14.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

© Пань Юйцяо, 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Для цитирования. Пань Юйцяо. Цифровая трансформация как ключевой фактор, стимулирующий открытые инновации на предприятиях // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 422–432. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-422-432

Original article

Digital transformation as a key factor driving open innovation in enterprises

Yuqiao Pan

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
29, Polytechnicheskaya street, Saint Petersburg, 195251, Russia

Abstract. From a supply chain perspective, the relevance of this study lies in examining the impact of digital transformation on integrated enterprise innovation. Drawing on data from 2018 to 2024, the research focuses on the digital transformation of focal enterprises, as well as their suppliers and customers. By employing a multidimensional measure of digitalization progress, the study evaluates the role of digital transformation in collaborative enterprise innovation.

Aim. The study is to examine how an enterprise's digital transformation influences integrated innovations within the context of an evolving digital ecosystem, to identify the mechanism by which digital effects propagate through the supply chain, to determine key moderating factors influencing the strength of this effect, and to empirically test research hypotheses using data from Chinese enterprises.

Scientific novelty. While digital transformation and its impact on innovation have garnered significant attention from both academia and industry, several key questions regarding collaborative innovation within the supply chain require further investigation. First, it is necessary to examine more closely how a company's own digital transformation influences its integrated innovation activities. Second, it remains unclear how the digitalization processes of suppliers and customers exert an inter-organizational impact on the innovation performance of focal companies through technology and information diffusion mechanisms. To address these research gaps, this study conducts a comprehensive empirical analysis that combines theoretical explanations of the underlying mechanisms with an analysis of micro-level enterprise data.

Results. The study demonstrates that digital transformation not only significantly enhances enterprises' own innovation capabilities but also generates positive spillover effects for supply and distribution chain partners through technology diffusion and information-sharing mechanisms, thereby optimizing internal resource allocation and innovation processes.

Conclusions. The article reveals the pivotal role of digitalization as a vehicle for the transfer of innovations within supply chain networks, providing theoretical and empirical support for understanding the mechanisms of corporate collaboration in innovation during the digital era.

Keywords: digital transformation, convergence and innovation, supply chain spillover effects, technology spillover effects, information spillover effects

Submitted 01.07.2026, approved after reviewing 14.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Pan Yuqiao. Digital transformation as a key factor driving open innovation in enterprises. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 422–432. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-422-432

© Pan Yuqiao, 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Введение

В условиях цифровой экономики инновации становятся ключевым фактором конкурентоспособности бизнеса [1]. Однако традиционный подход к развитию инноваций сталкивается с рядом ограничений, включая изолированность инновационного процесса, отсутствие интеграции между участниками рынка и высокий уровень неопределенности технологических изменений. В связи с этим возникает необходимость поиска новых моделей инновационного взаимодействия, основанных на цифровых технологиях и сетевых эффектах [2].

Интегрированные инновации – одна из таких моделей, которая предполагает обмен знаниями, технологиями и ресурсами между компаниями, входящими в одну цепочку поставок. В процессе цифровой трансформации фирмы могут не только активизировать собственную инновационную деятельность, но и передать эффект от цифровизации своим поставщикам и клиентам, что приводит к возникновению побочных эффектов в цепочке [3].

Обоснование актуальности исследования

В условиях ускоренной интеграции цифровой экономики и реальной экономики цифровая трансформация превратилась из тактического выбора на уровне предприятия в стратегический путь построения национальной конкурентоспособности. Тенденции развития и механизм ее влияния на инновационную деятельность предприятий стали предметом пристального внимания как академических кругов, так и промышленности. Для систематического решения этой практической проблемы в данном исследовании, основанном на практическом контексте цифровой трансформации китайских предприятий, используются панельные данные за период с 2018-го по 2024 год на уровне предприятий для проведения эмпирического анализа динамической взаимосвязи между прогрессом цифровизации и результатами инноваций [4]. Достаточное количество информации обеспечивается на основе этапов развития китайских предприятий за последние годы, а также временных характеристик и структурных изменений эффекта цифровизации.

На уровне построения показателей в данном исследовании уровень цифровой трансформации предприятий характеризуется по трем параметрам: интенсивность инвестиций в цифровизацию, широта применения технологий и глубина цифровых возможностей. На основе этого с помощью описательной статистики и анализа динамических тенденций выявляется синергетическая траектория эволюции уровня цифровизации предприятий и инновационной деятельности за рассматриваемый период, определяются ключевые точки перегиба и характеристики переходных этапов, что закладывает прочную фактическую основу для последующей проверки гипотез и выявления механизмов [5].

Предварительные статистические данные показывают, что в период с 2018-го по 2024 год уровень охвата цифровизацией китайских предприятий увеличился с менее чем 30 % до более чем 70 %, а средний объем патентной активности предприятий также удвоился, демонстрируя значительную положительную тенденцию к совместной эволюции. Этот вывод не только подтверждает ключевую роль цифровой трансформации в стимулировании инноваций с макроэкономической точки зрения, но и предоставляет реалистичную основу и отправную точку для глубокого анализа внутреннего механизма эффектов цифрового распространения с точки зрения цепочки поставок [6].

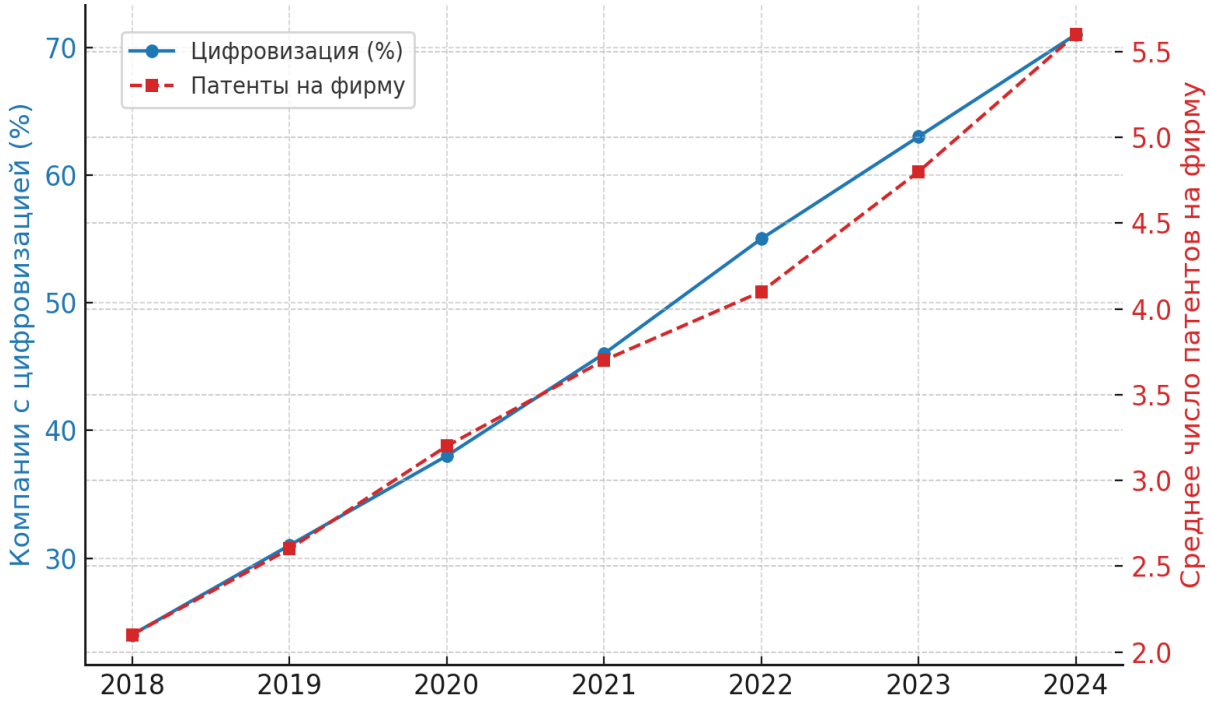


***Рис. 1**. Тренды цифровизации и инновационной активности (2018–2024 гг.)*

***Fig. 1**. Trends in digitalization and innovation activity (2018–2024)*

Источник: Китайская национальная сеть передачи данных (https://data.stats.gov.cn/search.htm).

Данные за период с 2018-го по 2024 год показывают устойчивую тенденцию к росту как уровня цифровизации предприятий, так и инновационной активности. Доля предприятий, внедряющих цифровые технологии, увеличилась с 24 % в 2018 году до 71 % в 2024 году, что свидетельствует о широком и непрерывном применении цифровых решений в корпоративной среде [7]. Одновременно значительно улучшились и показатели инновационной деятельности: среднее количество патентов на одно предприятие в год за тот же период увеличилось с 2,0 до 5,5.

Особенно примечательна синхронность этих двух переменных. С 2018-го по 2020 год среднегодовой темп роста цифровизации составлял от 0,7 до 0,8 процентных пункта, а с 2021-го по 2024 год темпы роста ускорились в среднем от 0,9 до 1,0 процентных пункта в год. Этот ускоренный рост совпадает с более значительным увеличением патентной активности – с 3,6 раза в 2021 году до 5,5 раза в 2024 году, что указывает на кумулятивный эффект цифровизации с определенным временным лагом [8].

Корреляция между ростом цифровизации и увеличением патентной активности предполагает, что цифровая трансформация является не только фоном для инновационного процесса, но и его позитивным катализатором. Цифровые технологии могут помочь снизить транзакционные издержки, ускорить обмен знаниями и повысить эффективность НИОКР [9].

Методология исследования

В данном исследовании разработана аналитическая модель взаимодействия в цепочке поставок, охватывающая три уровня заинтересованных сторон – предприятия, поставщиков и клиентов – на эмпирическом уровне. Цель состоит в систематическом выявлении путей передачи инноваций и границ распространения цифровой трансформации в межорга-

низационном контексте. Для достижения этой исследовательской цели в качестве исходной выборки использованы китайские компании, котирующиеся на бирже A-share, за период с 2018-го по 2024 год. Проведено послойное сопоставление на основе информации о крупных поставщиках и клиентах, раскрытой в их годовых отчетах, для построения панельного набора данных третьего порядка с реальными взаимоотношениями в цепочке поставок. Уникальная особенность этой структуры данных заключается в том, что она не только характеризует цифровые вложения и инновационные результаты целевых предприятий, но и одновременно отслеживает процесс цифровизации их поставщиков и клиентов, обеспечивая таким образом дефицитную микроуровневую доказательную базу для изучения механизма вертикальной передачи эффектов цифровизации [10].

Что касается источников данных, для перекрестной проверки и построения индикаторов широко используются разнородные данные из различных источников. Основная информация, финансовые показатели и данные о корпоративном управлении предприятий получены главным образом из баз данных Wind и CSMAR (China Stock Market & Accounting Research Database – база данных для исследований в области экономики и финансов Китая). Показатель инновационной эффективности рассчитывается путем сопоставления с патентной базой данных государственного управления интеллектуальной собственности, получения информации о патентах на изобретения, патентах на полезные модели и цитированиях патентов, поданных предприятиями ежегодно, что позволяет более точно охарактеризовать качество и влияние инноваций [11]. Измерение уровня цифровой трансформации выходит за рамки предыдущего одномерного подхода, используется многоиндикаторный индекс цифровизации на уровне предприятия, синтезированный из множества показателей, таких как анализ частоты цифровых ключевых слов на основе анализа текста годовых отчетов, доля основных средств ИТ (Информационные Технологии), программных активов и нематериальных активов, связанных с цифровыми технологиями, что повышает валидность конструкции и надежность измерения.

Благодаря вышеуказанной интеграции данных и структурному проектированию в конечном итоге формируется неравновесный панельный набор данных, включающий уровень цифровизации, результаты инноваций, характеристики сети поставок и характеристики гетерогенности предприятий. Этот набор данных не только обеспечивает прочную основу для последующего тестирования основных эффектов, анализа механизмов и выявления модераторных эффектов, но также создает воспроизводимую и расширяемую исследовательскую парадигму для изучения микропутей межкорпоративного инновационного сотрудничества и распространения знаний в цифровую эпоху (табл. 1).

Таблица 1. Описание переменных / ***Table 1***. Description of variables

Переменная	Обозначение	Метод измерения
Инновационная активность	INNOV	Количество заявленных патентов (логарифмированное)
Цифровизация компании	Digi_Firm	Индекс цифровых инвестиций (0-100)
Цифровизация поставщиков	Digi_Sup	Средний индекс цифровизации поставщиков
Цифровизация клиентов	Digi_Cust	Средний индекс цифровизации клиентов
Побочные эффекты технологии	TECH_SPILL	Коэффициент перекрестных упоминаний IT-технологий
Побочные эффекты информации	INFO_SPILL	Объем упоминания партнеров в отчетах (log)
Контрольные переменные	SIZE, AGE, ROA	Размер фирмы, возраст, должность

Источник: данные Национального статистического бюро Китая (https://www.stats.gov.cn/sj/).

Эмпирический анализ

Результаты регрессии показывают (табл. 2), что цифровизация целевой фирмы имеет статистически значимое положительное влияние на инновационную активность ($\beta 1 > 0$, $p < 0.01$). Более того, цифровизация поставщиков и клиентов также оказывает сильное положительное воздействие, подтверждая наличие сетевых spillover-эффектов (распространения побочных выгод) [12].

Таблица 2. Результаты панельной регрессии / ***Table 2***. Panel regression results

Переменная	Коэф. (β)	*p* - значение
DIGI_Firm	0,312***	0
DIGI_Sup	0,145**	0,021
DIGI_Cust	0,168**	0,013
TECH_SPILL	0,204***	0
INFO_SPILL	0,187***	0,001
SIZE	0,091*	0,078
AGE	-0,024	0,254
FOA	0,052*	0,089

Источник: данные Национального статистического бюро Китая (https://www.stats.gov.cn/sj/).

Технологические и информационные инновации представляют собой два основных механизма, движущих интегрированными инновациями в процессе цифровой трансформации предприятия. Они характеризуются четким разделением труда и логикой сотрудничества с точки зрения путей воздействия и целей передачи.

Технологические инновации в основном проявляются в глубоком применении цифровых производственных технологий, повышении уровня автоматизации процессов и разработке новых продуктов и услуг на основе передовых цифровых решений. Этот тип инноваций реструктурирует внутреннюю производственную логику и операционную парадигму предприятия, формируя технические интерфейсы и стандартизированные возможности, которые могут использоваться партнерами на всех этапах цепочки поставок, тем самым создавая технологическую основу для совместной эволюции с поставщиками на стороне предложения. Информационные инновации проявляются в развертывании архитектуры цифровых платформ и систем управления данными предприятия, а также в расширении многомерных связей с потребителями и поставщиками через цифровые каналы взаимодействия. Они не только меняют способы взаимодействия предприятий с внешними партнерами, но и укрепляют способность воспринимать и реагировать на поведение клиентов на стороне спроса [13].

Эти два типа инноваций не действуют изолированно, а оказывают структурное воздействие на ключевые узлы цепочки поставок по двум четким путям передачи. В технологическом плане цифровизация усиливает глубину и эффективность сотрудничества между предприятиями и поставщиками за счет синхронизации информационных потоков, снижения транзакционных издержек и повышения прозрачности взаимодействия. В информационном плане цифровизация реструктурирует модели интеграции с клиентами и механизмы совместного создания ценности, расширяя возможности персонализированных услуг, сокращая циклы реагирования на спрос и повышая качество предоставления услуг.

Именно эта прогрессивная логика «внутренней трансформации – внешней передачи – укрепления сети» позволяет эффектам цифровизации распространяться от одного предприятия на всю систему цепочки поставок. Поскольку технологические и информационные

инновации постоянно взаимодействуют, обмениваются обратной связью и накапливаются между вышестоящими и нижестоящими секторами, в цепочке поставок постепенно формируются институциональная среда и потенциал для интегрированных инноваций [14]. Эти инновации проявляются уже не в виде отдельных результатов НИОКР или локальной оптимизации, а превращаются в целостный набор системных возможностей, встроенных в процессы, продукты и взаимоотношения, в конечном итоге наделяя всю экосистему большей адаптивностью, устойчивостью и долгосрочной конкурентоспособностью.

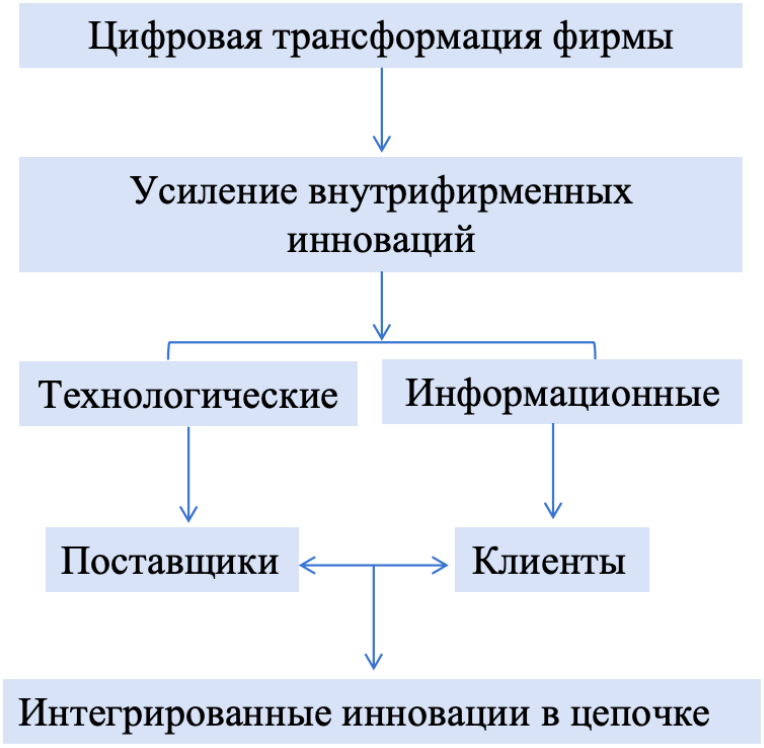


***Рис. 2**. Механизм влияния цифровизации на инновации*
Источник: разработано автором

***Fig. 2**. Mechanism of digitalization's impact on innovation*
Source: Developed by the author

Рисунок 2 иллюстрирует концептуальное влияние цифровой трансформации предприятия на интегрированные инновации в цепочке поставок. Как показывает рисунок, цифровая трансформация – это не изолированный внутренний процесс, а скорее сетевой катализатор, распространяющий инновации по всей цепочке создания стоимости.

На первом этапе цифровая трансформация предприятия активизирует внутренние инновационные процессы, повышает эффективность НИОКР, оптимизирует операционные процессы и ускоряет принятие решений. Полученные внутренние инновации распространяются по двум каналам: технологическому и информационному. Технологический канал обеспечивает передачу новых стандартов, интерфейсов и производственных решений поставщикам, тем самым способствуя стандартизации процессов и повышая межорганизационную совместимость [15]. Информационный канал, ориентированный на клиента, включает обмен данными о поведении потребителей, прогнозную аналитику и обратную связь, что позволяет корректировать продуктовые линейки и улучшать ценностные предложения. Двустороннее взаимодействие между участниками цепочки поставок создает

стабильную систему обмена знаниями, технологиями и ресурсами. В этой среде интегрированные инновации – это не просто сумма отдельных усилий на каждом этапе, а результат их совместного взаимодействия. Таким образом, предложенная модель наглядно демонстрирует, что цифровизация не только повышает внутреннюю эффективность, но и создает сетевые внешние эффекты, обеспечивая синергетический эффект для инноваций во всей экосистеме.

Этот сравнительный анализ отражает региональные различия в эффектах цифровизации и силе ее spillover-эффектов в разных частях Китая (табл. 3).

Таблица 3. Сравнительный анализ по регионам Китая

Table 3. Comparative analysis by Chinese regions

Регион	Эффект цифровизации (β1)	Сила spillovers
Восточный Китай	0,355***	Высокая
Центральный Китай	0,281**	Средняя
Западный Китай	0,192*	Низкая

Источник: данные Национального статистического бюро Китая (https://www.stats.gov.cn/sj/).

Данные сравнительного анализа свидетельствуют о влиянии цифровизации на экономику регионов (значение коэффициента $\beta 1$) и насколько сильно ее эффект «распространяется» за пределы отдельных фирм или отраслей [16].

Восточный Китай демонстрирует наибольший эффект цифровизации ($\beta 1 = 0.355$, высокая значимость ***) и сильные spillovers (побочные эффекты).

Центральный Китай имеет умеренный эффект ($\beta 1 = 0{,}281$**) и среднюю силу spillovers.

Западный Китай – минимальный эффект ($\beta 1 = 0{,}192$*) и низкий уровень spillovers.

Таким образом, это анализ влияния цифровизации на экономическое развитие регионов Китая с учетом силы региональных spillover-эффектов [17].

Результаты исследования в таблице 3 подчеркивают несколько важных аспектов:

1. Цифровизация имеет мультипликативный эффект. Она усиливает не только внутренние процессы, но и создает инновационный импульс для смежных компаний.

2. Технологические и информационные spillovers являются основными каналами. Через обмен ИТ(IT)-инфраструктурой и потоками данных цифровизация распространяется по всей цепочке.

3. Сетевые характеристики усиливают эффект. Чем более плотные и диверсифицированные связи у фирмы, тем сильнее влияние цифровизации.

4. Институциональные факторы. В регионах с развитой цифровой инфраструктурой и поддержкой государства эффекты сильнее, чем в слаборазвитых областях.

Заключение

На теоретическом уровне основной вклад данного исследования заключается в предложении и определении концепции «интегрированных инноваций», подчеркивается, что инновации больше не ограничиваются внутренним функциональным сотрудничеством внутри предприятий, а распространяются на интеграцию ресурсов и совместное наращивание потенциала на уровне цепочки поставок. Включение эффектов цифрового распространения в аналитическую структуру расширяет объяснительные границы теории открытых инноваций в цифровом контексте и обеспечивает аналитическую основу для последующих дискуссий о механизмах межкорпоративной технологической коэволюции и сов-

местного создания знаний. На практическом уровне результаты исследования имеют очевидные последствия как для предприятий, так и для политиков. Предприятиям следует активно продвигать цифровую интеграцию с поставщиками и клиентами, создавая стандартизированные и совместимые технические интерфейсы для раскрытия потенциальных преимуществ межорганизационного сотрудничества в сфере инноваций. Правительствам следует усилить инклюзивное внедрение цифровой инфраструктуры и ускорить разработку правовой и нормативной базы, охватывающей вопросы владения данными, их обращения, торговли и управления безопасностью, обеспечивая институциональные гарантии для межкорпоративного сотрудничества в области данных.

Будущие исследования могут дополнительно изучить механизмы, посредством которых новые технологии, такие как искусственный интеллект и цифровые двойники, выступают в качестве новых движущих сил интегрированных инноваций; сосредоточиться на нелинейных и многоуровневых моделях сотрудничества в сфере инноваций между множеством заинтересованных сторон в рамках платформенных экосистем; а также путем объединения данных долгосрочного отслеживания изучить динамическую эволюцию эффектов распространения цифровых технологий и их неоднородную эффективность в различных отраслевых контекстах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гарифуллин Б. М., Зябриков В. В.* Цифровая трансформация бизнеса: модели и алгоритмы // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 9. С. 1345–1358 DOI: 10.18334/ce.12.9.39332

2. *Нигай Е. А.* Процесс цифровизации бизнеса: от точечной оцифровки бизнес-процессов к цифровой трансформации // Экономическая теория, анализ, практика. 2022. № 2. С. 134–145. DOI: 10.24412/2071-6435-2022-2-134-145

3. *Рахимова З. Н.* Цифровая трансформация бизнеса // Журнал «У». Экономика. Управление. Финансы. 2021. № 4(26). С. 89–96. EDN: SNYYLY

4. *Измайлов М. К.* Изменение ценностей и ориентиров управления промышленными предприятиями в рамках цифровой трансформации // Бенефиций. 2022. № 4(45). С. 51–58. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.4(45).51-58

5. *Вылгина Ю. В., Шишова А. С.* Обзор подходов к оценке уровня цифровой зрелости организации // Информация и инновации. 2022. Т. 17. № 2. С. 64–75. DOI: 10.31432/1994-2443-2022-17-2-64-75

6. *Корхов А. В.* Факторы управления структурными трансформациями региональных промышленных систем // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2023. Т. 11. № 4(63). С. 117–127.

7. *Осипов В. А., Красова Е. В., Вичковский Н. А.* Современные подходы к стратегическому управлению на предприятии в условиях неопределенности // Лидерство и менеджмент. 2022. Т. 9. № 4. С. 1015–1032. DOI: 10.18334/lim.9.4.116639

8. *Мартынова Ю. А.* Инновационные стратегии и управление изменениями в промышленном комплексе: адаптация к динамическим рыночным условиям и технологическим тенденциям // Инновации и инвестиции. 2023. № 6. С. 9–12.

9. *Бабаева З. Ш.* Стратегическое управление и устойчивое развитие экономики // Международная торговля и торговая политика. 2024. Т. 10. № 1(37). С. 51–63. DOI: 10.21686/2410-7395-2024-1-51-63

10. *Симакин Г. А.* Политика управления финансовой устойчивостью предприятия в цифровой экономике // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2021. № 5. С. 216–218. DOI: 10.23672/w1541-6115-0392-j

11. Yan Yu. Digital transformation and customer enterprise innovation-from the perspective of supply chain spillover effects. *Finance Research Letters*. 2025. Vol. 76. Pp. 10–14. DOI: 10.1016/j.frl.2025.106941

12. *Liu C., Yi L., Fu G.* Spatial correlation network structure characteristics and evolution mechanism of the digital economy levels in three major urban agglomerations in the yangtze river economic belt // Economic Geography. 2026. Vol. 46. Pp. 59–69. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2026.02.006

13. *Zhang Y., Ma X., Pang J. et al.* The impact of digital transformation of manufacturing on corporate performance – The mediating effect of business model innovation and the moderating effect of innovation capability // Research in International Business and Finance. 2023. Vol. 64. Pp. 10–18. DOI: 10.1016/j.ribaf.2023.101890

14. *Xiong Y.* The impact of artificial intelligence and digital economy consumer online shopping behavior on market changes // Discrete Dynamics in Nature and Society. 2022. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2022/9772416

15. *Xu L., Guo L.* The effects of digital transformation on firm performance: evidence from china's manufacturing sector // Sustainability. 2021. Vol. 13(22). P. 12844. DOI: 10.3390/su132212844

16. *Lazareva E.I., Xiaowen Z.H.* Digital transformation as the source of economic development in China Bulletin of Hgher Education Institutes // Northern-Caucasus Region. Social Sciences. 2022. Vol. 2(214). Pp. 120–128. DOI: 10.18522/2687-0770-2022-2-120-128

17. *Zheng Y., Liu P.* Impact mechanism and spatial difference of digital economy on industrial chain modernization // Geographical Research. 2025. Vol. 44. Pp. 2988–3008. DOI: 10.11821/dlyj020240998

REFERENCES

1. Garifullin B.M., Zyabrikov V.V. Digital transformation of business: models and algorithms. *Journal of Creative Economy*. 2018. Vol. 12. No. 9. Pp. 1345–1358. DOI: 10.18334/ce.12.9.39332. (In Russian)

2. Nigay E.A. Business digitalization process: from point-to-point business process digitization to digital transformation. *Economic Theory, Analysis, and Practice*. 2022. No. 2. Pp. 134–145. DOI: 10.24412/2071-6435-2022-2-134-145. (In Russian)

3. Rakhimova Z.N. Digital transformation of business. *Journal "U". Economy. Management. Finance.* 2021. No. 4(26). Pp. 89–96. EDN: SNYYLY. (In Russian)

4. Izmaylov M.K. Changing values and guidelines for the management of industrial enterprises in the framework of digital transformation. *Beneficium.* 2022. Vol. 4(45). Pp. 51–58. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.4(45).51-58. (In Russian)

5. Vylgina Yu.V., Shishova A.S. Review of approaches to level assessment the digital maturity of the organization. *Information and Innovations*. 2022. Vol. 17. No. 2. Pp. 64–75. DOI: 10.31432/1994-2443-2022-17-2-64-75. (In Russian)

6. Korkhov A.V. Factors governing the structural transformations of regional industrial systems. *Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice*. 2023. Vol. 11. No. 4 (63). Pp. 117–127. (In Russian)

7. Osipov V.A., Krasova E.V., Vichkovskiy N.A. Current approaches to strategic management in a company amidst uncertainty. *Leadership and Management.* 2022. Vol. 9. No. 4. Pp. 1015–1032. DOI: 10.18334/lim.9.4.116639. (In Russian)

8. Martynova Yu.A. Innovative strategies and change management in the industrial complex: adaptation to dynamic market conditions and technological trends. *Innovations and Investments*. 2023. No. 6. Pp. 9–12. (In Russian)

9. Babaeva Z.Sh. Strategic management and sustainable economic development. *International Trade and Trade Policy.* 2024. Vol. 10. No. 1(37). Pp. 51–63. DOI: 10.21686/2410-7395-2024-1-51-63. (In Russian)

10. Simakin G.A. The policy of managing the financial stability of the enterprise in the digital economy. *Humanities, Socio-Economic and Social Sciences.* 2021. No. 5. Pp. 216–218. DOI: 10.23672/w1541-6115-0392-j. (In Russian)

11. Yan Yu. Digital transformation and customer enterprise innovation-from the perspective of supply chain spillover effects. *Finance Research Letters*. 2025. Vol. 76. Pp. 10–14. DOI: 10.1016/j.frl.2025.106941

12. Liu C., Yi L., Fu G. Spatial correlation network structure characteristics and evolution mechanism of the digital economy levels in three major urban agglomerations in the yangtze river economic belt. *Economic Geography*. 2026. Vol. 46. Pp. 59–69. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2026.02.006

13. Zhang Y., Ma X., Pang J. et al. The impact of digital transformation of manufacturing on corporate performance – The mediating effect of business model innovation and the moderating effect of innovation capability. *Research in International Business and Finance*. 2023. Vol. 64. Pp. 10–18. DOI: 10.1016/j.ribaf.2023.101890

14. Xiong Y. The impact of artificial intelligence and digital economy consumer online shopping behavior on market changes. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2022. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2022/9772416

15. Xu L., Guo L. The effects of digital transformation on firm performance: evidence from china's manufacturing sector. *Sustainability.* 2021. Vol. 13(22). P. 12844. DOI: 10.3390/su132212844

16. Lazareva E.I., Xiaowen Z.H. Digital transformation as the source of economic development in China Bulletin of Hgher Education Institutes. *Northern-Caucasus Region. Social Sciences*. 2022. Vol. 2(214). Pp. 120–128. DOI: 10.18522/2687-0770-2022-2-120-128

17. Zheng Y., Liu P. Impact mechanism and spatial difference of digital economy on industrial chain modernization. *Geographical Research*. 2025. Vol. 44. Pp. 2988–3008. DOI: 10.11821/dlyj020240998

Финансирование. Работа выполнена в рамках исполнения плана аспиранта.

Funding. The work was carried out within the framework of the author's postgraduate research plan.

Информация об авторе

Пань Юйцяо, аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29;
yuqiao1440632676@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-4129-7554

Information about the author

Pan Yuqiao, Postgraduate Student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; 29, Polytechnicheskaya street, Saint Petersburg, 195251, Russia;
yuqiao1440632676@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0005-4129-7554

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 338.46 Научно-аналитическая статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-433-442
WJILRN

Концептуальное описание методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала цифровой образовательной среды

Т. Е. Саратова

Институт информационных технологий
МИРЭА – Российский технологический университет
119454, Россия, Москва, пр-кт Вернадского, 78, стр. 4

Аннотация. В статье рассматривается концептуальное представление методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала цифровой образовательной среды. Актуальность исследования обусловлена возрастающей ролью информационных ресурсов и интеллектуальных компонентов в процессах поддержки принятия решений участниками образовательного процесса. Несмотря на активное развитие цифровых образовательных сред, вопросы оценки эффективности использования информационно-ресурсного потенциала остаются недостаточно разработанными.

Цель исследования. Разработка концептуального представления методологии оценки и повышения эффективности использования ресурсного потенциала цифровой образовательной среды на основе анализа информационно-ресурсных потоков и интеллектуального сопровождения участников образовательного процесса.

Методы исследования. Использованы методы системного анализа цифровых образовательных сред, концептуального и математического моделирования, а также элементы теории массового обслуживания. Цифровая образовательная среда рассматривается как система циркуляции информационных ресурсов, в которой данные выступают ключевым ресурсом, определяющим эффективность функционирования среды.

Результаты. Разработана концептуальная структура методологии, объединяющая архитектурные, ресурсные и интеллектуальные компоненты цифровой образовательной среды. Предложена математическая модель оценки ресурсного потенциала, учитывающая объем информационных ресурсов, интенсивность поступления и обработки данных, сложность сценариев взаимодействия и влияние интеллектуального сопровождения. Выполнен анализ показателей эффективности использования информационных ресурсов при различных вариантах функционирования цифровой образовательной среды.

Выводы. Предложенная методология позволяет осуществлять количественную оценку эффективности использования информационных ресурсов цифровой образовательной среды и рассматривать данные как стратегический ресурс поддержки принятия решений. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании, развитии и мониторинге интеллектуально ориентированных образовательных платформ.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда, ресурсный потенциал, информационные ресурсы, информационно-ресурсные потоки, интеллектуальное сопровождение, цифровой след, анализ данных, поддержка принятия решений, математическое моделирование

Поступила 14.05.2026, одобрена после рецензирования 25.06.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Саратова Т. Е. Концептуальное описание методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала цифровой образовательной среды // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 433–442. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-433-442

© Саратова Т. Е., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Scientific-analytical article

Conceptual overview of methodology for leveraging the resource potential of digital learning environment

T.E. Saratova

Institute of Information Technologies
MIREA – Russian Technological University
78, Vernadskogo avenue, building 4, Moscow, 119454, Russia

Abstract. The article presents a conceptual description of a methodology for enhancing the efficiency of utilizing the resource potential of a digital educational environment. The relevance of the study is determined by the growing role of information resources and intelligent support tools in decision-making processes within digital learning ecosystems. Despite the active development of digital educational platforms, the issues of assessing the efficiency of information resource utilization remain insufficiently studied.

Aim. To develop a conceptual framework for evaluating and enhancing the resource potential efficiency of a digital educational environment, based on the analysis of information resource flows and intelligent support for educational process participants.

Methods. The study employs systems analysis methods for digital educational environments, conceptual and mathematical modeling, as well as elements of queueing theory. The digital educational environment is conceptualized as an information-flow circulation system in which data act as a key asset determining overall efficiency. The proposed methodology formalizes indicators for data volume, inflow, and processing intensity, alongside the influence of intelligent components on resource utilization efficiency.

Results. A conceptual methodology integrating the architectural, resource-based, and intelligent components of a digital educational environment has been developed. A mathematical model for assessing resource potential is proposed, taking into account information resource volumes, data flow rates, interaction scenario complexity, and the impact of intelligent support mechanisms. The proposed approach enables the analysis and evaluation of information resource utilization efficiency under various operating conditions of the ecosystem.

Conclusions. The proposed methodology provides a basis for quantitatively assessing information resource utilization efficiency and positions data as a strategic asset for decision-making. The obtained results can be applied to the design, development, and monitoring of intelligent digital educational platforms and decision-support systems.

Keywords: digital educational environment, resource potential, information resources, information-resource flows, intelligent support, digital footprint, data analysis, decision support, mathematical modeling

Submitted 14.05.2026, approved after reviewing 25.06.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Saratova T.E. Conceptual overview of methodology for leveraging the resource potential of digital learning environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 433–442. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-433-442

Введение

Цифровая образовательная среда (ЦОС) представляет собой сложную систему, в которой осуществляется непрерывный обмен информацией, анализ и генерация значительных объемов данных. При этом наличие ресурсов обработки информации при взаимодействии участников образовательного процесса не гарантирует эффективное их использование. На практике преобладает ситуация, при которой значительная часть информации не учитывается при анализе и принятии решений, что оказывает влияние на общий уровень ресурсного потенциала [1, 2].

© Saratova T.E., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Анализ работ по оптимизации использования материально-технических ресурсов показал актуальность темы исследования в связи с тем, что приоритетными показателями оценки чаще выступают гибкость, мобильность и мультиплатформенность компонентов ЦОС [3, 4]. Также к показателям эффективности в исследованиях относятся динамика образовательных результатов и уровень цифровой грамотности участников ЦОС с учетом количественной оценки по критериям количество технических инструментов, скорость доступа к данным и безопасность контента [5, 15]. На сегодняшний день в недостаточной степени исследованы подходы к оценке ресурсного потенциала архитектур ЦОС с интеллектуальным сопровождением с учетом значительных программных решений по применению технологий искусственного интеллекта в образовательной среде [6, 7].

Следует отметить, что отдельные аспекты оценки эффективности использования информационных ресурсов рассматриваются в работах по управлению ИТ-ресурсами, оценке производительности информационных систем и теории систем массового обслуживания. В данных исследованиях основное внимание уделяется показателям загрузки ресурсов, времени обработки запросов, пропускной способности и устойчивости функционирования информационных систем. Однако существующие подходы ориентированы преимущественно на технические характеристики инфраструктуры и не учитывают специфику цифровой образовательной среды, связанную с интеллектуальным сопровождением пользователей, анализом цифрового следа и сложностью сценариев взаимодействия участников образовательного процесса. Это обусловливает необходимость разработки специализированной методологии оценки ресурсного потенциала ЦОС.

Цели и задачи исследования

Анализ исследований функционирования и применения ЦОС показывает, что она преимущественно рассматривается с технической точки зрения в виде набора инструментов администрирования взаимодействия участников или же в качестве среды реализации педагогических методик и подходов. При этом экономические аспекты, связанные с оценкой ресурсного потенциала, управлением информационными ресурсами, остаются недостаточно разработанными.

Таким образом, проблема заключается в отсутствии методологии оценки и повышения эффективности использования ресурсного потенциала ЦОС на основе формализации и концептуального представления информационно-ресурсных потоков. Цель исследования состоит в разработке концептуального представления методологии оценки и повышения эффективности использования ресурсного потенциала ЦОС.

Для достижения поставленной цели исследования сформулированы следующие задачи:

1. Выявить ключевые сущности и отношения концептуального представления методологии информационно-ресурсного потенциала ЦОС.

2. Формализовать структуру методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала.

3. Аналитически описать этап оценки эффективности ресурсного потенциала ЦОС.

4. Проанализировать результаты представленной концептуальной структуры методологии ЦОС.

Методы исследования

К компонентам методологии оценки ресурсного потенциала в ЦОС относятся:

- технологический, включающий архитектуру ЦОС и систему поддержки принятия решений при взаимодействии участников образовательной среды;

- методологический с концептуальным представлением взаимодействия пользователей в системе и аннотирования сценариев при интеллектуальном сопровождении участников ЦОС.

Детализация компонентов дополненной архитектуры ЦОС приводилась автором в других исследованиях [9–11], рассмотрим архитектуру ЦОС по уровням с описанием дополненных компонентов (рис. 1).

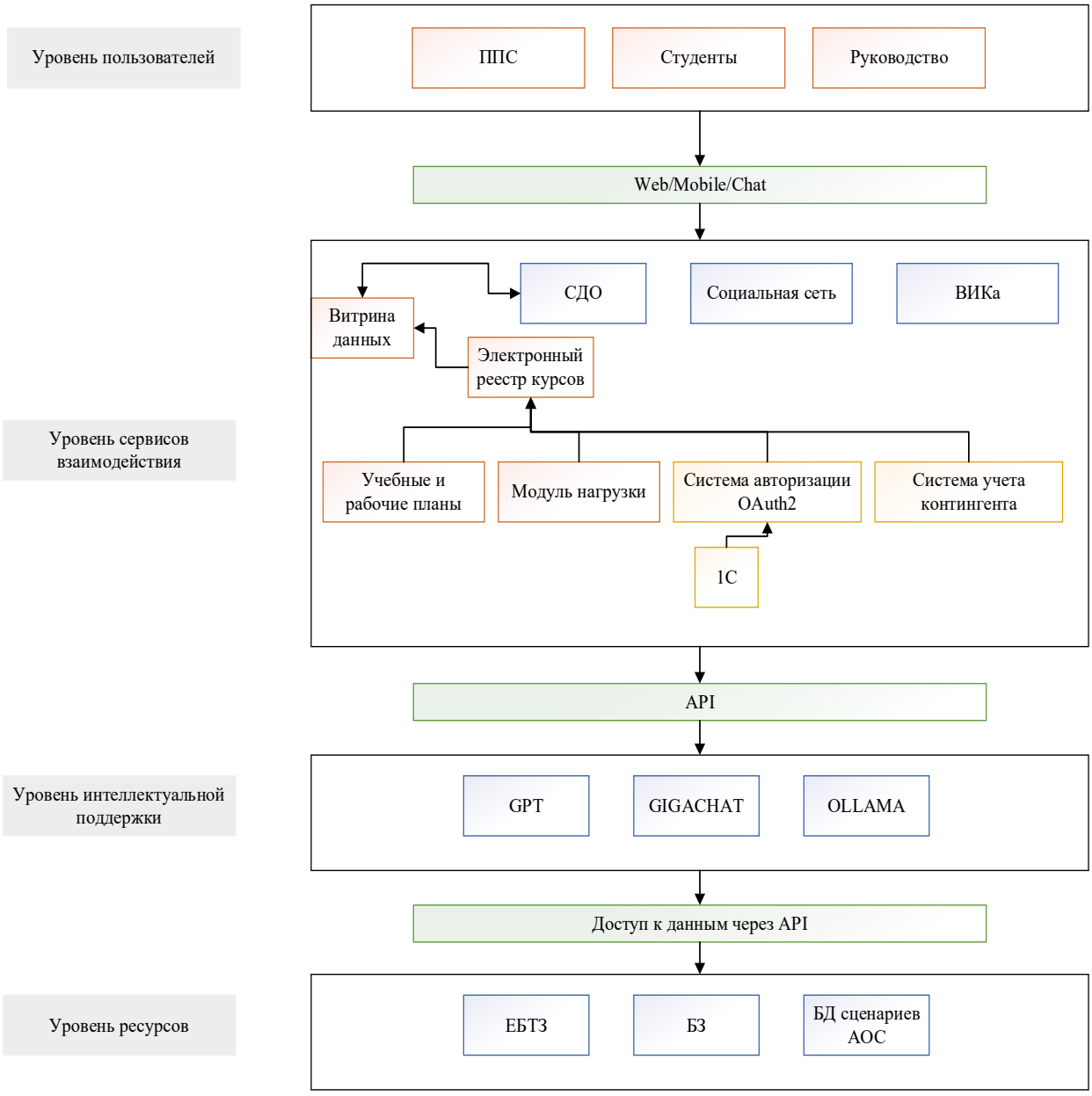


***Рис. 1**. Схема уровневого представления архитектуры ЦОС*

***Fig. 1**. Layered architecture of the digital educational environment*

В архитектуре ЦОС инструментами коммуникации выступают социальные сети и чат-боты. При этом для анализа и оценки информационно-ресурсного потенциала используется слой (уровень) ресурсов, в частности объемы хранимой информации и обработка сценариев при интеллектуальном сопровождении участников образовательного процесса.

Для оценки ресурсного потенциала особую значимость представляет уровень ресурсов и сервисов взаимодействия. Значения показателей по логам активности и поведенческих данных в единицу времени берем из уровня интеллектуальной поддержки [12–14].

Для оценки эффективности информационных ресурсов ЦОС использовали зависимость «объем информационного ресурса – потоки его движения – процессы обработки – результат использования». Концептуальное описание компонентов рассматриваемой методологии можно представить следующим образом (рис. 2).

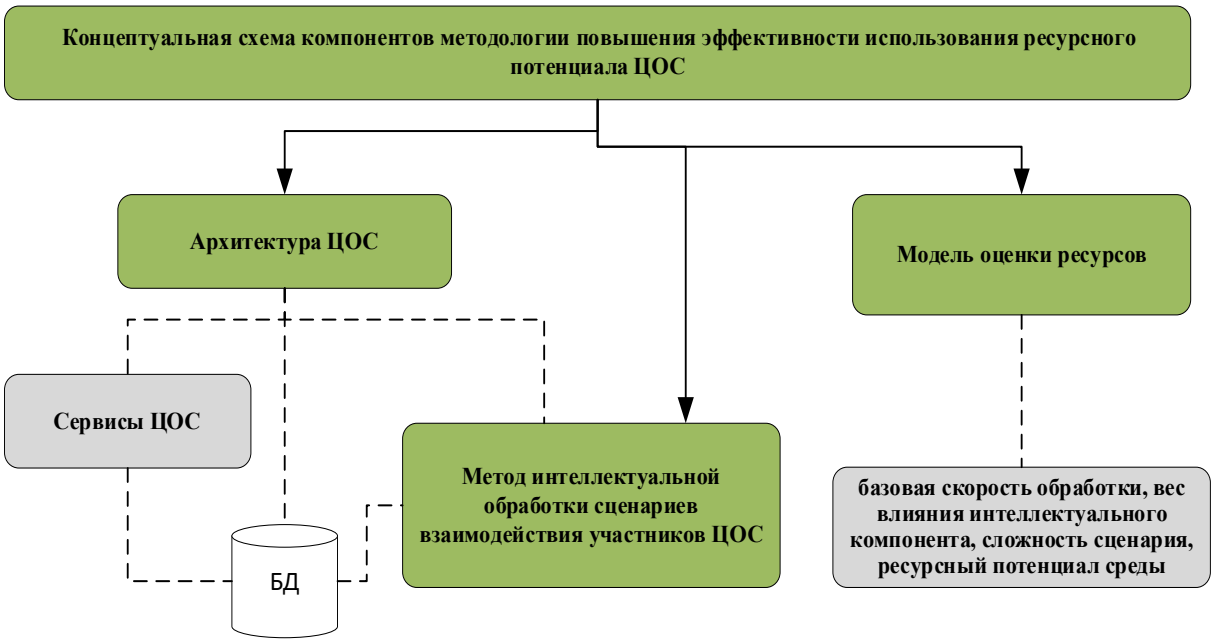


***Рис. 2**. Концептуальная схема компонентов оценки эффективности ресурсного потенциала ЦОС*

***Fig. 2.** Conceptual framework of components for evaluating DEE resource potential efficiency*

Результаты исследования

В рамках предложенной методологии ЦОС рассматривается как система циркуляции информационных ресурсов, в которой данные переходят из состояния потенциальной ценности в реализованный эффективный информационно-ресурсный поток (1)

$$D_i = (V_i, \lambda_i, \mu_i), \tag{1}$$

где V_i – объем информационного ресурса (данных);

λ_i – интенсивность поступления данных;

μ_i – интенсивность обработки данных.

Динамика изменения объема данных определяется выражением (2):

$$\frac{dV_i}{dt} = \lambda_i(t) - \mu_i(t) \cdot V_i(t). \tag{2}$$

Выражение (2) позволяет оценить баланс между поступлением и обработкой информационных ресурсов в ЦОС. В ЦОС обработка данных реализуется с использованием интеллектуальных компонентов. Для корректной оценки введем коэффициент интеллектуального сопровождения (3):

$$a_j \in [0,1], \tag{3}$$

где a_j – уровень использования j-го интеллектуального компонента.

Тогда интенсивность обработки определяется через скорость обработки с учетом веса значимости интеллектуального компонента модифицированной архитектуры ЦОС (4):

$$\mu_i(t) = \mu_{0i} \cdot (1 + \sum_j \alpha_j(t) w_j), \quad (4)$$

где μ_{0i} – базовая скорость обработки;

w_j – вес влияния интеллектуального компонента.

Таким образом, интеллектуальное сопровождение увеличивает скорость обработки информационных потоков. С учетом аннотирования сценариев необходимо ввести показатель сложности (5):

$$S_i \geq 1, \quad (5)$$

где S_i – сложность сценария взаимодействия участников ЦОС.

Тогда эффективная скорость обработки описывается следующим выражением (6):

$$\mu_i^{eff} = \frac{\mu_i}{S_i}. \quad (6)$$

То есть, чем сложнее сценарий, тем больше ресурсов требуется на его обработку. Ресурсное обеспечение процесса описывается вектором (7):

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ik}), \quad (7)$$

где r_{ik} – использование k-го ресурса.

Интегральная стоимость ресурсов (8):

$$C_i = \sum_k \beta_k \cdot r_k, \quad (8)$$

где β_k – вес ресурса.

Среднее время обработки потока (9):

$$t_i = \frac{V_i}{\mu_i^{eff}}. \quad (9)$$

С учетом подстановки получим выражение (10):

$$t_i = \frac{V_i S_i}{\mu_{0i}(1+\sum_j \alpha_j w_j)}. \quad (10)$$

Эффективность использования ресурсов i-го потока (11):

$$E = \frac{V_i}{C_i \cdot t_i}. \quad (11)$$

Подставляя (10) в (11), получим:

$$E_i = \frac{\mu_{0i}(1+\sum_j \alpha_j w_j)}{C_i \cdot S_i}. \quad (12)$$

Общий ресурсный потенциал среды при этом определяется выражением (13):

$$P = \sum_i E_i. \quad (13)$$

Не в интегральной форме (14):

$$P = \frac{\sum_i V_i}{\sum_i C_i \cdot t_i}. \quad (14)$$

При потоковой обработке данных система может быть представлена как система массового обслуживания. Условие устойчивости определяется через (15):

$$\lambda_i < \mu_i. \quad (15)$$

Среднее время ожидания (16):

$$W_i = \frac{1}{\mu_i - \lambda_i}. \quad (16)$$

С учетом всех факторов итоговая модель может быть представлена как (17)

$$P = \sum_i \frac{\mu_{0i}(1+\sum_j \alpha_j w_j)}{(\sum_k \beta_k r_{ik})\cdot s_i}. \quad (17)$$

Для иллюстрации возможностей предложенной методологии рассмотрим пример оценки эффективности использования информационных ресурсов цифровой образовательной среды при одинаковом объеме поступающих данных. Сравнение проводится для двух вариантов функционирования ЦОС: без применения интеллектуального сопровождения и с использованием интеллектуальных компонентов поддержки обработки данных. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Пример оценки эффективности использования информационных ресурсов ЦОС

Table 1. Example of evaluating the efficiency of DEE information resource utilization

Показатель	До внедрения интеллектуального сопровождения	После внедрения интеллектуального сопровождения
Объем поступающих данных, усл. ед./сутки	1000	1000
Объем обработанных данных, усл. ед./сутки	650	900
Коэффициент использования информационных ресурсов (обработанные данные / поступившие данные)	0,65	0,9
Среднее время обработки запроса, мин.	15	8
Количество необработанных запросов	350	100

Рассмотренные этапы реализации модели являются частью методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала. Оценку осуществляли с учетом показателей интеллектуального сопровождения при реализации сценариев взаимодействия пользователей ЦОС на основе дополненных компонентов модифицированной архитектуры. Дальнейшим направлением исследования является экспериментальная оценка результатов предложенной модели на основе репрезентативных данных из реальных сценариев взаимодействия участников ЦОС с учетом ресурсного потенциала рассматриваемой среды.

Заключение

В статье представлено концептуальное описание методологии повышения эффективности использования ресурсного потенциала цифровой образовательной среды на основе анализа информационно-ресурсных потоков и интеллектуального сопровождения участников образовательного процесса. Предложенный подход позволяет рассматривать данные не только как объект хранения и обработки, но и как стратегический ресурс, определяющий эффективность функционирования цифровой образовательной среды.

Разработанная методология объединяет архитектурный, ресурсный и интеллектуальный аспекты ЦОС в единую систему оценки. В рамках исследования сформировано концептуальное представление ключевых сущностей и связей, определяющих процессы формирования и использования ресурсного потенциала, а также предложена математическая модель, учитывающая объемы информационных ресурсов, интенсивность поступления и обработки данных, влияние интеллектуальных компонентов и сложность сценариев взаимодействия участников образовательного процесса.

Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности количественной оценки эффективности использования информационных ресурсов, выявления факторов, влияющих на производительность цифровой образовательной среды, а также поддержки принятия управленческих решений при проектировании и развитии интеллектуально ориентированных образовательных платформ.

Вместе с тем предложенная методология ориентирована на оценку информационно-ресурсных процессов и не охватывает в полном объеме педагогические, организационные и социально-психологические факторы, влияющие на эффективность функционирования цифровой образовательной среды. Кроме того, при формализации ресурсного потенциала использован агрегированный подход к описанию информационных потоков и интеллектуальных компонентов, что требует дальнейшей детализации отдельных показателей для различных типов образовательных организаций и сценариев взаимодействия участников образовательного процесса.

Предложенная методология создает основу для дальнейшего развития инструментов мониторинга, анализа и управления ресурсным потенциалом цифровых образовательных сред, а также может быть использована при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений в условиях интенсивного роста объемов данных и усложнения цифрового взаимодействия участников образовательного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Уваров А. Ю., Гейбл Э., Дворецкая И. В. и др.* Трудности и перспективы цифровой трансформации образования / под ред. А. Ю. Уварова, И. Д. Фрумина. М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2019. 344 с. ISBN: 978-5-7598-1990-5. DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5

2. *Шматко А. Д., Чабаненко А. В., Степашкина А. С.* Внедрение аддитивных технологий и технологий искусственного интеллекта в образовательный процесс // Актуальные проблемы труда и развития человеческого потенциала. 2021. Вып. 4(21). С. 15–24. EDN: GMZFJX

3. *Галущенко О. В.* Информационно-аналитическая деятельность в современном обществе // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. 2009. № 3(151). С. 5–8. EDN: KVXQSV

4. *Демаков В. И., Ларионова Е. Ю., Голодков Ю. Э., Рерке В. И.* Сравнительный обзор статистических пакетов для анализа данных // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2023. № 3. С. 78–89. DOI: 10.18101/2304-5728-2023-3-78-89. EDN: ZFRRLL

5. *Поддуба С. Г., Осипова О. П.* Цифровая образовательная среда как стратегический ресурс профессионального развития педагогических работников (на примере НОЧУ СОШ «Центр образования “Самсон”») // Наука и школа. 2022. № 5. С. 59–71. DOI: 10.31862/1819-463X-2022-5-59-71. EDN: TMLXAQ

6. *Положенцева Ю. С., Клевцова М. Г.* Трансформация развития промышленного комплекса в условиях цифровой экономики // Вестник университета. 2021. № 2. С. 71–79. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-2-71-79. EDN: RBJZPC

7. *Куркина Н. Р., Стародубцева Л. В.* Цифровая образовательная среда как инструмент повышения эффективности управления образовательной организацией // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11-1. С. 220–224. EDN: WCRZCG

8. *Беликов И. В., Вербицкий В. К., Пономарев А. К.* Модернизация: корпоративное управление и инновации // Экономические стратегии. 2010. Т. 12. № 9(83). С. 22–27. EDN: MVMUPT

9. *Смоленцева Т. Е.* Анализ структурных элементов цифровой образовательной среды // Безопасность. Управление. Искусственный интеллект. 2024. Т. 4. № 4(4). С. 8–11. EDN: MMMNHG

10. *Buinevich M., Shkerin A., Smolentseva T., Puchkova M.* On the implementation of residual knowledge continuous assessment technology in an educational organization using artificial intelligence tools // Proceedings of the 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE). IEEE, 2024. Pp. 111–114. DOI: 10.1109/TELE62556.2024.10605664

11. *Саратова Т. Е.* Интеллектуально ориентированная архитектура цифровой образовательной среды // Информационные технологии и телекоммуникации. 2025. Т. 13. № 3. С. 18–25. DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-3-18-25. EDN: YIPKKQ

12. *Давлатзода С. Х.* Цифровизация университета как средство интеграции в мировое образовательное пространство // Education. Quality Assurance. 2022. № 3(28). С. 27–30. DOI: 10.58319/26170493_2022_3_27

13. *Чипчагов М. С.* Многовариантная модель для системы планирования действий в интеллектуальных робототехнических системах // Нейрокомпьютеры и их применение: тезисы докладов. М.: Московский государственный психолого-педагогический университет, 2018. С. 284–285. EDN: XMMALJ

14. *Бочкина Е. В.* Способы взаимодействия между преподавателями и студентами в образовательных пространствах вуза // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 7-1(70). С. 107–109. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-7-1-107-109. EDN: GNVVFY

15. *Бушуева Е. В.* Зачем нужна цифровизация образования: понятие и задачи цифровизации // Педагогика, психология, общество: от теории к практике : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Чебоксары, 20 сентября 2022 г. / под ред. Ж. В. Мурзиной. Чебоксары : Издательский дом «Среда», 2022. С. 81–82. EDN: XIZEDO

REFERENCES

1. Uvarov A.Yu., Gable E., Dvoretskaya I.V. et al. *Difficulties and prospects of digital transformation of education*. Edited by A.Y. Uvarov and I.D. Frumin. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2019. 344 p. DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5. (In Russian)

2. Shmatko A.D., Chabanenko A.V., Stepashkina A.S. Introduction of additive technologies and artificial intelligence technologies into the educational process. *Actual Problems of Labor and Human Potential Development*. 2021. No. 4(21). Pp. 15–24. EDN: GMZFJX. (In Russian)

3. Galushchenko O.V. Information and analytical activity in modern society. *Izvestiya Vuzov. North Caucasus Region. Social Sciences*. 2009. No. 3. Pp. 5–8. EDN: KVXQSV. (In Russian)

4. Demakov V.I., Larionova E.Yu., Golodkov Yu.E., Rerke V.I. Comparative review of statistical packages for data analysis. *Bulletin of Buryat State University. Mathematics and Informatics*. 2023. No. 3. Pp. 78–89. DOI: 10.18101/2304-5728-2023-3-78-89. EDN: ZFRRLL. (In Russian)

5. Podduba S.G., Osipova O.P. Digital educational environment as a strategic resource for the professional development of teaching staff (case study of Samson Education Center). *Science and School*. 2022. No. 5. Pp. 59–71. DOI: 10.31862/1819-463X-2022-5-59-71. EDN: TMLXAQ. (In Russian)

6. Polozhentseva Yu.S., Klevtsova M.G. Transformation of industrial complex development in the digital economy. *Vestnik Universiteta*. 2021. No. 2. Pp. 71–79. DOI: 10.26425/1816-4277-2021-2-71-79. EDN: RBJZPC. (In Russian)

7. Kurkina N.R., Starodubtseva L.V. Digital educational environment as a tool for improving the effectiveness of educational organization management. *Modern High Technologies*. 2019. No. 11-1. Pp. 220–224. EDN: WCRZCG. (In Russian)

8. Belikov I.V., Verbitsky V.K., Ponomarev A.K. Modernization: corporate governance and innovation. *Economic Strategies*. 2010. No. 12(9). Pp. 22–27. EDN: MVMUPT. (In Russian)

9. Smolentseva T.E. Analysis of structural elements of the digital educational environment. *Safety. Management. Artificial Intelligence*. 2024. No. 4(4). Pp. 8–11. EDN: MMMNHG. (In Russian)

10. Buinevich M., Shkerin A., Smolentseva T., Puchkova M. On the implementation of residual knowledge continuous assessment technology in an educational organization using artificial intelligence tools. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE)*. IEEE. 2024. Pp. 111–114. DOI: 10.1109/TELE62556.2024.10605664

11. Saratova T.E. Intellectually oriented architecture of the digital educational environment. *Information Technologies and Telecommunications*. 2025. No. 13(3). Pp. 18–25. DOI: 10.31854/2307-1303-2025-13-3-18-25. EDN: YIPKKQ. (In Russian)

12. Davlatzoda S.Kh. Digitalization of the university as a means of integration into the global educational space. *Education. Quality Assurance*. 2022 No. 3(28). Pp. 27–30. DOI: 10.58319/26170493_2022_3_27. (In Russian)

13. Chipchagov M.S. A multivariate model for an action planning system in intelligent robotic systems. *Neurocomputers and Their Application: Conference Proceedings*. Moscow. 2018. Pp. 284–285. EDN: XMMALJ. (In Russian)

14. Bochkina E.V. Ways of interaction between teachers and students in university educational spaces. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022. No. 7-1(70). Pp. 107–109. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-7-1-107-109. EDN: GNVVFY. (In Russian)

15. Bushueva E.V. Why digitalization of education is necessary: concept and objectives of digitalization. *Pedagogy, Psychology and Society: From Theory to Practice. Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Cheboksary: Sreda Publishing House. 2022. Pp. 81–82. EDN: XIZEDO. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Саратова Татьяна Евгеньевна, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной математики Института информационных технологий, МИРЭА – Российский технологический университет;
119454, Россия, Москва, пр-кт Вернадского, 78, стр. 4;
saratova@mirea.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4810-8734, SPIN-код: 2383-6811

Information about the author

Tatiana E. Saratova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, Institute of Information Technology, MIREA – Russian Technological University;
78, Vernadskogo avenue, building 4, Moscow, 119454, Russia;
saratova@mirea.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4810-8734, SPIN-code: 2383-6811

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 331.101.3 Исследовательская статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-443-457
XFPTVI

Многоуровневая модель факторов стимулирования менеджеров в системе управления организационной культурой организаций социальной сферы

А. С. Щекин[1], А. А. Урасова[✉ 2]

[1]Верещагинский филиал государственного бюджетного учреждения Пермского края
«Центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи»
617120, Россия, Пермский край, г. Верещагино, ул. Ленина, 18
[2]Пермский филиал Института экономики УрО РАН
614000, Россия, г. Пермь, ул. Ленина 50, оф. 91А

Аннотация. Современные условия обострения внешнеэкономической и геополитической обстановки выводят проблемы развития социальной сферы в русло сохранения и развития организационной культуры и качества управления.

Цель исследования – изучение, каким образом управление организационной культурой организаций социальной сферы воздействует на систему ценностей, норм, методов управления и коммуникаций, через которые формируется отношение менеджеров к труду и принимаемым решениям.

Материалы и методы исследования. В работе использованы логико-структурный анализ научных источников, а также формально-логический метод для разработки многоуровневой модели факторов стимулирования менеджеров.

Результаты. Доказано, что стимулирование управленческого персонала зависит от комплекса материальных или нематериальных инструментов, а условия их действия возникают на нескольких уровнях – от институционального регулирования и отраслевых особенностей до внутригрупповых отношений, профессиональных установок и индивидуального восприятия. В работе выделены институциональный, отраслевой, организационный, групповой, профессиональный и индивидуальный уровни формирования факторов стимулирования. Определены содержание каждого уровня, механизмы их взаимодействия и место организационной культуры в изменении внешних требований во внутренние стимулы. Установлено главное положение организационного уровня, в пределах которого внешние условия преобразуются в конкретные нормы, формы признания, распределение полномочий, технологии обратной связи и участия в управлении. В модель включен механизм обратной связи, обеспечивающий изменение организационной культуры с учетом поведения менеджеров.

Заключение. В работе сделан вывод, что стимулирование менеджеров социальной сферы необходимо рассматривать как многоуровневый процесс, а эффект отдельного стимула определяется его согласованностью с организационной культурой, профессиональными установками и индивидуальным восприятием менеджера.

Ключевые слова: организационная культура, стимулирование менеджеров, социальная сфера, нематериальное стимулирование, управление персоналом, управленческое поведение, профессиональная идентичность, доверие, вовлеченность

Поступила 03.09.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Щекин А. С., Урасова А. А. Многоуровневая модель факторов стимулирования менеджеров в системе управления организационной культурой организаций социальной сферы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 443–457. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-443-457

© Щекин А. С., Урасова А. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Research article

Multi-level model of managerial motivation factors within the organizational culture management system of social sector organizations

A.S. Shchekin[1], A.A. Urasova✉ [2]

[1]Vereshchagino Branch of the Perm Krai State Budgetary Institution
"Center for Psychological, Pedagogical, Medical, and Social Assistance"
18, Lenina street, Vereshchagino, Perm region, 617120, Russia
[2]Perm Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
50, Lenin street, off. 91A, Perm, 614000, Russia

Abstract. The current escalation of geopolitical and foreign economic tensions brings the development of the social sector to the forefront, shifting the focus to preserving and improving organizational culture and management quality.

Aim. This study aims to explore how managing the organizational culture of social sphere organizations influences the system of values, norms, management practices, and communications that shape managers' attitudes toward labor and decision-making.

Materials and methods. The research utilizes a logical-structural analysis of academic sources and a formal-logical method to design a multi-level model of manager incentive factors.

Results. It has been demonstrated that the incentivization of management personnel relies on a combination of tangible and intangible tools, with the conditions for their operation emerging at multiple levels–ranging from institutional regulation and industry-specific characteristics to intra-group dynamics, professional attitudes, and individual perceptions. The study identifies the institutional, industry, organizational, team, professional, and individual levels at which incentive factors are shaped. Furthermore, the research outlines the content of each level, their interaction mechanisms, and the role of organizational culture in transforming external requirements into internal incentives. Specifically, a central role is established for the organizational level, where external conditions are translated into specific norms, forms of recognition, the distribution of authority, and mechanisms for feedback and participatory management. The model incorporates a feedback mechanism that enables organizational culture to evolve in response to managerial behavior.

Conclusion. The study concludes that incentivizing managers in the social sector should be viewed as a multi-level process, and the effect of a specific incentive is determined by its alignment with organizational culture, professional attitudes, and the manager's individual perception.

Keywords: organizational culture, managerial incentives, social sphere, non-material incentives, personnel management, managerial behavior, professional identity, trust, involvement

Submitted 03.09.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Shchekin A.S., Urasova A.A. Multi-level model of managerial motivation factors within the organizational culture management system of social sector organizations. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 443–457. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-443-457

Введение

В теории менеджмента под стимулом понимается конкретное воздействие, используемое субъектом управления, а фактор представляет условие, которое изменяет силу, направление либо субъективное значение управленческого воздействия. Приведем пример: премирование

© Shchekin A.S., Urasova A.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

выступает стимулом, а прозрачность критериев его назначения, доверие к руководству и оценка справедливости определяют условия, при которых данный стимул будет принят менеджером.

Традиционное деление стимулирования на материальное и нематериальное отвечает на вопрос о форме воздействия, но не раскрывает источник возникновения условий, определяющих его результативность. Часть факторов задается нормативным регулированием. Другие обусловлены отраслевыми требованиями. Значительная часть формируется непосредственно внутри организации. Одновременно на поведение менеджера воздействуют рабочая обстановка, профессиональная принадлежность и индивидуальные установки.

Научная проблема состоит в необходимости формирования модели, позволяющей одновременно определить происхождение факторов стимулирования, их место в организационной системе, механизм перехода между уровнями и роль организационной культуры в преобразовании внешних требований в факторы управленческого поведения.

Управленческая деятельность в организациях социальной сферы осуществляется в условиях одновременного действия нормативных ограничений, требований к качеству социальных услуг, дефицита отдельных видов ресурсов, профессионально-этических норм и ожиданий получателей услуг. Сочетание изменяет содержание стимулирования менеджеров. Денежное вознаграждение является необходимым элементом трудовых отношений, но не ограничивается факторами, способными поддерживать инициативность, принятие ответственности и профессиональную устойчивость управленческого персонала.

Организационная культура является средой, в которой формальные стимулы получают практическое содержание. Действующие нормы определяют, какие результаты признаются значимыми, насколько допустима самостоятельность менеджера, каким образом распределяется ответственность, учитывается ли мнение руководителей среднего звена при принятии решений. В отечественных исследованиях организационная культура рассматривается в непосредственной связи с материальным и нематериальным стимулированием, вовлеченностью руководства и сотрудников, лояльностью персонала и изменением организационного поведения [1–3].

Дополнительное значение исследуемая проблема приобретает в организациях социальной сферы. Профессиональная деятельность связана с коммуникацией с получателями услуг, ответственностью за качество социальных услуг и необходимостью поддерживать работоспособность коллектива. Вопросы организационного стресса и профессионального выгорания рассматриваются применительно к образовательным учреждениям и к социальной работе; отдельно исследуется сочетание организационных и индивидуальных факторов профессионального выгорания [4–6].

Профессиональное развитие, участие в управлении, признание вклада, доверие, расширение самостоятельности и поддержка со стороны руководства не существуют отдельно от организационной культуры. Исследования мотивационных систем в образовательных организациях, развития корпоративной культуры и нематериального стимулирования подтверждают устойчивый научный интерес к этой группе управленческих механизмов [7–10].

Особенное положение занимает доверие, оно осуществляется через последовательность решений, устойчивость заявленных правил и соответствие между утвержденными ценностями и реальными действиями руководства. В исследованиях культуры взаимного уважения и доверия данный компонент рассматривается в условиях трансформации системы управления организацией [11, 12].

Система мотивации, организационная культура и организационное поведение образуют взаимосвязанный комплекс. Изменение отдельных элементов стимулирования без учета культурной среды может не приводить к ожидаемому изменению поведения. Исследование проблем мотивации рассматривает взаимосвязь корпоративной культуры и организационного поведения, что подтверждает необходимость их совместного анализа [13].

Материалы и методы

В научно-исследовательском дискурсе проблема стимулирования персонала во взаимосвязи с организационной культурой представлена широким кругом исследований. Н. П. Голубецкая, Д. А. Замиралов и А. В. Сушков рассматривают организационную культуру в аспекте материального и нематериального стимулирования сотрудников [1]. Е. С. Козина и А. Д. Логунов раскрывают ее влияние на формирование лояльности персонала [2], тогда как С. В. Негруль, Р. А. Быков и Е. Ю. Быкова исследуют взаимосвязь организационной культуры с вовлеченностью руководства и сотрудников [3]. М. А. Магомедов, Х. Н. Магомедова и З. О. Магомедова дополняют данное направление анализом роли корпоративной культуры и организационного поведения в системе мотивации сотрудников [7].

Отдельное направление представлено исследованиями нематериального стимулирования и культурных факторов, определяющих мотивационную среду организации. А. С. Воробьев и Д. Ю. Бурлов рассматривают корпоративную культуру как стратегический инструмент нематериальной мотивации персонала [7], И. В. Наумчев анализирует содержание нематериальных стимулов и их значение для мотивации работников [8]. Применительно к образовательным организациям О. Е. Вороничев, Т. Е. Демидова и Г. А. Сороквашина раскрывают развитие корпоративной культуры как фактор повышения мотивации персонала [14], а Е. В. Пирогова и С. Н. Яшин рассматривают систему стимулирования работников вуза во взаимосвязи со стратегическим развитием образовательной организации [9]. Значительное место в указанном направлении занимают исследования А. В. Митенкова, в которых культура взаимного уважения и доверия рассматривается как значимый компонент изменения системы управления организацией [11, 12].

Самостоятельный блок исследований связан с последствиями несогласованности организационных условий, высокой профессиональной нагрузки и индивидуальных факторов. Н. В. Волкова, Н. А. Заиченко, С. В. Кошелева и А. С. Ефимов исследуют организационную культуру образовательных учреждений как предиктор организационного стресса педагогических работников [4]. В. И. Кабалина, Н. Д. Воронина, Л. М. Чеглакова и А. Джокич рассматривают совместное влияние организационных и индивидуальных факторов на выгорание сотрудников [5]. Применительно к социальной сфере И. Ю. Суркова, О. В. Андрющенко и Н. В. Сорокина раскрывают организационные предикторы профессионального выгорания сотрудников социальных служб [15], тогда как М. Г. Тимофеева анализирует проблему профессионального выгорания социальных работников [6]. Е. А. Руднев рассматривает организационную культуру российских компаний в условиях социально-экономических изменений, что позволяет учитывать зависимость внутренних культурных механизмов от трансформации внешней организационной среды [10].

Анализ представленных исследований показывает, что в научной литературе достаточно подробно разработаны отдельные аспекты организационной культуры, нематериального стимулирования, вовлеченности, лояльности, доверия, организационного стресса и профессионального выгорания. Вместе с тем указанные направления исследуются как самостоятельные блоки. Незначительно раскрыт вопрос о том, каким образом факторы стимулирования, возникающие на разных уровнях – институциональном, отраслевом, организационном, групповом, профессиональном и индивидуальном, – взаимодействуют в единой системе управления организационной культурой организаций социальной сферы. Именно это поле исследования формирует основание для разработки многоуровневой модели факторов стимулирования менеджеров.

Выделение нерешенных проблем, цель и гипотеза. Несмотря на достаточно основательную проработку проблематики организационной культуры, мотивации, нематериального стимулирования, вовлеченности, доверия, профессиональной устойчивости и выгора-

ния персонала, открытым остается вопрос системного представления факторов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы. В существующих исследованиях отдельные факторы чаще рассматриваются изолированно – как элементы корпоративной культуры, инструменты нематериальной мотивации, условия вовлеченности, организационные предикторы стресса либо профессионального выгорания. Незначительно раскрывается то, каким образом данные факторы соотносятся между собой, на каких уровнях они формируются и каким образом организационная культура преобразует их в реальные стимулы управленческого поведения. Отсутствует целостное представление о том, каким образом институциональные ограничения, отраслевые особенности, механизмы и методы управления, групповые отношения, профессиональные нормы и индивидуальное восприятие объединяются в единую систему воздействия на менеджера.

На основании вышеизложенного возникает ряд нерешенных проблем, устранение которых имеет значение для формирования многоуровневой модели факторов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы. Существующие классификации стимулов строятся по их форме – материальные и нематериальные, прямые и косвенные, финансовые и нефинансовые. Подобное разделение позволяет установить содержание управленческого воздействия, но не показывает источник возникновения фактора и уровень, на котором формируется его стимулирующий или ограничивающий эффект. Один и тот же инструмент стимулирования может использоваться в разных организациях, но давать неодинаковую реакцию менеджеров, причины которой остаются за пределами данной классификации.

Недостаточно раскрыт сам механизм перехода факторов между уровнями системы управления. Институциональные требования и отраслевые ограничения не воздействуют на менеджера непосредственно в неизменном виде. Остается недостаточно определенной роль межуровневых противоречий. Стимулирующее воздействие может ослабляться не из-за отсутствия самого стимула, а вследствие несогласованности между уровнями. Дополнительная ответственность при недостатке полномочий формирует организационное противоречие, декларируемое доверие при жестком контроле – противоречие между организационным и групповым уровнями, а установленный показатель эффективности, вступающий в конфликт с профессиональными представлениями о качестве социальной услуги, – противоречие между организационным и профессиональным уровнями.

Недостаточно формализован механизм обратной связи. Реакция менеджеров часто оценивается через показатели удовлетворенности, вовлеченности или профессионального выгорания, однако реже используется как основание для установления конкретного уровня возникновения проблемы. Отсутствие обратной связи организационная культура рассматривает преимущественно как стабильную совокупность ценностей и норм, тогда как в реальной системе управления она должна корректироваться в зависимости от реакции управленческого персонала на действующие методы стимулирования.

Указанные противоречия подводят к формулированию ключевой проблематики – отсутствию многоуровневой модели факторов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы, которая одновременно учитывала бы источник формирования каждого фактора, уровень его действия, характер межуровневых связей, роль организационной культуры в его преобразовании и обратную связь, возникающую по результатам управленческого поведения.

Гипотеза исследования может быть сформулирована следующим образом. Стимулирующее воздействие на менеджеров организаций социальной сферы формируется совокупностью взаимосвязанных факторов институционального, отраслевого, организационного, группового, профессионального и индивидуального уровней. Организационная культура выполняет функцию преобразующего механизма, через который внешние и внутренние условия приобретают конкретное стимулирующее или ограничивающее значение для менеджера. Согласованность факторов разных уровней усиливает стимулирующий эффект, тогда как их рассогласование снижает его при формальном наличии системы поощрений.

Цель настоящего исследования заключается в разработке и теоретическом обосновании многоуровневой модели факторов стимулирования менеджеров в системе управления организационной культурой организаций социальной сферы, позволяющей структурировать источники стимулирующего воздействия, установить межуровневые связи и сформировать основу для диагностики и адресной корректировки методов управления.

Методологической основой исследования является системный подход. Применение указанного подхода обусловлено тем, что управленческое поведение формируется под воздействием ряда взаимосвязанных подсистем. Институциональная среда задает внешние ограничения. Отраслевая принадлежность определяет особенности требований к деятельности. Организация преобразует данные условия во внутренние нормы, критерии оценки и кадровые решения. Рабочая группа обеспечивает непосредственное исполнение и интерпретацию этих решений. Профессиональные и индивидуальные характеристики завершают процесс формирования поведения менеджера.

Использован структурно-функциональный анализ. Каждый уровень рассматривался как совокупность факторов, а также с точки зрения выполняемой функции. Институциональный уровень ограничивает пространство управленческих решений. Отраслевой конкретизирует требования к организации. Организационный переводит внешние ограничения во внутреннюю систему управления. Групповой обеспечивает реализацию культурных норм. Профессиональный задает критерии профессиональной приемлемости, индивидуальный – особенности субъективной оценки.

Метод декомпозиции применен для разделения факторов по источникам происхождения. Институциональными представлены факторы, которые формируются за пределами организации. Организационные представлены условиями, на которые руководство может воздействовать средствами управления организационной культуры. Групповой уровень объединяет факторы, возникающие в непосредственном взаимодействии. Профессиональный отражает влияние профессиональных стандартов. Индивидуальный содержит личные ожидания, потребности и особенности восприятия.

Сравнительный метод использован для установления различий между уровнями по следующим параметрам: источник фактора, объект воздействия, механизм передачи, возможности управленческой корректировки и поведение менеджера.

Результаты

Проведенная систематизация позволяет выделить шесть уровней формирования факторов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы. В качестве критерия их разграничения выступает источник возникновения соответствующего фактора. Многоуровневая структура факторов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы представлена в таблице 1.

Таблица 1. Многоуровневая структура факторов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы

Table 1. Multilevel structure of managerial incentive factors in social sector organizations

Уровень	Источник формирования	Основные факторы	Управленческая функция
Институциональный	Государственное регулирование и внешняя институциональная среда	Нормативные требования, ограничения оплаты труда, социальные гарантии, ответственность, регламентация	Определение внешних границ системы стимулирования
Отраслевой	Специфика конкретного направления социальной сферы	Характер социальных услуг, требования к результату, профессиональная нагрузка, особенности финансирования	Конкретизация институциональных условий
Организационный	Система управления определенной организацией	Миссия, ценности, правила признания, кадровая политика, распределение полномочий, участие, обратная связь	Преобразование внешних требований во внутренние механизмы управления
Групповой	Непосредственное рабочее окружение	Стиль руководства, доверие, поддержка, коммуникации, командное взаимодействие, психологическая безопасность	Реализация организационной культуры в ежедневном взаимодействии
Профессиональный	Профессиональные нормы и идентичность	Профессиональное признание, автономия, развитие, этика, стандарты качества	Соотнесение стимулирования с профессиональным смыслом деятельности
Индивидуальный	Личные характеристики менеджера	Потребности, опыт, ожидания, ресурсы, ценности, воспринимаемая справедливость	Формирование конечного поведения

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Институциональный уровень находится за пределами функционирования организации. В него включаются нормы, требования и ограничения, определяющие общие условия деятельности менеджеров. Представленный уровень для социальной сферы имеет повышенное значение, так как данные организации работают в режиме нормативно установленного финансирования, регламентированных процедур и формализованных требований к результату.

Отраслевой уровень конкретизирует институциональные ограничения. Образовательные, медицинские, социальные и культурные организации различаются структурой задач, профессиональной нагрузкой, характером контакта с получателями услуг и критериями качества. Единая система стимулирования без учета отраслевой специфики будет невозможна и ограничена по способам применения.

Организационный уровень занимает центральное положение. Именно здесь руководство располагает самым широким набором инструментов влияния. Внешние ограничения превращаются в нормы и повторяющиеся практики – они касаются того, как обсуждаются решения, кто получает признание за свой вклад, как распределяется ответственность, как поощряется инициатива и как обеспечивается доступ к развитию.

Групповой уровень важен, потому что даже организационные формальные или реальные правила проходят через локальные взаимоотношения. Можно применять одну и ту же политику к подразделениям с очень разными стилями управления, и она будет восприниматься по-разному. Качество обратной связи, отношение к инициативе, разговоры о трудностях, характер поддержки, оказываемой друг другу, и доверие в команде действительно имеют значение. Именно в этот момент культурный контекст перестает быть преимущественно нормативной структурой и становится повседневным опытом менеджера.

Связь профессионального уровня связана с тем, что менеджер в социальной сфере одновременно встраивается и в обе управленческие системы, и в профессиональные системы. Для него важны хорошая должность, согласованность принимаемых решений с нормами его профессии, развитие практики и поддержание профессиональной идентичности. Таким образом, один и тот же стимул может получить позитивную оценку, если он способствует укреплению профессиональной идентичности, и негативную – если он ставит эту идентичность под сомнение.

На индивидуальном уровне менеджер сопоставляет те условия, которым от него требуют следовать, со своим опытом/ожиданиями, ресурсами, нагрузкой, представлениями о справедливости.

Многоуровневое построение факторов предполагает перечисление уровней и установление порядка передачи воздействия (рис. 1).

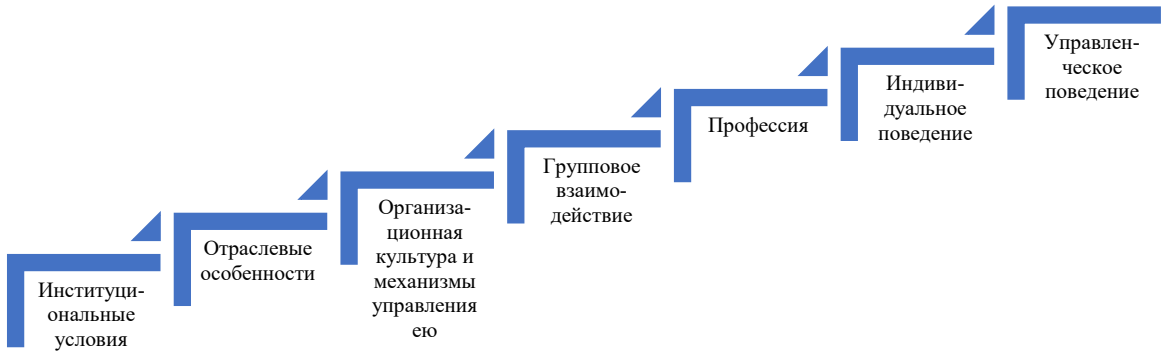


Рис. 1. *Последовательность формирования стимулирующего воздействия в многоуровневой модели (Источник: составлено авторами)*

Fig. 1. *Sequence of generating incentive impact within the multi-level model (Source: compiled by the authors)*

Схема, которую мы представили, не означает, что каждый стимул проходит все уровни строго линейным образом. Ее цель – фиксировать направление изменения условий. Требования к спецификации внешней среды становятся специфичными для отрасли и сначала включаются во внутреннюю систему управления, а затем проявляются в ежедневном опыте руководителей.

Механизм, который предложен нами, позволяет объяснить, почему формально идентичные стимулы приводят к различным эффектам. Когда правила организации непрозрачны, материальные стимулы могут казаться несправедливыми. Поэтому может возникать разрыв на организационном уровне между культурой, провозглашающей независимость, и руководителями, которые сдерживают инициативу. Когда показатель эффективности противоречит профессиональным оценкам качества социальных услуг, это приводит к разрыву между организационным и профессиональным уровнем.

Межуровневые противоречия представлены в таблице 2.

Таблица 2. Типовое сочетание факторов и их предполагаемое влияние на стимулирование менеджеров

Table 2. Typical combination of factors and their expected impact on manager incentives

Сочетание факторов	**Тип взаимодействия**	**Возможная реакция менеджера**	**Управленческое последствие**
Понятные требования и прозрачные критерии признания	Согласованное	Принятие системы оценки	Укрепление доверия
Высокая ответственность при недостатке полномочий	Противоречивое	Снижение ощущения управляемости ситуации	Ограничение инициативы
Профессиональная автономия и поддержка руководителя	Усиливающее	Рост готовности принимать ответственность	Укрепление вовлеченности
Декларируемое доверие и жесткий микроконтроль	Конфликтное	Недоверие к заявленным ценностям	Формализация поведения
Возможность развития и признание профессионального вклада	Усиливающее	Повышение значимости деятельности	Укрепление профессиональной устойчивости
Материальное поощрение и непрозрачные правила распределения	Ослабляющее	Сомнение в справедливости	Снижение стимулирующего эффекта

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Положения таблицы 2 носят модельный характер и раскрывают логику взаимосвязей.

Обратная связь занимает важное место в модели. Стимулирование не заканчивается поведением менеджера. Реакция управленческого персонала формирует новый информационный сигнал. Снижение инициативности, избегание дополнительной ответственности, усиление формализма при наложении взысканий или проявлениях профессионального выгорания – все это основания для оценки настроения с точки зрения организационной культуры.

Система обратной связь представлена на рисунке 2.

Включение обратной связи переводит модель из статического состояния в динамическое. Организационная культура корректируется при устойчивом несоответствии между установленными принципами и реакцией управленческого персонала.

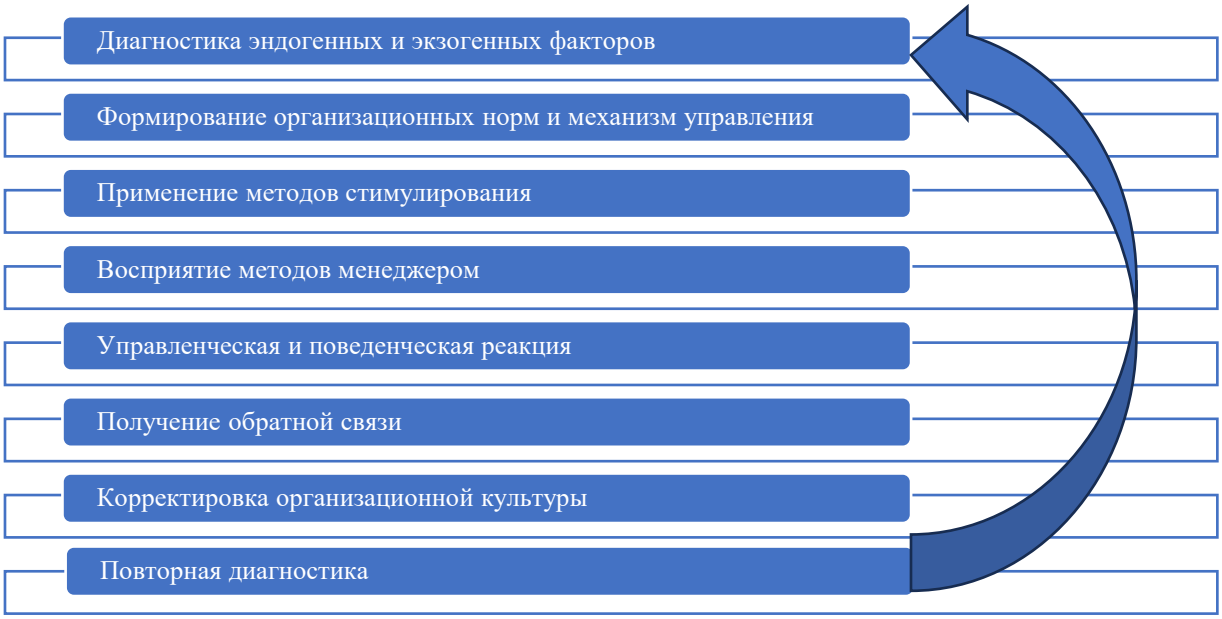


***Рис. 2**. Обратная связь в системе управления факторами стимулирования менеджеров (Источник: составлено авторами)*

***Fig. 2**. Feedback in the manager incentive factors management system (Source: compiled by the authors)*

Для практического применения необходимо определить возникшую проблему, а также уровень ее возникновения. Проблему, обусловленную отраслевым нормативом, не изменит система локального признания. Ограничение, сформированное руководителем подразделения, не устранит пересмотр общих ценностей организации без изменения групповых методов управления.

Особенности диагностики модели представлены в таблице 3.

Модель позволяет дополнительно разграничить управляемые и условно неуправляемые для конкретной организации факторы. Институциональный уровень обладает низкой локальной изменяемостью. Организационный и групповой уровни наиболее доступны управленческому воздействию. Профессиональный уровень может изменяться косвенно – через условия развития, автономию и признание. Индивидуальный уровень требует персонализированного подхода к способам стимулирования.

Предлагаемая модель отличается от разделения стимулов на материальные и нематериальные. Последнее сохраняет практическую значимость для кадрового управления, но не отвечает на вопрос, почему одинаковая мера стимулирования дает различный эффект. Многоуровневая структура вводит промежуточное объяснение: результат зависит от

того, как стимул проходит через организационную и групповую среду и как соотносится с профессиональными и индивидуальными ожиданиями.

Таблица 3. Диагностическая матрица многоуровневой модели стимулирования менеджеров

Table 3. Diagnostic matrix of the multi-level manager incentive model

Вопрос для диагностики	Уровень	Объект управленческого анализа
Какие внешние нормы ограничивают возможные способы стимулирования	Институциональный	Регламенты, требования, условия оплаты и ответственности
Какие характеристики социальной деятельности изменяют потребности менеджеров	Отраслевой	Нагрузка, стандарты деятельности, особенности услуги
Соответствуют ли реальные практики заявленным ценностям	Организационный	Кадровая политика, признание, полномочия, участие
Поддерживаются ли инициативность и обратная связь в коллективе	Групповой	Лидерство, коммуникации, доверие
Соответствует ли стимулирование профессиональным нормам и идентичности	Профессиональный	Автономия, развитие, признание компетентности
Как менеджер оценивает справедливость и значимость воздействия	Индивидуальный	Ожидания, опыт, ресурсы, личная оценка

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Подобное различие имеет значение при анализе нематериальных стимулов. Наличие данных стимулов само по себе не означает сформированной мотивационной среды. Возможность развития может быть документально утверждена, но не подкреплена временем и ресурсами. Участие в управлении может существовать как процедура, однако не давать реального влияния. Признание может применяться регулярно, но восприниматься как формальное.

Многоуровневая модель одновременно объясняет возможность накопительного эффекта. Согласованность уровней приводит к тому, что один фактор поддерживает другой. Организационное признание, подкрепленное поддержкой непосредственного руководителя и профессиональным развитием, образует более устойчивый механизм, чем каждый элемент в отдельности. Обратная ситуация возникает при конфликте: например, организация устанавливает ценность инициативы, но групповая практика предусматривает наказание за отклонение от привычного порядка.

Проведенное исследование позволяет заключить, что сформулированная гипотеза получила теоретическое подтверждение. Стимулирование менеджеров организаций социальной сферы не сводится к воздействию отдельных материальных или нематериальных стимулов, поскольку результат их применения зависит от совокупности факторов, формирующихся на институциональном, отраслевом, организационном, групповом, профессиональном и индивидуальном уровнях.

Установлено, что организационная культура выполняет связующую и преобразующую функцию между представленными уровнями. Через систему ценностей, норм, методов управления, механизмов признания, распределения полномочий, обратной связи и способов взаимодействия внешние и внутренние условия приобретают для менеджера конкретное стимулирующее либо ограничивающее значение.

Выявлено, что согласованность факторов разных уровней усиливает стимулирующее воздействие. Наличие противоречий между институциональными требованиями, организационными методами управления, стилем непосредственного руководства, профессиональными установками и индивидуальными ожиданиями снижает эффект стимулирования при наличии формализованной системы поощрений.

Отдельное подтверждение получила идея о необходимости обратной связи. Реакция менеджеров должна рассматриваться как результат воздействия и источник информации о качестве организационной культуры и степени согласованности факторов стимулирования. Приведенное выше позволяет использовать многоуровневую модель для диагностики причин снижения мотивации и выбора адресных мер корректировки системы управления.

Вместе с тем полученные выводы имеют теоретико-модельный характер. Полное подтверждение гипотезы требует последующей эмпирической проверки на данных организаций социальной сферы с оценкой силы и характера взаимосвязей между уровнями модели.

Обсуждение

Проведенное исследование позволяет рассматривать стимулирование менеджеров организаций социальной сферы как многоуровневый процесс. Факторы, определяющие управленческое поведение, возникают и внутри системы оплаты труда или кадровой политики. Источниками являются институциональная среда, отраслевые особенности, организационная культура, коммуникация между группами, профессиональные нормы и индивидуальное восприятие.

Разработана модель, включающая шесть уровней: институциональный, отраслевой, организационный, групповой, профессиональный и индивидуальный. Такое разграничение позволяет определить источник возникновения фактора и уровень, на котором возможно его управленческое изменение.

Организационный уровень занимает главное положение. Внешние ограничения преобразуются в нормы, кадровые методы управления, способы признания, критерии справедливости, распределение ответственности и механизмы участия. Организационная культура благодаря этому выступает средой передачи и интерпретации стимулирующего воздействия.

Установлено, что результат определяется согласованностью факторов. Усиливающее взаимодействие возникает, когда нормы организации, групповая коммуникация, профессиональные ориентиры и индивидуальное восприятие не противоречат друг другу. При рассогласовании уровней значимый стимул может утратить воздействие.

В модель включен контур обратной связи. Реакция менеджеров становится основанием для повторной диагностики и корректировки организационной культуры. Благодаря этому управление организационной культурой рассматривается как непрерывный процесс.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного анализа доказано, что происходит теоретический переход от классификации стимулов по форме к их систематизации по уровню формирования и механизму действия. В практическом плане это означает, что полученную модель можно использовать для диагностики мотивационной среды, выявления источника рассогласования и выбора адресных способов стимулирования менеджеров организаций социальной сферы.

Вместе с тем разработанная модель имеет ряд ограничений. Распределение факторов по уровням основано на преимущественном источнике их возникновения. Отдельный фактор способен одновременно проявляться на нескольких уровнях. Например, профессиональная автономия определяется и нормативными ограничениями, и организационной политикой, и стилем непосредственного руководителя, и индивидуальной готовностью менеджера принимать ответственность. Границы между уровнями необходимо рассматривать как аналитические, а не жесткие.

Предложенная модель пока не устанавливает вес каждого уровня и отдельных факторов внутри него. Нельзя утверждать, что организационный уровень во всех случаях оказывает

большее влияние на поведение менеджера, чем групповой, профессиональный или индивидуальный. Предположение о его главенствующем положении связано с тем, что в пределах организации внешние условия преобразуются в конкретные методы управления, тогда как количественная значимость этого положения требует отдельной проверки.

Представленные межуровневые связи имеют модельный характер. Невозможно однозначно установить направление причинности между отдельными факторами и управленческими результатами. Например, снижение доверия может быть следствием непрозрачных управленческих решений, но одновременно низкое доверие способно усиливать негативное восприятие нейтральных методов управления. Аналогичная двусторонняя связь может возникать между вовлеченностью, профессиональной устойчивостью и состоянием организационной культуры.

Открытыми остаются вопросы, связанные с определением того, какой из уровней оказывает наиболее существенное влияние на стимулирование менеджеров в различных сегментах социальной сферы; установлением измеримых индикаторов для каждого уровня; оценкой силы межуровневых связей; определением условий, при которых один фактор усиливает либо компенсирует влияние другого; выявлением роли организационной культуры как посредника между внешними институциональными условиями и индивидуальным поведением менеджера; разработкой диагностического инструментария, позволяющего использовать предложенную модель в практической деятельности организаций.

Отдельным направлением дальнейшей дискуссии является вопрос о степени универсальности модели. Образовательные, медицинские, социальные и культурные организации различаются по нормативному регулированию, структуре профессиональной нагрузки, характеру взаимодействия с получателями услуг и возможностям материального стимулирования. Проверка модели должна учитывать отраслевые различия, а также организационно-правовую форму, размер организации, уровень управленческой должности и особенности профессиональной группы.

Результаты настоящего исследования могут быть полезны исследователям организационной культуры и стимулирования персонала, руководителям организаций социальной сферы и специалистам по управлению персоналом. Предложенная модель создает основу для более точной диагностики причин снижения стимулирующего эффекта, поскольку позволяет перейти от общего вопроса о наличии или отсутствии мотивации к определению конкретного уровня, на котором возникает рассогласование. В дальнейшем это может использоваться при разработке методики оценки многоуровневой системы факторов стимулирования и формировании адресных управленческих решений в системе управления организационной культурой организаций социальной сферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голубецкая Н. П., Замиралов Д. А., Сушков А. В.* Роль организационной культуры в материальном и нематериальном стимулировании сотрудников // Экономика и управление. 2024. Т. 30. № 4. С. 458–468. DOI: 10.35854/1998-1627-2024-4-458-468

2. *Козина Е. С., Логунов А. Д.* Влияние организационной культуры на формирование лояльности персонала // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения: гуманитарные исследования. 2024. № 3 (22). С. 87–95. DOI: 10.52170/2618-7949_2024_22_87

3. *Негруль С. В., Быков Р. А., Быкова Е. Ю.* Организационная культура и вовлеченность руководства и сотрудников в высокотехнологичной компании (исследование опыта предприятия наукоемкого бизнеса) // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2024. № 78. С. 179–194. DOI: 10.17223/1998863X/78/15

4. *Волкова Н. В., Заиченко Н. А., Кошелева С. В., Ефимов А. С.* Организационная культура образовательных учреждений как предиктор организационного стресса у педагогов // Вопросы образования. 2023. № 1. С. 29–71. DOI: 10.17323/1814-9545-2023-1-29-71

5. *Кабалина В. И., Воронина Н. Д., Чеглакова Л. М., Джокич А.* Влияние организационных и индивидуальных факторов на выгорание сотрудников // Журнал социологии и социальной антропологии. 2024. Т. 27. № 4. С. 7–39. DOI: 10.31119/jssa.2024.27.4.1

6. *Тимофеева М. Г.* Профессиональное выгорание у социальных работников // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Педагогика. Психология. Философия. 2023. № 1 (29). С. 64–72. EDN: GJEDSM

7. *Воробьев А. С., Бурлов Д. Ю.* Корпоративная культура как стратегический инструмент нематериальной мотивации персонала торговых компаний // Лидерство и менеджмент. 2025. Т. 12. № 6. С. 1453–1468. DOI: 10.18334/lim.12.6.123295

8. *Наумчев И. В.* Нематериальные стимулы и мотивация работников предприятий в современных условиях // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. 2024. Т. 13. № 6. С. 64–70. DOI: 10.12737/2305-7807-2024-13-6-64-70

9. *Пирогова Е. В., Яшин С. Н.* Система стимулирования персонала вуза, ориентированная на стратегическое развитие и конкурентоспособность образовательной организации // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 1 (51). С. 414–416. EDN: AQKJHG

10. *Руднев Е. А.* Организационная культура российских компаний в условиях социально-экономических изменений // Российский журнал менеджмента. 2023. Т. 21. № 4. С. 600–618. DOI: 10.21638/spbu18.2023.407

11. *Митенков А. В.* Культура взаимного уважения и доверия: понятие, роль и значение при трансформации системы управления организацией (часть 1) // Вестник Евразийской науки. 2024. Т. 16. № 3. С. 24. EDN: QHBKMV

12. *Митенков А. В.* Культура взаимного уважения и доверия: понятие, роль и значение при трансформации системы управления организации (часть 2) // Вестник Евразийской науки. 2024. Т. 16. № 4. С. 2. EDN: SRQOHY

13. *Магомедов М. А., Магомедова Х. Н., Магомедова З. О.* Система мотивации сотрудников: роль корпоративной культуры и организационного поведения // Journal of Monetary Economics and Management. 2024. № 10. С. 87–93. DOI: 10.26118/2782-4586.2024.88.74.050

14. *Вороничев О. Е., Демидова Т. Е., Сороквашина Г. А.* Развитие корпоративной культуры в колледжах как фактор повышения мотивации персонала // Управление образованием: теория и практика. 2025. № 1-1. С. 12–23. DOI: 10.25726/w7727-5519-3171-l

15. *Суркова И. Ю., Андрющенко О. В., Сорокина Н. В.* Профессиональное выгорание сотрудников социальных служб: организационные предикторы в условиях кризиса // Журнал исследований социальной политики. 2024. Т. 22. № 3. С. 449–462. DOI: 10.17323/727-0634-2024-22-3-449-462

REFERENCES

1. Golubeckaya N.P., Zamiralov D.A., Sushkov A.V. The role of organizational culture in material and non-material incentives for employees. *Economics and Management*. 2024. Vol. 30. No. 4. Pp. 458–468. DOI: 10.35854/1998-1627-2024-4-458-468. (In Russian)

2. Kozina E.S., Logunov A.D. The influence of organizational culture on the development of staff loyalty. *The Siberian Transport University Bulletin: Humanitarian Research*. 2024. No. 3(22). Pp. 87–95. DOI: 10.52170/2618-7949_2024_22_87. (In Russian)

3. Negrul' S.V., Bykov R.A., Bykova E.Yu. Organizational culture and involvement of management and employees in a high-tech company (research on the experience of a knowledgeintensive business enterprise). *Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science*. 2024. No. 78. Pp. 179–194. DOI: 10.17223/1998863X/78/15. (In Russian)

4. Volkova N.V., Zaichenko N.A., Kosheleva S.V., Efimov A.S. Organizational culture of the educational institution as a predictor of organizational stress across teachers. *Educational Studies. Moscow*. 2023. No. 1. Pp. 29–71. DOI: 10.17323/1814-9545-2023-1-29-71. (In Russian)

5. Kabalina V.I., Voronina N.D., Cheglakova L.M., Dzhokich A. The influence of organizational and individual factors on employee burnout. *The Journal of Sociology and Social Anthropology*. 2024. Vol. 27. No. 4. Pp. 7–39. DOI: 10.31119/jssa.2024.27.4.1. (In Russian)

6. Timofeeva M.G. Professional burnout of social workers. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Pedagogy. Psychology. Philosophy*. 2023. No. 1 (29). Pp. 64–72. EDN: GJEDSM. (In Russian)

7. Vorob'ev A.S., Burlov D.Yu. Corporate culture as a strategic tool for non-material motivation of trading companies' staff. *Leadership and Management*. 2025. Vol. 12. No. 6. Pp. 1453–1468. DOI: 10.18334/lim.12.6.123295. (In Russian)

8. Naumchev I.V. The problem of motivation of employees of enterprises in modern conditions. *Upravlenie personalom i intellektual'nymi resursami v Rossii* [Human Resource and Intellectual Resource Management in Russia]. 2024. Vol. 13. No. 6. Pp. 64–70. DOI: 10.12737/2305-7807-2024-13-6-64-70. (In Russian)

9. Pirogova E.V., Yashin S.N. The incentive system of the university staff, focused on the strategic development and competitiveness of the educational organization. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya* [Natural and Humanities Research]. 2024. No. 1 (51). Pp. 414–416. EDN: AQKJHG. (In Russian)

10. Rudnev E.A. Organizational culture of Russian companies within socio-economic changes. *Russian Management Journal*. 2023. Vol. 21. No. 4. Pp. 600–618. DOI: 10.21638/spbu18.2023.407. (In Russian)

11. Mitenkov A.V. The concept of "mutual respect" and "trust" and their importance in the management of an industrial enterprise (part 1). *Vestnik Evrazijskoj nauki* [Bulletin of Eurasian Science]. 2024. Vol. 16. No. 3. P. 24. EDN: QHBKMV. (In Russian)

12. Mitenkov A.V. The concept of "mutual respect" and "trust" and their importance in the management of an industrial enterprise (part 2). *Vestnik Evrazijskoj nauki* [Bulletin of Eurasian Science]. 2024. Vol. 16. No. 4. P. 2. EDN: SRQOHY. (In Russian)

13. Magomedov M.A., Magomedova H.N., Magomedova Z.O. Employee motivation system: the role of corporate culture and organizational behavior. *Journal of Monetary Economics and Management*. 2024. No. 10. Pp. 87–93. DOI: 10.26118/2782-4586.2024.88.74.050. (In Russian)

14. Voronichev O.E., Demidova T.E., Sorokvashina G.A. Development of corporate culture in colleges as a factor in increasing staff motivation. *Education Management Review*. 2025. No. 1-1. Pp. 12–23. DOI: 10.25726/w7727-5519-3171-l. (In Russian)

15. Surkova I.Yu., Andryushchenko O.V., Sorokina N.V. Professional burnoutamong social service workers: organizational predictors in crisis conditions. *Zhurnal issledovanij social'noj politiki* [Journal of Social Policy Research]. 2024. Vol. 22. No. 3. Pp. 449–462. DOI: 10.17323/727-0634-2024-22-3-449-462. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Щекин А. С. – проведение исследования, валидация результатов, визуализация, написание рукописи – рецензирование и редактирование;

Урасова А. А. – разработка концепции, курирование данных, разработка методологии, административное руководство исследовательским проектом.

Contribution of the authors:

Shchekin A.S. – conducted the investigation, validated the results, performed the visualization, and participated in writing, review, and editing of the manuscript.

Urasova A.A. – developed the research concept, curated the data, formulated the methodology, and provided administrative management for the research project.

Финансирование. Статья подготовлена в соответствии с планом НИР Института экономики УрО РАН на 2024–2026 гг.

Funding. The article was prepared in accordance with the state assignment for the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2024–2026.

Информация об авторах

Щекин Александр Сергеевич, заведующий Верещагинским филиалом государственного бюджетного учреждения Пермского края «Центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи»;

617120, Россия, Пермский край, г. Верещагино, ул. Ленина, 18;

alek-shhekin@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9170-6376, SPIN-код: 9614-5265

Урасова Анна Александровна, д-р экон. наук, вед. науч. сотр., директор Пермского филиала Института экономики УрО РАН;

614000, Россия, г. Пермь, ул. Ленина 50, оф. 91А;

annaalexandrowna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0598-5051, SPIN-код: 7890-5951

Information about the authors

Alexander S. Shchekin, Head of the Vereshchagino branch of the Perm Krai State Budgetary Institution “Center for Psychological, Pedagogical, Medical, and Social Assistance”;

18, Lenin street, Vereshchagino, Perm region, 617120, Russia;

alek-shhekin@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9170-6376, SPIN-code: 9614-5265

Anna A. Urasova, Doctor of Economic Sciences, Leading Researcher, Director of the Perm branch of the Institute of Economics of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences;

50, Lenin street, off. 91A, Perm, 614000, Russia;

annaalexandrowna@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0598-5051, SPIN-code: 7890-5951

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 94 (316,6; 930.85; 792.07) Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-458-483
XZZBKC

Иммерсивные практики в публичных пространствах древних и средневековых обществ

И. Х. Гукемух

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Актуальность предлагаемой статьи состоит в том, что в настоящее время региональные музеи, театры и другие культурно-просветительские заведения часто не могут позволить себе использование новейших иммерсивных технологий ввиду отсутствия подготовленных специалистов и средств на их приобретение. Поэтому для полноценной работы в сфере популяризации истории и традиционной культуры народов России руководителям уже действующих и только создаваемых музеев и лекториев будет полезно обратиться к многовековому опыту создания иммерсивных пространств.

Цель исследования – проследить эволюцию иммерсивных практик и технологий, применявшихся в общественных (и сакральных) пространствах различных цивилизаций с древнейших времен до X в. н. э.

Материалы и методы исследования. Основное внимание в статье уделяется иммерсивным методам, средствам и сферам их применения в публичных пространствах на разных этапах исторического процесса, в различных географических и социальных условиях. Объектами исследования стали ритуалы, применявшиеся в пещерах Европы и Юго-Восточной Азии, древних оракулах и античных театрах, а также иеротопические приемы, которые использовали византийские зодчие, мастера и священнослужители в процессе создания собора Св. Софии в Константинополе.

Результаты. В статье рассматриваются практики погружения в другую реальность или иммерсивные практики, зародившиеся в эпоху верхнего палеолита и претерпевшие ряд изменений в течение последующих тысячелетий.

Заключение. Научные открытия, совершенные в XIX–XX вв., привели к прорыву в области информационных технологий и расширили сферу применения практик иммерсии в публичных пространствах. Однако по разным причинам новые иммерсивные технологии сегодня используются далеко не везде, и некоторые, испытанные тысячелетиями практики погружения в искусственно созданную реальность могут и сегодня успешно применяться в работе образовательных и воспитательных учреждений.

Ключевые слова: иммерсия, другая реальность, публичные пространства, оракул, мистерия, театр, храм, иеротопия

Поступила 05.08.2026, одобрена после рецензирования 30.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Гукемух И. Х. Иммерсивные практики в публичных пространствах древних и средневековых обществ // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 458–483. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-458-483

© Гукемух И. Х., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Original article

Immersive practices in public spaces of ancient and Medieval societies

I.Kh. Gukemukh

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The topicality of this study stems from the reality that regional cultural and educational institutions, including museums and theaters, frequently cannot adopt cutting-edge immersive technologies due to budget constraints and a shortage of qualified personnel. Therefore, to effectively promote the history and traditional culture of the peoples of Russia, directors of both existing and newly established museums and lecture halls would highly benefit from drawing upon the centuries-old experience of creating immersive spaces.

Aim. This research aims to trace the evolution of immersive practices and techniques applied across public and sacred spaces in different civilizations, spanning from ancient times until the 10th century AD.

Research materials and methods. Particular attention is paid to immersive methods, instruments, and their application spheres within public spaces across varying historical stages, geographical environments, and social conditions. The research focuses on rituals performed in European and Southeast Asian caves, ancient oracles, and Classical theaters, along with the hierotopic methods used by Byzantine architects, artisans, and clergymen in the construction of the Cathedral of Hagia Sophia in Constantinople.

Results. The article considers practices of immersion into another reality, or immersive practices, that emerged in the Upper Paleolithic and underwent various changes over the following millennia.

Conclusion. Scientific breakthroughs of the 19th–20th centuries advanced information technologies and broadened the application of immersion practices within public spheres. However, for various reasons, new immersive technologies are currently far from widely used, and some immersion practices into artificially created reality, which have been tested for millennia, can still be successfully applied in the work of educational and upbringing institutions today.

Keywords*: immersion, other reality, public spaces, oracle, mystery, theater, temple, hierotopy*

Submitted 05.08.2026, approved after reviewing 30.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Gukemukh I.Kh. Immersive practices in public spaces of ancient and Medieval societies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 458–483. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-458-483

© Gukemukh I.Kh., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Введение

Молчу, томлюсь, и отступают стены –
Вот океан весь в клочьях белой пены,
Закатным солнцем залитый гранит,
И город с голубыми куполами,
С цветущими жасминными садами,
Мы дрались там… Ах, да! Я был убит.

Н. С. Гумилев

Технологическая революция, происходящая на наших глазах, продолжает открывать перед человеком и социумом новые возможности. Серьезные изменения происходят и в таких традиционно консервативных сферах деятельности, как театр, хореография, музейное дело и пр. Речь идет о новейших иммерсивных технологиях, которые в наши дни с успехом применяются в публичных пространствах в ходе развлекательных и образовательных мероприятий – экскурсий, викторин, квестов и пр. Все большую роль в этих сферах сегодня играет специальное оборудование, способствующее погружению сознания зрителя в интерактивную или виртуальную реальность. Однако создавать такие параллельные среды люди научились задолго до появления 3D-кинотеатров и VR-шлемов. В современной науке эффект погружения в другую реальность или эффект присутствия в ней обозначается термином *иммерсия.*

Актуальность предлагаемой статьи состоит в том, что в настоящее время региональные музеи, театры и другие культурно-просветительские заведения часто не могут позволить себе использование новейших иммерсивных технологий ввиду отсутствия подготовленных специалистов и средств на их приобретение. Поэтому для полноценной работы в сфере популяризации истории и традиционной культуры народов России руководителям уже действующих и только создаваемых музеев и лекториев будет небесполезно обратиться к многовековому опыту создания иммерсивных пространств.

Цель исследования заключается в том, чтобы проследить эволюцию иммерсивных практик и технологий, применявшихся в общественных (и сакральных) пространствах различных цивилизаций с древнейших времен до X в. н.э.

В задачи работы входило изучение и обобщение сведений, содержащихся в источниках, справочной и научной литературе.

В статье использованы труды античных авторов, научные публикации отечественных и зарубежных специалистов (историков, искусствоведов, культурологов и архитекторов), а также справочные данные из сетевых словарей и энциклопедий.

В ходе работы использованы диалектический и сравнительно-исторический методы исследования.

Широкую известность в свое время получил зафиксированный в письменных памятниках рассказ о состязании двух афинских живописцев – *Паррасия* и *Зевксида* [1, с. 91]. Согласно преданию, на представленной суду зрителей картине Зевксид изобразил кисть винограда. Ягоды выглядели столь натурально, что привлекли внимание птиц. Это вызвало восторг присутствующих. Когда же Зевксид, предвкушая победу, попросил Паррасия отдернуть занавес с его работы, оказалось, что этот занавес нарисован. Таким образом, верх одержал Паррасий, ведь Зевксиду удалось обмануть лишь глупых птиц, а Паррасию – не только публику и судей, но и искушенного соперника. Данный эпизод иллюстрирует эффект кратковременного погружения зрителей в другую реальность посредством ее визуализации.

Позднее, в эпоху Средневековья, такие изображения получили название *тромплёй* (фр. *trompe-l'œil* – «обман глаза»), или *обманка* [2, с. 366] (рис. 1, 2).



Рис. 1. *Картина-тромплёй. Пер Боррель дель Касо. Спасаясь от критики. Коллекция банка Испании. Мадрид. 1874 г.*[1]

Fig. 1. *Escaping Criticism (Escapando de la crítica), trompe-l'œil painting by Pere Borrell del Caso, 1874. Collection of the Bank of Spain, Madrid.*



Рис. 2. *Курт Веннер. День гнева. Стрит-арт (тромплёй на тротуаре)*[2]

Fig. 2. *Dies Irae, pavement trompe-l'œil street art by Kurt Wenner.*

Практики погружения появились еще в первобытную эпоху. Здесь в плодотворное взаимодействие вступили реальный опыт, вера в сверхъестественные силы и творчество, и первыми свидетельствами тому стали наскальные рисунки, к которым мы вернемся ниже. Позднее иммерсивные ритуалы стали важной частью религиозных культов в древнейших деспотиях Древнего Востока. Жрецы Египта и государств Ближнего Востока, обладая глубокими для своего времени знаниями в области астрономии, химии, фармакологии, использовали различные методы иммерсии для введения верующих в состояние религиозного трепета и манипуляции их сознанием. Жреческая корпо-

[1]https://artchive.ru/artists/90482~Kurt_Venner/works/625327~Den%27_gneva_Strashnyj_sud
[2]https://artchive.ru/artists/90482~Kurt_Venner/works/625327~Den%27_gneva_Strashnyj_sud

рация ревниво оберегала секреты и, кроме того, делилась на категории в соответствии со специализацией [3, с. 106–107].

Таким образом, иммерсивные практики в своем развитии прошли путь от мифо-ритуального действа первобытных обществ до первых литургических и сценических экспериментов Древнего мира [4, с. 158–165].

Знания жрецов Древнего Востока были унаследованы представителями античной Греции, а затем и Рима. Однако в отличие от древних египтян, обращавшихся к практикам погружения почти исключительно в культовых целях, греки классического и эллинистического периода существенно расширили диапазон их применения. В античную эпоху иммерсивные технологии благодаря новым знаниям и умениям в таких областях, как акустика, оптика, механика, риторика и архитектура, способствовали расцвету греческого и римского театров и стали одним из постоянных элементов европейского сценического искусства и храмовой архитектуры.

I. Доистория. Охотники и собиратели

Изображения животных на стенах и сводах пещер, находящихся в разных частях света, некоторые исследователи относят к визуальным атрибутами первобытной магии. В пользу этой гипотезы высказывались Анри Брейль, а затем и Дэвид Льюис-Уильямс[3]. Последний считает пещерную живопись свидетельством практик первобытного шаманизма. Согласно гипотезе Льюиса-Уильямса, шаманы, погрузившись в состояние транса, изображали на стенах пещер свои видения с целью получить силу и знания.

Древнейшим наскальным изображением животного на сегодняшний день считается т. н. целебесская свинья, обнаруженная в одной из карстовых пещер на юге индонезийского острова Сулавеси (Целебес) (рис. 3).



Рис. 3. *Целебесская свинья из пещеры Леянг-Тедонг на о. Сулавеси (Индонезия)*[4]

Fig. 3. *Cave painting of a Sulawesi warty pig in Leang Tedong, Sulawesi, Indonesia*

[3]Анри́ Эдуа́р Проспе́р Брёйль (1877–1961) – французский католический священник, археолог, антрополог, этнолог и геолог, специалист по палеолиту и истории первобытного искусства. https://www.hrono.ru/vvedenie.php (дата обращения: 12.05.2026); Льюис-Уильямс, Дэвид (род. 1934) – южноафриканский археолог. Известен своими исследованиями наскальной живописи, основатель Научно-исследовательского института наскальных рисунков, профессор когнитивной археологии в университете Витватерсранда (Йоханессбург, ЮАР).

[4]https://naukatv.ru/news/najdeno_samoe_drevnee_naskalnoe_izobrazhenie_zhivotnogo

Изображение было открыто австрало-индонезийской экспедицией в 2021 г. Уран-ториевый метод датирования определил возраст изображения в 45 тыс. лет (2021 г.). Интересно, что данный вид свиньи (лат: Sus celebensis) эндемичен и являлся основой пищевого рациона на острове. Это во многом объясняет, почему целебесская свинья стала объектом внимания местного художника-жреца и, вероятно, использовалась в качестве центрального атрибута в предваряющих охоту магических обрядах.

Вероятно также, что главной фигурой этих обрядов был сам рисовальщик, так как творческие способности кого-либо из членов общины, проявившиеся в пещерных граффити, делали его в глазах соплеменников не столько художником, сколько обладателем сакрального умения – *рисования успеха или неудачи* в таком важном предприятии, как добыча пищи. Разглядывая рисунки со сценами охоты, люди верили, что изобразивший их человек может предсказывать и более того направлять ее ход (рис. 4).



Рис. 4*. Изображения тарпанов и носорогов в пещере Шове (Юг Франции)*[5]

Fig. 4*. Cave paintings of tarpans and rhinoceroses, Chauvet Cave, Southern France*

Итак, первыми площадками, где стали применяться практики протоиммерсии, были природные святилища (пещеры, священные рощи, возвышенности) и культовые сооружения (хэнджи, храмы, площади и т.п.). Применять их могли лишь служители культов, которые со временем стали монополистами знаний и передавали их из поколения в поколение на протяжении многих веков [3, с. 106–111].

II. Древний Египет. Жрецы и звездочеты

Общеизвестно, что жрецы в обществах Древнего Востока умели с точностью до минут вычислять и «предсказывать» различные астрономические и природные явления. Основывались эти предсказания на многолетнем эмпирическом опыте, накопленном многими поколениями священнослужителей. Используя эти знания, жрецы трактовали земные и небесные явления в интересах правителей или своей корпорации и объясняли их либо волей высших сил, либо вечным противостоянием между силами света и тьмы. В Древнем Египте Позднего царства (VII – IV вв. до н. э., до завоевания его Александром Великим) затмения солнца, наблюдаемые большим скоплением подданных фараона, трактовались как поединок бога Солнца Ра, символизировавшего благо и порядок, со змеем Апопом,

[5]Пещерная живопись / Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/

олицетворявшим зло и хаос[6]. Несомненно, такие зрелища, сопровождаемые заклинаниями или камланиями жрецов, ритмичными ударами барабанов и другими «спецэффектами», направленными на поддержку Ра, могли производить сильное иммерсивное воздействие на присутствующих [6, с. 570–584].

Практики иммерсии использовались жрецами древнеегипетских богов и как своего рода инаугурация. Так, интронизация фараона Тутмоса III произошла после «указания» самого бога Амона. «Знамение» божества было ниспослано вопрошающим жрецам, но в какой именно форме – неизвестно [7, с. 166–167]. Вероятно, для этого использовалась имитация «голоса» Амона и (или) постановочные «знамения» другого рода. Все угодные верховной власти решения «легитимизировались и санкционировались в любое время специальным оракулом бога, и благодаря особому устройству священное изображение, перед лицом которого верховный жрец возвещал свою волю, неизменно подтверждало ее сильным кивком головы или даже словами» [8, с. 346].

Египетские зодчие и священнослужители для погружения верующих в религиозный трепет использовали прием световой инсталляции. Речь идет о знаменитом скальном храме Амона Ра-Хорахти и Птаха в местности Абу-Симбел на египетско-суданской границе (рис. 5).

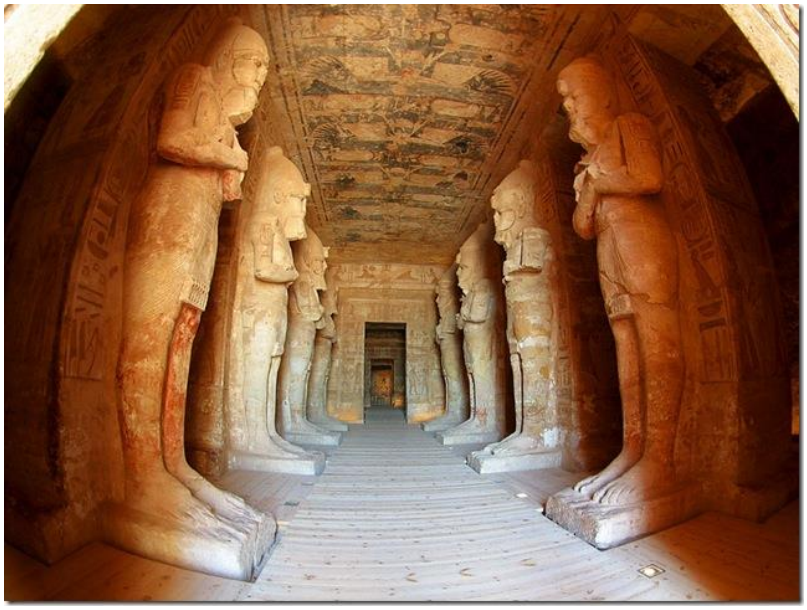


Рис. 5*. Осирические 10-метровые статуи в храме Абу-Симбел*[7]

Fig. 5*. Ten-meter Osiride statues in the Great Temple of Abu Simbel*

Он был построен (фактически высечен в скале) по указу фараона Рамзеса II в XIII в. до н. э. в честь победы над хеттами при Кадеше[8].

Храм спроектирован таким образом, что дважды в год – в 6 часов утра 22 октября и 22 февраля – солнечный луч преодолевает коридор длиной 65 м и освещает сидящие статуи богов; по 6 минут солнцем освещены изображения Амона и Ра-Хорахти, 12 минут – фигура самого фараона-бога Рамзеса II. Бог Птах (на фото – первый слева) представляет тайную трансформирующую силу Земли и потому в отличие от трех других фигур всегда остает-

[6]Рак И. В. Египетская мифология. СПб. 2000. https://www.litlib.net/bk/187278/read/5http://annales.info/egipet/rak/03.htm

[7]Храмы Абу-Симбел https://lifeglobe.net/entry/1073

[8]Битва при Кадеше – сражение между войсками Египетского и Хеттского царств, сильнейших держав Ближнего Востока, в конце XIV – начале XIII веков до н. э. Войска возглавляли фараон Рамсес II и царь Муваталли II // Битва при Кадеше / Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/ (дата обращения: 31.07.2026).

ся во тьме (рис. 6). Вместе с тем восходящее солнце и проникающие в святилище лучи солнца были символом воскрешения. Для древнего египтянина это было настоящим чудом и анимацией в реальном времени.



Рис. 6*. Статуи богов в святилище храма в Абу-Симбеле (Египет)*[9]

Fig. 6 *Statues of deities in the sanctuary of the Abu Simbel temple, Egypt*

Кроме того, жрецы древнеегипетских храмов умело использовали эффект, производимый проекцией изображений. Например, во время богослужений они могли «вызывать» богов и духов, силуэты которых проецировались на облаке дыма. Подвижная пелена дыма, служившая экраном, создавала иллюзию движущихся фигур. Люди принимали тени, возникавшие в клубах дыма, за духов, вызванных с помощью магии. С той же целью (вызов богов и духов) древнеегипетские жрецы использовали свои познания в химии и минералогии. Они пропитывали смесью серы и извести (сульфидом кальция) какой-либо предмет, который, полежав определенное время на солнце, приобретал способность к свечению даже в полной темноте. Возможно, в качестве люминофоров использовались и другие соединения. Позднее, уже в XX в., в Англии были созданы так называемые Бальменовские светящиеся краски, в состав которых входили сернистый калий и примеси солей висмута, что вместе представляло собой активатор, провоцирующий свечение.

Для подобных проекций использовались также граффити, зеркала, статуи и животные. В роли богов могли выступать и соответствующим образом одетые актеры.

III. Античная Греция. Оракулы. Мистерии. Театры

В античную эпоху к практикам иммерсии прибегали жрецы *некромантейонов* (оракулов мертвых), в частности жрецы некромантейона Аида и Персефоны, располагавшегося на р. Ахерон в исторической области Греции – Эпире. Здесь проекции призваны были создавать ощущение присутствия душ умерших, а сам храм считался вратами в царство мертвых. Люди посещали это место для общения с душами родственников, отсюда и название[10].

[9]https://madvoyager.ru/hramy-ramsesa-ii-i-nefertari-v-abu-simbele/

[10]Некрома́нтия (от др.-греч. νεκρός «мертвый» + μαντεία «прорицание»; «вопрошение душ умерших о будущем») – вид магии, который предполагает общение с душами умерших [3]. В основе некромантии лежит убеждение в том, что мертвые обладают особым могуществом и могут покровительствовать живым // Некромантия / Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/Некромантия) (дата обращения: 12.05.2026).

Чтобы паломник мог испросить совета у своего умершего предка или родственника он должен был погрузиться в транс. Для этого жрецы некромантейона использовали специальные снадобья, приготовленные из растений. После омовения и других очистительных процедур паломники употребляли в пищу *зерна люпина (волчьи бобы)*, вызывавшие галлюцинации. Об этом оракуле рассказывает в своей «Одиссее» Гомер [9, X, ст. 513].

Геродот же писал, что в VI в до н. э. правитель Коринфа Периандр отправил послов в Феспротию[11], чтобы через оракул некромантейона узнать у своей покойной жены Мелиссы, где спрятаны сокровища, принадлежавшие гостеприимцу Периандра [10, V, ст. 92].

Таким образом, совмещение универсальных свойств измененных состояний сознания и феномена «особых мест» (например, глубоких пещер) привело к представлениям о сверхъестественном подземном мире, который стал, среди прочих ритуальных областей, местом поиска видений, содержащих ответы [5, с. 80].

Психотропные вещества растительного происхождения непосредственно перед «контактом» с потусторонним миром употребляли и участники *Элевсинских мистерий*, посвященных богине плодородия Деметре.

Известно, что на этом празднике они пили напиток *кикеон*, приготовленный на основе зараженных спорыньей зерен ячменя, который и вызывал галлюцинации. Существует мнение, что в кикеоне могли содержаться грибы *псилоцибе*[12], употребление которых и приводило участников мистерий к погружению в другую реальность [11, с. 106–107]. Гомер описывает, как нимфа Цирцея угостила таким снадобьем спутников Одиссея и превратила их в свиней:

…230 Чином гостей посадивши на кресла и стулья, Цирцея
Смеси из сыра и меду с ячменной мукой и с прамнейским
235 Светлым вином подала им, подсыпав волшебного зелья
В чашу, чтоб память у них об отчизне пропала; когда же
Ею был подан, а ими отведан напиток, ударом
Быстрым жезла загнала чародейка в свиную закуту
Всех; очутился там каждый с щетинистой кожей, с свиною
240 Мордой и с хрюком свиным, не утратив, однако, рассудка…

[9, X ст. 230, 235, 240]

Там же, в Эпире, располагался еще один знаменитый оракул. Он находился в священном дубовом лесу в урочище *Додона*. В качестве посредников между оракулом и вопрошающими здесь выступали жрицы Зевса Додонского – *пелиады*. Они осуществляли свои прорицания, вслушиваясь в шелест листьев и голоса птиц, живущих в кроне священного дуба. Для того чтобы призвать вдохновение, пелиады проходили *подготовительные обряды* (курения, жертвоприношения и т. п.) [10, I ст. 46; II ст. 52, 55, 57; IX ст. 93].

В случае с Додонским оракулом объектом иммерсии становился не вопрошающий (паломник), а посредница (жрица, пифия). Однако паломники, слышавшие шелест тысяч листьев и пение сотен птиц, вероятно, тоже испытывали чувство религиозного трепета.

Оракул Трофония в Лебадее (Беотия) представлял собой сооружение, внешне напоминающее хлебную печь. Внутри его находилась яма, в которую вопрошающий после череды очистительных ритуалов опускал ноги. После того, как ноги опускались в яму выше колен, неизвестная сила стремительно втягивала вопрошающего и через несколько мгновений «выплевывала» обратно. В момент пребывания в этой яме желающий получал прорицание.

[11]Феспро́тия – страна феспротов – одного из племен Эпира (истор. область Древней Греции).

[12]Псилоцибин представляет собой химическое соединение, которое оказывает наркотическое воздействие на организм и обладает галлюциногенным эффектом. Это вещество содержится в несъедобных грибах-сапрофитах, которые распространены повсеместно. (Псилоцибин // Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/ (дата обращения: 12.05.2026)

Павсаний пишет, что «… накануне самого спуска, в первую ночь, двое юношей, в возрасте приблизительно тринадцати лет, вели вопрошающего к речке Геркине, мыли его, натирали маслом и вообще прислуживали при предварительных обрядах. Затем жрецы направляли его к двум источникам – из которых он пил поочередно воду Леты (Забвения), чтобы забыть все земные горести, и воду Мнемозины (Памяти), чтобы запомнить все, что предстояло увидеть в пещере. Лица, попавшие таким образом внутрь святилища, узнавали будущее: одни – посредством зрения, другие – посредством слуха, большинство же через сновидения» [12, IX гл. 39].

В этом случае можно лишь предполагать, каким образом вопрошающий получал ответ оракула. Вероятно, его сознание изменялось после употребления им «вод забвения и памяти», которые в реальности могли содержать галлюциногенные вещества.

Необходимость проведения земледельческих празднеств, культовых обрядов и игр в удобных для этого локациях привела в VI в. до н. э. к появлению в Древней Греции театров [13, с. 10–11].

Первые постановки, которые разыгрывались на сценах, представляли собой эпизоды из мифов, где главными действующими лицами были богиня плодородия Деметра, ее дочь Персефона, бог подземного царства Аид, бог виноделия Дионис и др. Тогда же начала формироваться ставшая затем классической конструкция античного театрального здания. Н. И. Брунов считает, что «греческое театральное здание в своих истоках связано с культовыми плясками на круглой площадке вокруг алтаря, которую окружало кольцо зрителей…» [14, с. 149]. Со временем круглая площадка вокруг алтаря – *орхестра* – превратилась в площадку для хора, а холм, который возвышался с одной стороны от алтарной площадки (орхестры), превратился в полукруглый амфитеатр – *театрон* (греч. θεατρόυ – «место для зрелищ, зрелище») (рис. 7).

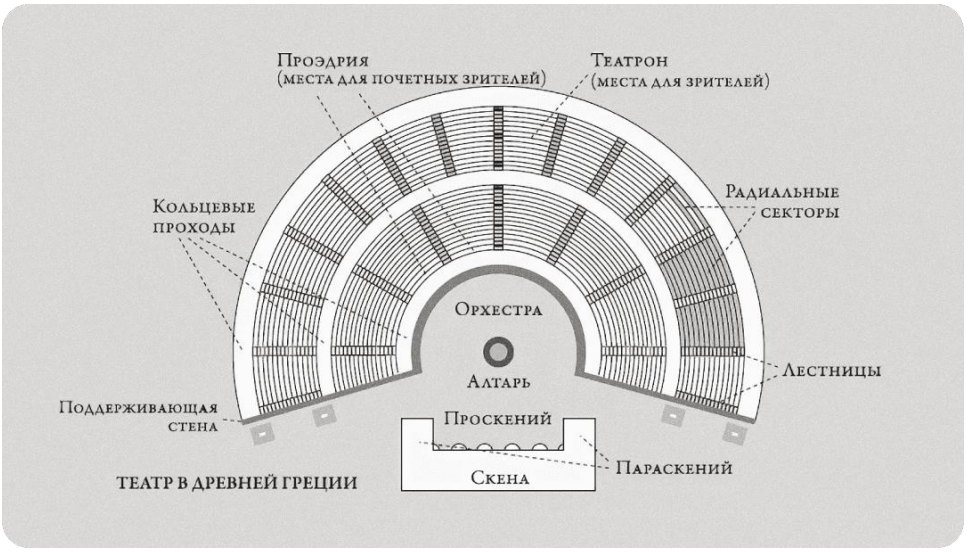


Рис. *7. План классического греческого театра*[13]

Fig. *7. Plan of a classical Greek theater*

В древнейшем театре античного периода – *театре Диониса в Афинах (IV – VI вв. до н. э.)* – во время спектаклей по пьесам Эсхила или Софокла возводили бутафорский храм или дворец. А к югу от скены открывалась живая декорация – великолепная панорама лазурного моря с островом Эгина на горизонте. Она прекрасно дополняла сценарий, делала его более «живым» и жизнерадостным [15, с. 10–11]. Иными словами, эта естественная декорация являлась дополняющим элементом, способствовавшим более полному погружению зрителей в сюжет представления с помощью визуализации.

[13]https://artforintrovert.ru/magazine/tpost/57tssgfl01-kak-ustroen-drevnegrecheskii-teatr

Еще одним обязательным визуальным элементом греческого спектакля были маски. Изготавливались они чаще всего из проклеенного гипсом льна, дерева или кожи. При этом прорезь для рта имела воронкообразную форму, благодаря чему в ходе декламации голос актера доносился до задних рядов театрона [16] (рис. 8).



Рис. 8. *Терракотовая театральная маска комедии, IV–III вв. до н. э.*[14]

Fig. 8. *Terracotta comic theatrical mask, 4th–3rd century BC*

Уже в глубокой древности маска широко и в различных качествах использовалась жрецами и другими участниками религиозных обрядов. В разнообразных переодеваниях во время празднеств Диониса исследователи традиционно усматривают начала театральной маски [17, с. 16] (рис. 9).

Греческие театральные маски сообщали зрителю характеры персонажей. Важным маркером здесь служил цвет. Например, ярость передавалась багровым цветом, болезнь – желтым, мудрость – синим, хитрость – рыжим, Сандалии на высокой деревянной платформе – *котурны* – зрительно увеличивали рост актера. Кроме того, цвет маски указывал на пол героев (женщины к актерской профессии в Античной Греции не допускались). Мужские маски были темные, женские – светлые. «Происхождение такого различия исследователями связывается с социальными особенностями афинского (и в целом древнегреческого) общества: мужчина большую часть времени проводил вне дома (кожа его темнела от загара), женщина, напротив, в его стенах» [17, с. 16].

Как видно, набор масок был довольно ограничен, как и набор доступных в ту эпоху красителей, но греки добивались эффекта иммерсии, выстраивая весь спектакль вокруг образов – реальные человеческие черты и мелкие детали могли лишь отвлечь внимание зрителя от основной идеи. Намного позднее этот подход используют византийские мастера, которые, не стремясь к иллюзионизму, упразднят четкую границу между миром реального и миром кажущегося [18].

В греческом театре использовалась и машинерия. Во время спектаклей могла использоваться эккиклема – театральная машина, при помощи которой открывалась задняя часть сцены и взору зрителей открывалось внутреннее пространство «дворца» или «дома».

[14]Беклемишева Е. Театральные маски Античности: виды и смыслы https://mediiia.com/project/teatralnye-maski-antichnosti-vidy-i-smysl-01f0863f49e04de3a4e4537c3a50ba72



***Рис. 9**. Мраморный рельеф с изображением драматурга (Менандра), держащего в руке комическую маску, I в. до н. э. – I в. н. э.*[15]

***Fig. 9**. Marble relief depicting a playwright (Menander) holding a comic mask, 1st century BC – 1st century AD*

Машина-подъемник, с помощью которой боги могли спускаться с балкона на орхестру и подниматься обратно, называлась эоремой[16]. Для достижения эффекта звуковой иммерсии в театрах античной Греции использовались т. н. акустические ловушки, экраны и резонаторы.

Классическим театральным сооружением эпохи ранней Античности считается театр в Эпидавре (п-ов Пелопонесс, Греция), способный вместить 12–14 тыс. зрителей и отличающийся уникальной акустикой. Именно это качество привлекло к нему внимание театральных режиссеров XX в. (рис. 10).



***Рис. 10**. Театр в Эпидавре (Греция)*[17] */* ***Fig. 10**. The Ancient Theatre of Epidaurus, Greece*

[15]https://mediiia.com/project/teatralnye-maski-antichnosti-vidy-i-smysl-01f0863f49e04de3a4e4537c3a50ba72

[16]Кулишова О. В. Театральная машинерия в античности // Сайт: Энциклопедия Всемирная история. https://w.histrf.ru/articles/teatralnaya-mashineriya-v-) (дата обращения: 19.07.2026)

[17]Википедия. Древняя Греция https://ru.wikipedia.org/wiki/

В 1938 году на сцене этого древнего театра после завершения археологических исследований была поставлена трагедия Софокла «Электра». Практику таких постановок нарушила Вторая мировая война, но уже с 1955 года в Эпидавре стал проводиться ежегодный театральный фестиваль[18].

Первоначально роль звукоотражателя (акустического экрана) в греческих театрах играла орхестра, но после того, как на нее стали допускать зрителей, основным отражателем звука стала ближняя к орхестре стена сцены [19]. Сегодня на театральном слэнге она называется «задником».

В более поздних античных театральных сооружениях эта стена имела в центре выемку в форме рефлектора, направлявшую и ограждавшую распространение звука. Такие рефлекторы-отражатели имелись и в более поздних римских театрах в Арле (Франция), Помпеях (Италия) и др. [19].

Витрувий сообщает, что если здание театра было небольшим, то в заднике сцены обычно предусматривалось «тринадцать сводчатых ниш, отстоящих друг от друга на двенадцать равных промежутков». Эти ниши также играли роль рефлекторов, раскладывая при этом звук голоса на тоны и направляя его в сторону зрителей. В ходе сценического действа актеры поворачивались к ним, чтобы усилить звучание своего голоса [20, V].

Тот же автор указывает на использование в театрах еще одного способа усилить и направить звуки голосов актеров и хора. Он пишет, что для этого в указанные ниши и другие пустоты в конструкции театра помещали медные или глиняные сосуды, известные как *эхеи* (от греч. *ēcheia* – «отзвук», отсюда и русское *эхо*), полости которых выполняли роль дек в струнных инструментах.

«По такому расчету голос, растекаясь со сцены, как из центра, распространяясь кругами и ударяясь о полости отдельных сосудов, достигнет большей звучности и будет, благодаря согласию звуков, вызывать должное ответное созвучие» [20, V].

IV. Рим. «Хлеба и зрелищ!»

Одним из возможных истоков римского театра были сельские праздники сбора урожая. Их участники распевали веселые шуточные песенки язвительного содержания – *фесценнины*[19]. Были популярны также *сатуры*[20] – сценки бытового и комического содержания, состоящие из музыки, песенок, танцев и декламации. Первоначально функции сцены для таких представлений выполняли переносные сооружения. Спектакли проходили на примитивных деревянных подмостках.

Вероятно, именно из сатур и фасценнин выросли первые италийские народные театры *флиаков и ателлан*[21] (рис. 11).

---

[18]Театр в Эпидавре // Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/

[19]Фесценнины (вероятно, от названия южно-этрус. города Fescennium) – народная италийская шуточная песня, исполнявшаяся попеременно на свадьбах и праздниках урожаев, иногда носила непристойный характер, кроме того, шутливые стихи во время триумфальных шествий. Со времен Августа Ф. были собирательным назв. шуточной поэзии // Словарь античности: пер. с нем. / Сост. Й. Ирмшер в сотр. с Ренате Йоне; редкол.: В.И. Кузищин (отв. ред.) и др. М.: Прогресс, 1989. 704 с.

[20]Сату́ра (лат. satura – смесь, всякая всячина, буквально «блюдо, изготовленное из смеси разных плодов» [1] – жанр ранней римской литературы: сборник коротких стихотворных и прозаических произведений разнообразного содержания. Римские филологи обозначали также этим термином долитературные театральные представления этрусского образца // Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/

[21]Флиак – жанр коротких сатирических, часто непристойных сценок из повседневной жизни людей и похождений богов и героев. Своего рода прообраз театра миниатюр. В содержательном плане бытовали комические пародии мифов, трагедий и комедий. Декорациями для представлений служили легкие переносные ширмы // Википедия / Флиаки https://ru.wikipedia.org/wiki/ (Ателла́на (от лат. fabula atellana, басня из Ателлы) – короткие фарсовые представления в духе буффонады, названные по имени города Ателла в Кампанье, где они зародились).



***Рис. 11**. Сценка флиаки (хозяин и раб в короткой тунике) на древнегреческом кратере. Около 350–340 года до н. э. Лувр, Париж*[22]

***Fig. 11**. Phlyax scene: a master and his slave wearing a short tunic, on a Sicilian red-figured calyx-krater, ca. 350–340 BC. Louvre Museum, Paris*

Сцену такого театра также можно было легко демонтировать и перевозить из одного города в другой. Флиаки и ателланы напоминали труппу странствующих скоморохов, выступающую за еду или мелкую монету перед простолюдинами. О каких-то иммерсивных средствах, которые бы использовались актерами таких передвижных театров, говорить не приходится – реквизит, грим и инвентарь были крайне примитивны, как и сами подмостки, больше походившие на помост. Однако, несмотря на популярность в плебейской среде, в самом Риме народный театр не развился. Причина заключается, вероятно, в консервативном общественном укладе римлян, строгих нравах римской аристократии, считавших театры флиаков компанией бродяг, а актерскую игру – забавой черни. Из-за строгих нравов, царивших в римском обществе в республиканский период, в классических римских театрах до конца II в. до н. э. отсутствовали даже сидения, так как «отцы города» сенаторы считали их развращающим граждан излишеством [21, с. 10–11].

Классический римский театр сложился в эпоху расцвета эллинистической культуры в Средиземноморье во II в. до н. э. и основные конструктивные компоненты унаследовал от греческого театра. Это была эпоха завоеваний и распространения власти Рима на территории всего Средиземноморья, включая Грецию и эллинистические государства. Однако, по меткому выражению Горация Флакка[23], *«Греция взятая в плен победителей диких пленила»,* и в классическом римском театре присутствовали все главные составляющие греческого – *орхестра, сцена (скена), театрон.* Однако для празднования новых побед и в честь победителей в эту эпоху в Риме стали проводиться массовые мероприятия, и для грандиозных и торжественных представлений понадобилось соответствующее оформление в виде красивых театральных зданий [21, с. 15] (рис. 12).

[22] Флиаки // Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/

[23]Квинт Гора́ций Флакк – древнеримский поэт «золотого века» римской литературы.

Таким образом, внешний облик римского театра сильно изменился. Само театральное здание теперь возвышалось над землей, а не лепилось к склону холма. Круглая площадка между сценой и театроном – орхестра – с утратой роли хора в классическом римском театре стала полукруглой, так как уже наполовину была занята сидениями для сенаторов и знати. Сама сцена стала в ряде случаев многоярусной стеной, изолировавшей внутреннее пространство. Ее высота часто равнялась высоте зрительного зала, и поскольку орхестра после установки на ней сенаторских кресел стала вдвое меньше, сцена «приблизилась» к зрителям. На всех ярусах сцена декорировалась рядами колон и разного рода фронтонов, картин, доспехов, что подчеркивало ее высоту и придавало пышность. Более того, для защиты от осадков и палящих лучей солнца римляне объединили сцену и театрон сначала крытой галереей, а затем и тентом [22, с. 575].

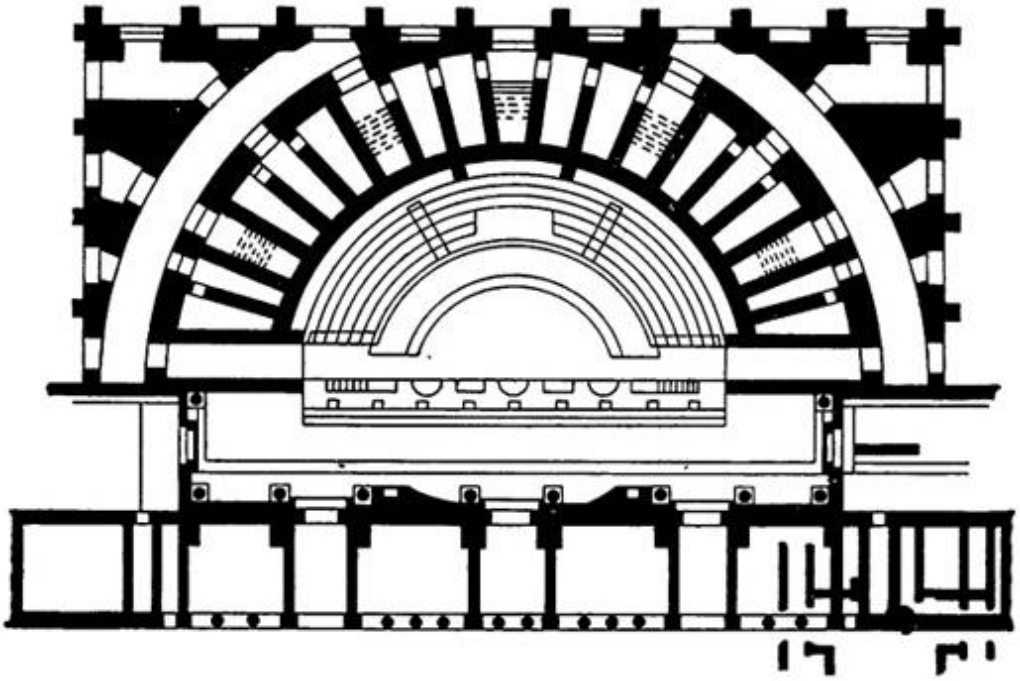


***Рис. 12**. План классического римского театра. Августа Претория (Аоста). Одеон, конец I в. до н.э. – I в. н.э. / Зрелищные сооружения Римской империи*[24]

***Fig. 12**. Plan of a classical Roman theater: the Odeon of Augusta Praetoria (Aosta), late 1st century BC– 1st century AD.*

Теперь театрон смыкался со сценой в единое, изолированное от внешнего мира пространство. Первым подобным театром был театр Помпея, построенный в 55–52 гг. до н. э. Его театрон вмещал в себя 17 тыс. зрителей. Схожей архитектурой обладали все построенные позднее римские театры (Бальба, Марцелла, Скавра и т. д.) [21, с. 13–17] (рис. 13).

Возводя театральные сооружения, римляне применяли полученные от греков знания в области акустики. Плиний Старший писал, что в орхестре театра голос *«поглощается насыпанными опилками или песком, а также окружением грубо отделанных стен и пустыми бочками. Но он же распространяется по прямой или вогнутой стене и, если не препятствует какая-либо неровность, то слово, сказанное даже тихим голосом, доносится до другого конца…»* [23, с. 88].

[24]История архитектуры. http://totalarch.ru/node/280

Главное различие между греческим и римским театрами состояло в разных идейных подходах. В случае Греции – это идея служения богам, а в римском – идея служения Вечному Городу, государству, империи. Для грека театр был в каком-то смысле храмом, для римлянина, скорее, залом торжеств или стадионом.

«Греки видели мир как бы сквозь все объединяющую и связывающую воедино поэтическую дымку мифа. Для римлянина она начинала рассеиваться, и явления воспринимались в более отчетливых формах, познавать которые становилось легче, хотя это же приводило к утрате ощущения цельности мироздания», – писал историк античного искусства Г. И. Соколов [24, с. 4].



Рис. 13*. Римский театр в Оранже (Франция)*[25]

Fig. 13*. The Roman Theatre of Orange, France*

Возможно, такой взгляд на мир и стал причиной того, что и наиболее знаменитые римские драматурги – *Ливий Андроник, Публий Теренций Афр, Тит Плавт, Гней Невий* – писали в основном комедии. Если же авторы намеревались создать трагедию, то ее сюжетная канва, как правило, была заимствована у греческих драматургов и переработана. Чтобы сделать эти произведения ближе римскому уху, они использовали *сатурнический и трохеический стих* [25]. Однако справедливости ради надо отметить, что жанр исторической трагедии – *претексты* – был чисто римским изобретением.

Что касается умения создавать другую реальность с помощью иммерсивных технологий, то здесь римляне были, скорее, подражателями, нежели создателями. Все полученные от предшественников знания в этой области они употребили на устройство пышных, но по содержанию довольно примитивных зрелищ, ежегодно устраиваемых государственных праздников – Римских (сентябрь), Плебейских (ноябрь) и Аполлоновых (июль) игр, Мегалесиях (апрель), справлявшихся в честь «матери богов» Реи-Кибелы, Флоралиях (май) – в честь богини цветов и весны Флоры (рис. 14). Спектакли устраивались во времена триумфальных и погребальных игр, в период выборов высших должностных лиц и т. п. Главным зрелищем были гладиаторские игры.

[25]https://vk.com/@biblio152-drevnerimskii-teatr-osobennosti-i-otlichiya // Центральная детская библиотека № 152 г. Москвы / Вконтакте



***Рис. 14**. Театральный спектакль, фреска из Помпеи, музей Неаполя*[26]

***Fig. 14**. Theatrical scene, fresco from Pompeii, National Archaeological Museum of Naples*

Традиция проведения поминальных боев как части погребального обряда бытовала у многих древних народов и восходит к межродовым и межплеменным войнам, когда воинов противника, плененных в бою, чаще всего предавали смерти. Позднее их стали заставлять биться друг с другом над телом умершего родственника [26, гл. IX]. Залогом зрелищности таких поединков было правило – победитель получал жизнь. Поминаемый, таким образом, приобретал в лице погибших бойцов провожатых в загробную жизнь и заодно развлекался кровавым зрелищем. Возможно, латиняне восприняли этот обычай от населения соседней Кампаньи. Именно кампанцы заменили обычай погребальных человеческих жертвоприношений на бои между пленниками [27] (рис. 15).



***Рис. 15**. Амфитеатр в Помпеях*[27] / ***Fig. 15**. Amphitheatre in Pompeii*

[26]Гид по Вероне https://veronavisita.it/?p=15637
[27]Бельканто https://www.belcanto.ru/drrim_theatre.html

Первые гладиаторские схватки зафиксированы в 264 г., до н. э. когда три пары гладиаторов вынуждены были биться на поминках умершего римлянина. Подобные поминальные бои проводились обычно частными лицами, но в 105 г. до н. э. бои гладиаторов были отнесены к числу общественных зрелищ, которые устраивались магистратами, и с тех пор они стали излюбленным развлечением как патрициев, так и плебса.

Поразить воображение народа блестящими играми, их длительностью, количеством гладиаторов и их мастерством значило расположить к себе людей, вызвать в них чувство благодарности.

В последние годы республики гладиаторские игры стали одной из форм взятки, которой покупались голоса избирателей. Она оказалась настолько действенной, что сенат запретил всем кандидатам в магистраты в течение двух лет, предшествующих выборам, устраивать гладиаторские игры [26, гл. IX].

Второй формой взятки магистратов римскому народу была бесплатная (или почти бесплатная) раздача хлеба. Позднее римский поэт Ювенал использует выражение «хлеба и зрелищ!» *(лат. «Panem et circenses»)* как главное устремление римского народа.

Спустя два столетия, в период империи, на аренах римских амфитеатров в дни празднеств разыгрывались уже настоящие сражения с участием сотен пар гладиаторов. Прямо пропорционально росло и число зрителей, желавших увидеть кровавые бои на арене цирка. Если раньше бои проводились на римском рынке или на Форуме, то в эпоху империи стали строиться специально для этого предназначенные арены – амфитеатры. Императоры Веспасиан и Тит из династии Флавиев выстроили в Риме невиданный доселе амфитеатр, вмещавший до 100 тыс. зрителей и известный сегодня как Колизей (от лат. Colosseum, букв. «Колоссальный») [26, гл. IX] (рис. 16).



***Рис. 16**. Колизей (Амфитеатр Флавиев). Фото 1859 г.*[28]

***Fig. 16**. The Colosseum (Flavian Amphitheatre), photograph from 1859*

[28]Бельканто https://www.belcanto.ru/drrim_theatre.html

Особо роскошным зрелищем считалась *навмахия* (греч. «морская борьба») – гладиаторские бои, имитирующие морские сражения.

Одна из первых известных навмахий состоялась по приказу Юлия Цезаря в 46 году до н. э. Для этого на Марсовом поле в Риме было выкопано целое озеро, по периметру которого выстроили здание со скамьями для зрителей. В период империи грандиозные навмахии проводились по указам императоров Августа, Тита и Нерона. Невиданное представление было организовано в Риме при императоре Тите Флавии в 80 г. н. э. по случаю открытия Колизея. По завершении большой навмахии на озере возвели помост для проведения сухопутных гладиаторских боев. Одновременно небольшие корабли сразились прямо на заполненной водой арене нового амфитеатра, имитируя известное сражение 434 г. до н. э. между керкирянами и коринфянами [27].

В дальнейшем вторжение варваров и падение Римской империи привели к упадку античной культуры и науки и наступлению так называемых Темных веков (V–X в. н. э.). Лишь Восточная Римская империя, сохранившись сама (до сер. XV в.), сумела сохранить опыт и знания, добытые предшественниками, и перенести их на новую духовную почву. Наступившая затем эпоха расцвета Византийской империи вызвала в Европе новый всплеск интереса к наукам и искусствам и, как следствие, к совершенствованию различных практик, включая практики иммерсии.

V. Византия. Иеротопия. Gesamtkunstwerk

Сакральная среда, создаваемая людьми для общения с Богом, – это центр, притягивающий мир других медиа – архитектуры, визуальных объектов, музыки и пения, световых эффектов и запахов. Функция сакральной среды заключается в создании пространства общения с высшим, «горним» миром, и к решению этой задачи ближе всех подошли в Византийской империи. Тамошние мастера в совершенстве владели искусством *иеротопии*[29] (создания сакральных пространств), возводимые ими византийские храмы представляли собой гармоничное сочетание архитектуры, мозаичной фрески и песнопений, составлявших единое храмовое пространство. По мнению некоторых исследователей, постоянные архитектурные формы и разного рода изображения вкупе с регулярно сменяемыми молитвословиями, световыми эффектами и запахами благовоний создавали универсальное пространственное произведение искусства, коим и предстает византийский храм [28, с. 13–14]. Позднее композитор Рихард Вагнер и архитектор Готфрид Земпер дали такому типу художественного произведения определение *Gesamtkunstwerk*[30], означавшее *совокупное произведение искусства*, в котором различные виды творчества объединяются в неразрывное гармоничное целое, воздействуя на зрителя комплексно.

Происхождение византийского храмового здания следует искать в поздней Античности, когда римские базилики, служившие торговыми и судебными учреждениями, стали использоваться как церкви. Экстерьеры большинства известных базилик выглядели довольно просто. Обычно прямоугольные в плане, они имели полусферические или полуцилиндрические перекрытия, а их неоштукатуренные фасады, как правило, оформлялись кирпичом, уложенным на

[29]Иеротóпия (др.-греч. ἱερός – священный и др.-греч. τόπος – место, пространство) – это создание конкретных сакральных пространств, рассматриваемое как особый вид творческой деятельности, а также специальная область историко-культурных исследований, в которой выявляются и анализируются примеры данного творчества. Результатом иеротопического творчества, как правило, являются церкви и святилища, но могут быть также сакральные ландшафты, архитектурные комплексы и даже города и страны // Иеротопия / Сайт: Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/

[30]Gesamtkunstwerk (объединенное, совокупное, универсальное произведение искусства) – ключевое понятие эстетики немецкого композитора Рихарда Вагнера, выражающее его стремление к универсальной синтетической форме, способной объединить в себе все виды искусства – музыку, поэзию, танец, живопись, скульптуру и архитектуру // Сайт Российской Академии художеств / Словарь терминов https://rah.ru/science/glossary/?id=21037&let=%d0%93).

слои розового цементного раствора. *Gesamtkunstwerk* открывался верующим уже во внутреннем пространстве церкви. Рассмотрим этот феномен на примере главного храма Византии – *собора Святой Софии* (Айя София, Стамбул), построенного в VI в. (532–537 гг.) в период правления императора Юстиниана I (рис. 17).

Одним из элементов византийского универсального произведения, ярким примером которого являлся этот собор, была так называемая драматургия света.



***Рис. 17**. Фото: Собор Св. Софии (Айя София) в Стамбуле (Турция)*[31]

***Fig. 17**. Hagia Sophia (Holy Wisdom) in Istanbul, Turkey*

Собор венчается гигантским куполом, диаметр которого составляет 30 м. Благодаря особенностям конструкции здания и расположенным у основания купола 40 радиальным аркам при взгляде на него изнутри, создается иллюзия парения или зависания купола в воздухе. К сожалению, увидеть это «парение» можно лишь в ясную солнечную погоду (рис. 18).



***Рис. 18**. Купол храма собора Св. Софии (Стамбул)*[32]

***Fig. 18**. The dome of Hagia Sophia, Istanbul*

[31]https://www.hagia-sophia-tickets.com/ru/photos/

[32]Экскурсии по Стамбулу https://zztravels.com/excursions-in-stambul

Кроме того, в византийских монастырских уставах была разработана целая система световозжиганий, которая динамически менялась в процессе литургии [29, с. 154–157].

На различных этапах службы свет выделял ту или иную фреску или реликвию и таким образом формировал у присутствующих не только восприятие внутреннего храмового пространства, но и логику прочтения его наиболее важных элементов. Исследователь византийского искусства А. М. Лидов пишет, что определение «драматургия» в данном случае совершенно уместно, поскольку художественно-драматическая составляющая в этом творчестве была ничуть не меньше обрядово-символической [28, с. 13].

Другим важнейшим визуальным элементом убранства собора Св. Софии стала византийская мозаичная иконопись.

Для максимального погружения зрителя в состояние сопричастности сюжету, изображенному на мозаичных фресках, византийские мастера использовали сложные приемы предварительной коррекции перспективы. Утапливая в растворе кубики смальты, они учитывали угол зрения, под которым на фреску будут смотреть верующие. Угол должен был составлять 90 градусов. Благодаря этому лики ангелов, святых и императоров как бы выступают из поверхности, на которой изображены.

Именно иллюзию трехмерности, «отдельности» от фоновой поверхности и вместе с тем невесомости создают фигура Богородицы с Иисусом на руках (рис. 19), изображения крылатых серафимов в парусах центрального купола и другие мозаичные фрески, украшающие стены и своды собора.



Рис. 19. *Мозаичная фреска в апсиде собора Святой Софии (Стамбул)*[33]

Fig. 19. *Mosaic in the apse of Hagia Sophia, Istanbul*

Как было отмечено выше, фрески Св. Софии и другие его составляющие не задумывались как независимые произведения. Их создателей главным образом заботили взаимоотношения образов друг с другом, с другими элементами убранства собора и, конечно, со зрителем [18].

Кроме того, мозаичные изображения имеют целый ряд преимуществ перед живописной иконографией. Они заключаются в исключительной стойкости к воздействию ультрафиолета и атмосферных факторов, способности смальты на протяжении веков сохранять первозданный колорит и как следствие – в долговечности.

[33]https://vladimirdar.livejournal.com/121180.html

Византийскую перспективу иногда называют «отрицательной». То есть в отличие от западноевропейского мастера, который с помощью рациональных знаний об этом предмете создавал иллюзию пространства, византийский устранял оптические издержки этого пространства. Поэтому верующий, войдя в храм, не только духовно, но и зрительно попадал в пределы небесной сферы или в святые места, отстоящие от него на тысячи километров.

Двигаясь вдоль главной оси храма и взирая оттуда на осеняющие его священные изображения, он мог совершить символическое паломничество [18].

Кстати, идеей перенесения святых мест в новое пространство руководствовались и русские зодчие, ставшие наследниками византийцев. Например, в процессе строительства Воскресенского Новоиерусали́мского монасты́ря (г. Истра, Московская область) в 1656–1685 гг. в Подмосковье был воссоздан комплекс святых мест Палестины и таким образом осуществлен замысел по созданию грандиозной *пространственной иконы*, в центре которой находился сам монастырь, сооруженный «в меру и подобие» храма Гроба Господня в Иерусалиме [30, с. 6].

Важной составляющей универсального пространства византийского храма и сильным иммерсивным фактором были особые обонятельные ощущения, которые формировались с помощью каждений, благовонного масла в лампадах и ароматических свечей. Каждый, кто когда-либо присутствовал на православной литургии, знает, какую важную роль в восприятии храмового пространства играет пахнущий ладаном дым от кадильниц, который то появляется, то исчезает, создавая колеблющуюся призрачную среду, преображающую все доступные глазу молящегося предметы и изображения [28, с. 14].

Таким образом, благодаря искусству византийских мастеров и их эмпирическим знаниям в области иеротопии дистанция между созерцателем и образом была едва ощутима. Созерцателю было доступно священное пространство образа, а образ в свою очередь формировал пространство, в котором двигался зритель. Последний был скорее «участником», чем «зрителем». *Не стремясь к иллюзионизму, византийское религиозное искусство упразднило четкую границу между миром реального и миром кажущегося* [18].

Заключение

Практики иммерсии в публичных пространствах, как и сами эти пространства, эволюционировали в соответствии с уровнем развития и, как следствие, запросами общества. Несмотря на то, что они прошли долгий путь от использования природных объектов до грандиозных рукотворных сооружений, методы и средства, применяемые для погружения зрителя в другую реальность, принципиально не менялись. Зодчие, скульпторы, живописцы, священнослужители древности и раннего Средневековья использовали для этого световую драматургию, искусственно вызываемые галлюцинации, оптические, звуковые, обонятельные и даже тактильные эффекты. Научные открытия, совершенные в XIX–XX вв., привели к прорыву в области информационных технологий и расширили сферу применения практик иммерсии в публичных пространствах. Однако по разным причинам новые иммерсивные технологии сегодня используются далеко не везде, и старые, испытанные тысячелетиями практики погружения в искусственно созданную реальность могут и сегодня успешно применяться в работе образовательных и воспитательных учреждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плиний Старший.* Естествознание. Об искусстве. М.: Ладомир, 1994. с. 91 / Сайт: Klex.ru (книжный архив) https://www.klex.ru/1uui

2. *Власов В. Г.* Новый энциклопедический словарь изобразительного искусства. В 10 т. СПб.: Азбука-Классика, 2007. Т. VI.

3. *Козырева Т. В.* Роль жреческого сословия в передаче и накоплении знаний // Вестник угроведения. 2011. № 2(5). С. 106–107. EDN: PARPEN

4. *Шлиенкова Е. В., Кайгородова Х. В.* Протомузей – иммерсия – празритель. Визуальная природа иммерсивности. Пространственный и чувственный опыт // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13. № 1. С. 158–165. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.20

5. *Льюис-Уильямс Д., Клотт Ж.* Разум в пещере – пещера в разуме: измененное сознание в верхнем палеолите: перевод с английского А. Н. Володина и А. Е. Поляковой // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Философия. Культурология. Политология. 2023. Том 9(75). № 1. С. 80–88. EDN: LZNGBA

6. *Карлова К. Ф.* Змееборческий миф как часть государственной идеологии в греко-римском Египте // Индоевропейское языкознание и классическая филология. 2022. № 26(2022). С. 570–584. DOI: 10.30842/ielcp230690152637

7. *Горохова А. В.* Знаковые и экстатические оракулы в Греции, Египте и Хеттском царстве (сравнительная характеристика) // Мнемон. Исследования и публикации по истории античного мира. 2006. № 5. С. 163–172. EDN: NUXBGV

8. *Брестед Д., Тураев Б.* История Древнего Египта. Минск: Харвест, 2003. 832 с. ISBN: 985-13-1776-4

9. Гомер. Одиссея. Песнь X, ст. 230, 235, 240: пер. В. А. Жуковского. 2006 г. Сайт: Lib.ru/Классика. http://az.lib.ru/g/gomer/text_0060.shtml (дата обращения: 18.05.2026)

10. Геродот. История в девяти книгах. Ленинград: Наука, 1972. Кн. V, 92. https://ancientrome.ru/antlitr/t.htm?a=1269005000 (дата обращения: 11.07.2026).

11. *Robert Graves.* Difficult questions, easy answer. Garden City. N.Y.: Doubleday, 1964. С. 106–107.

12. Павсаний. Описание Эллады. Книга IX, гл. 39, СПб: Алетейя, 1996. https://ancientrome.ru/antlitr/t.htm (дата обращения: 22.06.2026).

13. *Поляков Е. Н., Иноземцева Т. О.* Древнегреческий театр. История зарождения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 1(14). С. 9–30. EDN: RUZTUN

14. *Брунов Н. И.* Очерки по истории архитектуры: в 3-х т. Т. 2. Греция – Рим – Византия. М.-Л.: Академия, 1935. 621 с.

15. *Поляков Е. Н.* Архитектура древнегреческого театра // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2. С. 9–31. EDN: RZPBWJ

16. *Школьников С. П.* Маски в истории театра // Сайт: Внешний облик. http://vneshnii-oblik.ru/raznoe/teatr/shkolnikov-maski.html (дата обращения: 24.07.26).

17. *Кулишова О. В.* Театральная маска в Древней Греции: ее истоки и контексты функционирования // Сб. Маска и театр в зрелищной культуре античного мира. СПб., 2015. С. 16.

18. *Демус Отто.* Мозаики византийских храмов. Принципы монументального искусства Византии: пер. с англ. Э. С. Смирновой / Ред. и сост. А. С. Преображенский. М., 2001.

19. *Шуази О.* Архитектура греческого театра. История архитектуры // Архитектура и проектирование. https://arx.novosibdom.ru/node/512 (дата обращения: 03.06.2026).

20. Витрувий. Десять книг об архитектуре (Vitruvius "De architectura libri decem") Книга V. Глава V. Расположение голосников в театре. Полный текст трактата Витрувия публикуется по изданию Всесоюзной Академии Архитектуры 1936 года: перевод Петровского Ф. А. // Архитектура и проектирование / История античной архитектуры. https://antique.totalarch.com/vitruvius/5/5 (дата обращения: 02.06.2026).

21. *Поляков Е. М.* Римский театр – история становления // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2(39). С. 9–23. EDN: QBVBYV

22. *Быков В. Е., Кауфман С. А., Квитницкая Е. Д. и др.* Всеобщая история архитектуры (ВИА): в 12 т. Т. 2. Архитектура античного мира (Греция и Рим). Изд. 2-е. М.: Изд-во литературы по строительству, 1973. 712 с.

23. *Зубов В. П., Петровский Ф. А.* Архитектура античного мира. Материалы и документы по истории архитектуры. М.: Изд-во Академии архитектуры СССР, 1940. 520 с.

24. *Соколов Г. И.* Искусство Древнего Рима: Архитектура. Скульптура. Живопись. Прикладное искусство. М.: Просвещение, 1996. 224 с.

25. Данные о древнейшей латинской поэзии и о стихосложении / Ранняя римская литература и письменность // Сайт: Симпозий. http://simposium.ru/ru/node/11508 (дата обращения: 26.07.2026).

26. *Сергеенко М. Е.* Помпеи. Москва-Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1949. Глава IX // Сайт: Симпозий. http://simposium.ru/ru/node/10254 (дата обращения: 17.07.2026).

27. *Горончаровский В. А.* Арена и кровь: римские гладиаторы между жизнью и смертью. СПб.: Петербургское Востоковедение, 2009. 256 с. // Сайт: Наука, искусство, величие. https://history.niv.ru/doc/goroncharovskiy-arena-blood/arena-blood-1.htm (дата обращения: 21.07.2026)

28. *Лидов А. М.* Иеротопия. Создание сакральных пространств как вид творчества и предмет исторического исследования // В кн.: Иеротопия. Создание сакральных пространств в Византии и Древней Руси. М., 2006. С. 9–58.

29. *Бутырский М. Н.* Византийское богослужение у иконы согласно Типику монастыря Пантократора 1136 г. // Чудотворная икона в Византии и Древней Руси / Ред.-сост. А. М. Лидов. М., 1996. С. 154–157.

30. *Лидов А. М.* Новые Иерусалимы. Перенесение святой земли как порождающая матрица христианской культуры // Новые Иерусалимы. Иеротопия и иконография сакральных пространств. М.: Индрик, 2009. 912 с.

REFERENCES

1. Pliniy Starshiy. *Estestvoznanie. Ob iskusstve* [Natural Science. On Art]. Moscow: Ladomir, 1994. P. 91 https://www.klex.ru/1uui. (In Russian)

2. Vlasov V.G. *Novyj enciklopedicheskij slovar' izobrazitel'nogo iskusstva* [New encyclopedic dictionary of fine arts]. In 10 volumes. Spb: Azbuka-Klassika, 2007. Vol. VI. (In Russian)

3. Kozyreva T.V. Role of priestly estate in transfer and accumulation of knowledge. *Bulletin of Ugric Studies*. 2011. No. 2(5). Pp. 106–107. EDN: PARPEN. (In Russian)

4. Shlienkova E.V., Kaygorodova Kh.V. Protomuseum – immersion – proto-spectactor. Visual nature of immersivity. Spatial and ensual experience. *Urban Construction and Architecture*. 2023. Vol. 13. No. 1. Pp. 158–165. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.20. (In Russian)

5. Lewis-Williams D.J., Clottes J. The mind in the cave – the cave in the mind: altered consciousness in the upper Paleolithic. *Anthropology of Consciousness*. 1998. Vol. 9. No. 1. Pp. 13–21.

6. Karlova K.F. 'Dragon-slayer' myth as a part of the state ideology in greco-roman Egypt. *Indo-European Linguistics and Classical Philology*. 2022. No. 26(2022). Pp. 570–584. DOI: 10.30842/ielcp230690152637. (In Russian)

7. Gorokhova A.V. Oracles of sings and oracles of ecstasy in Greece, Egypt and Hittite Kingdom (The Comparative Characteristic) *Mnemon. Issledovaniya i publikacii po istorii antichnogo mira* [Mnemon: Research and Publications on the History of the Ancient World]. 2006. No. 5. Pp. 163–172. EDN: NUXBGV. (In Russian)

8. Brested D., Tyraev B. *Istoriya Drevnego Egipta* [History of Ancient Egypt]. Minsk: Harvest, 2003. 832 p. ISBN: 985-13-1776-4. (In Russian)

9. Homer. The Odyssey [Odisseya]. Book X, lines 230, 235, 240. Translated by V.A. Zhukovsky. 2006. http://az.lib.ru/g/gomer/text_0060.shtml. (In Russian)

10. Gerodot. History in 9 books. Leningrad: Nauka, 1972. Book. V, 92. https://ancientrome.ru/antlitr/ t.htm?a=1269005000. (In Russian)

11. Robert Graves. Difficult questions, easy answer. Garden City. N.Y.: Doubleday, 1964. C. 106–107.

12. Pavsaniy. *Opisanie Ellady* [Description of Hellas]. Book IX, Glava 39, Spb: Aleteya, 1996. https://ancientrome.ru/antlitr/t.htm. (In Russian)

13. Polyakov E.N., Inozemtseva T.O. Ancient greek drama: history of formation. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Journal of Construction and Architecture*. 2014. No. 1(42). Pp. 9–30. EDN: RUZTUN. (In Russian)

14. Brunov N.I. *Ocherki po istorii arhitektury* [Essays on the History of Architecture]. V 3 t. Vol. 2. Greciya – Rim – Vizantiya. Moscow – Leningrad: Akademiya, 1935. 621 p. (In Russian)

15. Polyakov E.N. Architecture of ancient greece theatres. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Journal of Construction and Architecture*. 2014. No. 2(43). Pp. 9–31. EDN: RZPBWJ. (In Russian)

16. Shkolnikov S.P. *Maski v istorii teatra* [Masks in the History of Theater]. http://vneshnii-oblik.ru/raznoe/teatr/shkolnikov-maski.html. (In Russian)

17. Kulishova O.V. The theatrical mask in ancient greece: its origins and contexts of functioning. In. *Maska i teatr v zrelishchnoj kul'ture antichnogo mira* [Mask and Theater in the Spectacle Culture of the Ancient World]. Spb., 2015. P. 16. (In Russian)

18. Demus O. Byzantine mosaic decoration. Aspects of monumental art in Byzantium. London, 1947.

19. Shauzi O. Architecture of the Greek Theater. History of Architecture. *Arhitektura i proektirovanie* [Architecture and Design] https://arx.novosibdom.ru/node/512. (accessed: 03/06/2026). (In Russian)

20. Vitryviy. *Desyat' knig ob arhitekture* [Ten Books on Architecture]. Book V. Glava V. Raspolozhenie golosnikov v teatre. *Polnyj tekst traktata Vitruviya publikuetsya po izdaniyu Vsesoyuznoj Akademii Arhitektury 1936 goda* [Placement of *echeia* (acoustic vessels) in the theater. The full text of Vitruvius's treatise is published based on the 1936 edition by the All-Union Academy of Architecture]. Transl. Petrovskiy F.A. *Arhitektura i proektirovanie / Istoriya antichnoj arhitektury* [Architecture and Design / History of Ancient Architecture]. https://antique.totalarch.com/vitruvius/5/5 (accessed: 02/06/2026). (In Russian)

21. Polyakov E.N. Roman theatre – the history of its formation. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Journal of Construction and Architecture*. 2013. No. 2(39). Pp. 9–23. EDN: QBVBYV. (In Russian)

22. Bykov V.E., Kaufman S.A., Kvitnitskaya E.D. et al. *Vseobshchaya istoriya arhitektury (VIA)* [General history of architecture (VIA)]. In 12 vols. Vol. 2. Architecture of the Ancient World (Greece and Rome). Moscow: Izd-vo literatury po stroitel'stvu, 1973. 712 p. (In Russian)

23. Zubov V.P., Petrovsky F.A. *Arhitektura antichnogo mira. Materialy i dokumenty po istorii arhitektury* [Architecture of the Ancient World. Materials and Documents on the History of Architecture]. Moscow: Izd-vo Akademii arhitektury SSSR, 1940. 520 p. (In Russian)

24. Sokolov G.I. *Iskusstvo drevnego rima: arhitektura. skul'ptura. zhivopis'. prikladnoe iskusstvo* [The Art of Ancient Rome: Architecture. Sculpture. Painting. Applied Arts]. Moscow: Prosveshchenie, 1996. 224 p. (In Russian)

25. *Dannye o drevnejshej latinskoj poezii i o stihoslozhenii / Rannyaya rimskaya literatura i pis'mennost'* [Data on the earliest Latin poetry and versification / Early Roman literature and writing]. http://simposium.ru/ru/node/11508 (accessed: 26/07/2026). (In Russian)

26. Sergeenko M.E. *Pompei* [Pompeii]. Moscow-Leningrad: Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, 1949, Glava IX. http://simposium.ru/ru/node/10254 (accessed: 17/07/2026). (In Russian)

27. Goronchavskiy V.A. *Arena i krov': rimskie gladiatory mezhdu zhizn'yu i smert'yu* [Arena and Blood: Roman Gladiators Between Life and Death]. Spb: Peterburgskoe Vostokovedenie, 2009. 256 p. https://history.niv.ru/doc/goroncharovskiy-arena-blood/arena-blood-1.htm (accessed: 21/07/2026). (In Russian)

28. Lidov A.M. *Ierotopiya. Sozdanie sakral'nyh prostranstv kak vid tvorchestva i predmet istoricheskogo issledovaniya* [Hierotopy: The Creation of Sacred Spaces as a Form of Creativity and a Subject of Historical Research]. *Hierotopy: The Creation of Sacred Spaces in Byzantium and Ancient Rus'*. Moscow, 2006. Pp. 9–58. (In Russian)

29. Butyrsky M.N. Byzantine liturgy before the icon according to the typikon of the pantokrator monastery 1136. *Chudotvornaya ikona v Vizantii i Drevnej Rusi* [The Miraculous Icon in Byzantium and Ancient Rus']. Red. A.M. Lidov. Moscow, 1996. Pp. 154–157. (In Russian)

30. Lidov A.M. *Novye Ierusalimy. Perenesenie svyatoj zemli kak porozhdayushchaya matrica hristianskoj kul'tury* [New Jerusalems: The Transposition of the Holy Land as a Generative Matrix of Christian Culture]. *Novye Ierusalimy. Ierotopiya i ikonografiya sakral'nyh prostranstv* [New Jerusalems: Hierotopy and Iconography of Sacred Spaces]. Moscow: Indrik, 2009. 912 p. (In Russian)

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы государственного задания КБНЦ РАН «Исследование с помощью цифровых и роботизированных технологий и введение в научный оборот археологических и палеографических памятников Юга России» (№ 125040104686-3).

Funding. This work was carried out within the framework of the KBSC RAS state assignment project “Research on archaeological and paleographic monuments of Southern Russia using digital and robotic technologies and their introduction into scientific circulation” (No. 125040104686-3).

Информация об авторе

Гукемух Ибрагим Халидович, канд. ист. наук, науч. сотр., Центр естественно-научных методов в археологии, антропологии и археографии, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

IBRAGUK22@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7908-6463, SPIN-код: 2415-2346

Information about the author

Ibragim Kh. Gukemukh, Candidate of Historical Sciences, Researcher, Center for Natural Science Methods in Archaeology, Anthropology and Archaeography, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

IBRAGUK22@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7908-6463, SPIN-code: 2415-2346

ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 94(470.62) Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-484-501
BALLVY

Основные проблемы социально-политической ситуации на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг.

А. В. Кушхабиев

Научно-инновационный центр «Экспертные системы источниковедения и историографии»
Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Исследование заключается в значимости более углубленного исследования истории народов Северо-Западного Кавказа в Новое время, в частности, накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг. с использованием разных видов источников.

Цель работы. Исследование основных проблем социально-политической ситуации на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг. на основе анализа сведений, зафиксированных в российских делопроизводственных документах и других источниках.

Методы исследования. Использованы методы: историзма, проблемно-хронологический, сопоставления источников.

Результаты исследования. На основе анализа сведений российской делопроизводственной документации и мемуарной литературы, а также материалов и заключений предыдущих исследований в статье кратко рассмотрены: политика британо-франко-османской коалиции на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг.; отношения российской военной администрации с западночеркесскими политиями; деятельность лидеров Западной Черкесии в указанный период.

Заключение. Показано, что планы командования войск британо-франко-османской коалиции по масштабному вовлечению народов Северо-Западного Кавказа в войну с Россией провалились. В ряде делопроизводственных документов зафиксировано, что российское военное командование стремилось препятствовать расширению влияния наиба имама Шамиля Мухаммед-Амина в Закубанье и активизировало боевые действия против непокорных обществ.

Сделан вывод о том, что политическая деятельность князя Сефер-бея Заноко была направлена на отстаивание независимости Западной Черкесии и предотвращение внутренних межсословных конфликтов в западночеркесском социуме. Деятельность Мухаммеда-Амина в Закубанье в целом оказалась дестабилизирующей. Его преобразования – создание шариатских органов власти, постоянных войск и пропаганда мюридизма – оказались недостаточно эффективными в связи с приверженностью преобладающей части черкесов и абазин нормам адата и традиционным ценностям. Недовольства значительной части обществ Закубанья были вызваны введенными наибом видами наказаний, которые противоречили нормам адата. Силовые действия, осуществлявшиеся приверженцами наиба против сторонников России, привели к разрушению развивавшихся дружественных отношений между частью черкесских обществ и российской военной администрацией, а его противоборство с князем Сефер-беем способствовало расколу черкесских политий. Следствием втягивания наибом народов Закубанья в боевые действия с царскими войсками без формирования армии, соответствовавшей требованиям эпохи, были значительные людские потери, разрушение хозяйственной деятельности и дальнейшее обострение социально-политической ситуации в субрегионе.

Ключевые слова: Северо-Западный Кавказ, социально-политическая ситуация, Крымская война 1853–1856 гг., лидеры Западной Черкесии

© Кушхабиев А. В., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Поступила 14.05.2026, одобрена после рецензирования 07.07.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Кушхабиев А. В. Основные проблемы социально-политической ситуации на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 484–501. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-484-501

Original article

The main problems of the sociopolitical situation in the Northwest Caucasus on the eve of and during the Crimean war of 1853–1856

A.V. Kushkhabiev

Scientific and Innovative Center "Expert Systems of Source Studies and Historiography"
of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. The relevance of this study lies in the importance of a more in-depth study of the history of the peoples of the Northwest Caucasus in the New Time, particularly on the eve of and during the Crimean War of 1853–1856, with use of various sources.

Aim. Research of the main problems of the socio-political situation in the Northwest Caucasus on the eve of and during the Crimean War of 1853–1856, based on an analysis of information recorded in Russian administrative documents and other sources.

Research methods. The following methods were used: historicism, problem-chronology and source comparison.

Research results. Based on an analysis of Russian official documentation and memoirs, as well as the materials and conclusions of previous studies, this article briefly examines the policies of the British-French-Ottoman coalition in the Northwest Caucasus on the eve of and during the Crimean War of 1853–1856; the relations between the Russian military administration and the West Circassian polities; and the activities of the leaders of Western Circassia during the specified period.

Conclusion. It is shown that the plans of the British-French-Ottoman coalition command to engage the peoples of the Northwest Caucasus on a large scale in the war with Russia failed. A number of administrative documents record that the Russian military command sought to prevent the expansion of the influence of Imam Shamil's naib, Muhammad-Amin, in the Transkuban region and intensified military operations against rebellious societies.

It is concluded that Prince Sefer-bey Zanoko's political activities were aimed at upholding the independence of Western Circassia and preventing internal inter-class conflicts within Western Circassian society. Muhammad-Amin's activities in the Transkuban region were, on the whole, destabilizing. His reforms – the creation of Sharia-based authorities, permanent troops, and the propaganda of Muridism – proved ineffective due to the commitment of the majority of Circassians and Abazins to adat norms and traditional values. The discontent of a significant part of the Transkuban societies was caused by the types of punishments introduced by the naib, which contravened adat norms. The forceful actions carried out by the naib's adherents against Russia's supporters led to the destruction of developing friendly relations between a portion of Circassian communities and the Russian military administration, and his confrontation with Prince Sefer-bey contributed to the split of Circassian polities. As a result of the naib's involvement the peoples of Transkuban into the military operations against the tsarist troops without forming troops that met the requirements of the era resulted in significant human losses, the destruction of economic activity, and a further deterioration of the socio-political situation in the sub region.

Keywords: Northwest Caucasus, socio-political situation, Crimean War 1853–1856, leaders of Western Circassia

© Kushkhabiev A.V., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

Submitted 14.05.2026, approved after reviewing 07.07.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Kushkhabiev A.V. The main problems of the sociopolitical situation in the Northwest Caucasus on the eve of and during the Crimean war of 1853–1856. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 484–501. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-484-501

Введение

Актуальность исследования. Накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг. территория Северо-Западного Кавказа, имевшая важное военно-стратегическое значение, стала объектом притязаний стран коалиции (Британская, Французская и Османская империи). Народы данного субрегиона (черкесы, абазины) оказались вовлеченными в масштабные международные события (политическое давление со стороны империй, военные действия и др.), которые отразились на разных сферах их общественной жизни: на отношениях с российским правительством, на хозяйственной деятельности, на взаимоотношениях черкесских политий, на миграционных процессах и др. В этой связи углубленное исследование истории народов Северо-Западного Кавказа в указанный период с использованием разных видов источников имеет важное значение для современного кавказоведения.

Целью работы является исследование основных проблем социально-политической ситуации на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг. на основе анализа сведений, зафиксированных в российских делопроизводственных документах (рапорты, известия, журналы военных происшествий, приказы и др.) и других источниках. Реализация данной цели предполагает решение следующих задач:

– кратко рассмотреть политику британо-франко-османской коалиции на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны;

– проанализировать отношения российской военной администрации с народами Северо-Западного Кавказа в указанный период;

– рассмотреть и дать объективную оценку деятельности Мухаммед-Амина и князя Сефер-бея в Закубанье в данный период.

Методы исследования. Использованы методы: историзма, проблемно-хронологический, сопоставления источников. Метод историзма позволил рассмотреть основные проблемы социально-политической ситуации (военно-политические события, социальные и миграционные процессы) на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг. как проблем одного из важнейших периодов истории народов субрегиона в системе международных отношений. Применение проблемно-хронологического метода позволило более детально проанализировать: политику британо-франко-османской коалиции на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны; отношения российской военной администрации с западночеркесскими политиями; деятельность Мухаммед-Амина и князя Сефер-бея в Закубанье. Принцип сопоставления источников позволил уточнить и дополнить ранее опубликованную информацию по данной теме.

Источниковая база исследования: опубликованные документы («Акты, собранные Кавказской археографической комиссией») [1], документы и материалы, выявленные в Российском государственном военно-историческом архиве (РГВИА, г. Москва) и Управлении Центрального государственного архива Архивной службы КБР (УЦГА АС КБР, г. Нальчик), мемуарная и нарративная литература. Анализ сведений зарубежных источников не входит в задачи исследования.

Состояние изученности проблемы. Социально-политическая ситуация на Северо-Западном Кавказе во время Крымской войны 1853–1856 гг. рассмотрена в работах российских дореволюционных авторов: А. П. Берже [2], Ф. А. Щербины [3], Е. Д. Фелицина [4], Н. И. Карлгофа [5], Р. А. Фадеева [6], А. Н. Дьячкова-Тарасова [7] и др. В них содержится богатый фактографический материал, отражающий основные события в субрегионе:

деятельность командующих османскими экспедиционными войсками и политических агентов коалиции; действия российского военного командования; позиции и деятельность лидеров Западной Черкесии[1] и др. Представлена в них и авторская оценка событий. Вместе с тем трактовка событий в указанных работах носит тенденциозный характер; народы Северного Кавказа представлены в них как отсталые и агрессивные. По отношению к ним используются такие термины, как «варвары», «племена», «азиатцы», «хищники», «скопище», «сборище», «толпы», «шайки» и др.

Рассматриваемая проблематика также представлена в работах советских и современных российских авторов: Г. А. Дзидзария [8], Х.-М. Ибрагимбейли [9], А. Х. Касумова и Х. А. Касумова [10], А. Т. Керашева [11], А. М. Магомеддадаева [12], А. Д. Панеша [13], М. Х.-Б. Кишмахова [14], Т. В. Половинкиной [15] и др. Работы этих авторов подготовлены на основе анализа значительного корпуса источников. Трактовка основных событий, представленная в них, в целом объективная. Вместе с тем некоторые положения и выводы, содержащиеся в них, в частности оценки деятельности лидеров народов Северо-Западного Кавказа в рассматриваемый период, являются дискуссионными.

Результаты исследования

Политика британо-франко-османской коалиции на Северо-Западном Кавказе

Одной из главных целей правительств стран британо-франко-османской коалиции в начале Крымской войны 1853–1856 гг. было ослабление влияния России на Востоке, вытеснение ее из бассейна Черного моря и с Кавказа. Коалиция придавала большое значение территории Кавказа и, в частности Северо-Западного, которую намеревалась использовать в качестве плацдарма в войне с Российской империей: планировала разрушить российские укрепления и форты Черноморской береговой линии[2] и российский флот; организовать массовое выступление народов региона против России. Накануне войны на Северо-Западном Кавказе действовали десятки османских, британских и французских агентов, которые призывали народы субрегиона присоединиться к войскам коалиции, обещая им со своей стороны значительную помощь. Уже в октябре 1853 г. османские агенты доставили на судах к черкесскому побережью Черного моря боеприпасы (порох, свинец, железо) [1. Т. 10, с. 640–642; 4, с. 76].

---

[1] *Западная Черкесия* – страна, объединявшая черкесские политии (политическая единица или организация любого уровня, определяющая устройство общества) Закубанья до 1864 г. К XVIII в. территория Западной Черкесии (на западе) проходила по Черноморскому побережью от Тамани на севере до р. Хосты на юге. Ее северная граница проходила по р. Кубани, до места впадения в нее р. Лабы. Восточная граница Западной Черкесии проходила по р. Лабе, южная граница примыкала к Большому Кавказскому хребту. На северо-востоке западночеркесские государственные образования граничили с ногайцами, на юге – с абазинскими обществами. Правобережье р. Кубани, колонизированное ногайцами во второй половине XVI в., черкесские лидеры продолжали считать своим.

На протяжении XVI–XVIII вв. территория Западной Черкесии постепенно сокращалась под натиском Крымского ханства, а с конца XVIII в. – вследствие колониальной политики царизма. Западная Черкесия подразделялась на государственные образования: объединения княжеств – *Кемиргой, Бжедугию;* княжества – *Бесленей, Жаней и Хегак* (до конца XVIII в.); политии с демократическим строем – *Абадзехию, Шапсугию, Натухай и Убыхию.*

С 1830 г. происходило значительное сокращение территории Западной Черкесии в результате планомерной военно-казачьей колонизации, осуществлявшейся царизмом. Численность западночеркесского населения снижалась вследствие феодальных междоусобиц, классовой борьбы, эпидемии чумы в начале XIX в., а также в результате регулярных военных действий. В работах российских авторов XIX в. содержатся данные о численности западночеркесского населения в 1-й половине XIX в. в пределах от 300 тыс. до более чем 1,7 млн человек, в работах советских и современных российских исследователей – в пределах от 300 тыс. человек до 1 млн человек. Данный вопрос остается дискуссионным.

[2] *Черноморская береговая линия* – система военных укреплений (форты, крепости, шанцы), возведенная Российской империей на восточном побережье Черного моря. Простиралась от Анапы до границ с Османской империей. Функционировала в 1830-е – 1854 г. Предназначение – создание преград черкесским и абазинским политиям в отношениях с Османской империей (предотвращение поставок оружия и различных товаров, осуществлявшихся через территорию Османской империи). Во время Крымской войны 1853–1856 гг. войска с линии были эвакуированы, а ее укрепления взорваны во избежание их захвата войсками противника.

Османским агентам также удалось спровоцировать вооруженное выступление жителей Шапсугии[1] и Натухая[2]. С 25 на 26 июля 1853 г. шапсугские и натухайские отряды совершили нападение на укрепление Гастогаевское, а 23 и 27 июля 1853 г. – нападения на укрепление Тенгинское, но в результате упорных боев отступили со значительными потерями [1. Т. 10, с. 695–697; 7, с. 312-323; 16, с. 483–486].

Командования войск коалиции предпринимали попытки сформировать с помощью влиятельного черкесского князя Сефер-бея Заноко и наиба[3] имама[4] Шамиля в Западной Черкесии Мухаммед-Амина многочисленное черкесское войско (от 10 до 40 тыс. чел.), чтобы использовать его в Закавказье и Крыму [8, с. 121; 10, с. 116]. Османские власти наградили обоих лидеров титулами пашей и почетными званиями правителей земель на Северо-Западном Кавказе, но официально их подчинили муширу[5] османского военно-экспедиционного корпуса Мустафе-паше, которого объявили наместником Западного Кавказа. В целях приобретения большего влияния среди народов Северо-Западного Кавказа Мустафа-паша заявлял о своем черкесском (натухайском) происхождении (сын последнего османского губернатора Анапы Ахмеда-паши) [17, с. 172, 173].

Представители союзного командования поручили Мухаммед-Амину выступить с корпусом черкесской конницы против российских войск, но их планы успеха не имели. Черкесские лидеры и в целом население Закубанья массово отказывались выступать на стороне коалиции. Мухаммед-Амин уведомлял командующего османским корпусом Омер-пашу, что 150 черкесских князей и дворян сорвали ему сбор десятитысячной кавалерии для отправки в Закавказье. По сведениям британских офицеров, черкесы отнеслись с недоверием к османским чиновникам, пытавшимся подчинить их своему правительству, а также к союзникам – британским и французским офицерам. Черкесы признавали султана Османской империи только как халифа – главу религии, но стремились сохранить свою независимость и отказывались соединиться с османскими войсками [4, с. 79, 86].

Весной 1854 г. в Сухум прибыли два османских парохода с войсками – около 1500 чел. с 36 орудиями под командованием князя Сефер-бея. По его призыву в Бзыбскую Абхазию вошли отряды черкесских войск (убыхи[6], абадзехи[7], шапсуги и др.) [1. Т. 10, с. 274, 275]. Князь Сефер-бей предпринял попытку склонить жителей Бзыбского округа Абхазии на свою сторону, но абхазскому князю Михаилу Шервашидзе удалось сорвать планы князя Сефер-бея, вследствие чего черкесские отряды покинули Абхазию [1. Т. 10, с. 277].

---

[1]*Шапсугия* (*Шапсыгъ* – адыг.) охватывала земли, прилегающие к Черноморскому побережью от р. Джубги до р. Шахе, граничила с Натухаем по рекам Джубга и Адагум (и Главному Кавказскому хребту). На востоке Шапсугия граничила с Абадзехией и Бжедугией, на юге по р. Шахе – с Убыхией. Население Шапсугии возрастало быстрыми темпами и к XIX в. стало самым многочисленным в Черкесии. В верховьях рек Аше, Псезуапе и Шахе, между Туапсе и Сочи проживала локальная группа шапсугов хакучи (*хьакIуцу*).

[2]*Натухай* (*Натхъуадж* – адыг.) охватывал территорию от нижнего течения р. Кубани на севере до р. Джубги на юге. Западная граница Натухая проходила по Черноморскому побережью, восточная граница – по течению р. Адагума и ее притокам. Территория и численность населения Натухая стали увеличиваться с конца XVIII в. С населением Натухая консолидировались остатки жителей Хегакского и Жанейского княжеств, а также другие небольшие локальные группы.

[3]*Наиб* – помощник, наместник, представитель правителя в мусульманских государствах. В государстве Шамиля имамате наибы осуществляли военно-административное управление в областях.

[4]*Имам* – духовный лидер, руководитель мусульманской общины (джамаата).

[5]*Мушир* – высшее воинское звание в Османской империи, соответствующее фельдмаршалу или маршалу.

[6]*Убыхи* (*туахъы*; *убых* – адыг.) представляли собой этническую группу, родственную черкесам и абхазо-абазинам. *Убыхия* охватывала территорию, примыкающую к Черноморскому побережью между рр. Шахэ и Хоста. На северо-западе Убыхия граничила с Шапсугией, на юго-востоке с территорией абхазо-абазинского общества садзов. В 1-й половине XIX в. шел процесс вытеснения убыхского языка черкесским (шапсугским диалектом). Социально-политический строй Убыхии в начале XIX в. можно охарактеризовать как демократический.

[7]*Абадзехи* (*абдзах* – адыг.) – западночеркесская субэтническая группа. *Абадзехия* охватывала горные территории от бассейна р. Афипса до бассейна р. Лабы. На западе Абадзехия граничила с Шапсугией, на юго-западе – с Убыхией, на севере и востоке – с Бжедугией и Кемиргоем. С середины XVII в. стали увеличиваться территория и численность населения Абадзехии. Население Абадзехии стало занимать часть территорий соседних феодальных объединений – Бжедугии и Кемиргоя.

Весной 1854 г. союзный флот в составе 100 военных судов с 3000 орудий, разделившись на небольшие эскадры, стал крейсировать вдоль кавказского побережья Черного моря и уничтожать российские форты южной части береговой линии. Следует отметить, что к началу войны Черноморская береговая линия состояла из 25 укреплений и фортов, не соответствовавших требованиям обороны со стороны моря и не имевших между собой сухопутного сообщения. В них дислоцировались малочисленные гарнизоны. Орудия в укреплениях (небольшого калибра) не были пригодны к обстрелу флота противника [4, с. 77–79; 3, с. 506; 8, с. 129]. К осени 1854 г. большинство российских укреплений и фортов на Черноморском побережье были разрушены флотом союзников, а береговая линия ликвидирована. В начале 1855 г. военные действия возобновились. Российские войска покинули Новороссийск, Геленджик и Анапу. Российские опорные пункты на Черноморском побережье от Керченского пролива до Батума были ликвидированы. В конце мая 1855 г. Анапу заняли князь Сефер-бей и Мустафа-паша с османским войском. Князь Сефер-бей был объявлен комендантом Анапы [1, т. 11, с. 69–73; 4, с. 82].

Британские офицеры посетили князя Сефер-бея в Анапе и предложили ему собрать две тысячи всадников для участия в военных действиях, при этом содержание войска брали на себя. Однако черкесы категорически отказались от этого предложения [4, с. 83]. Союзное же командование, не добившись формирования черкесского войска, не стало проводить активных действий в Закубанье. Планы командования войск коалиции по масштабному вовлечению народов Северо-Западного Кавказа в войну с Россией провалились.

Отказ черкесских лидеров от военной поддержки британо-франко-османской коалиции в войне с Россией продемонстрировал их твердую политическую позицию, заключавшуюся в том, что они вели борьбу не против России, а за свою независимость, которую были готовы отстаивать в случае попыток подчинения их любой империей. В то же время около 12 тыс. представителей народов Кавказа вступили в иррегулярные отряды, сформированные российским командованием, и приняли участие в боевых действиях против войск коалиции [9, с. 141, 145–150, 212, 296–298, 347; 18, с. 354].

На Парижском конгрессе 1856 г. представители Великобритании добивались международного признания черкесского государства под протекторатом Османской империи и Великобритании, но данный проект не был реализован в связи с позицией представителей Франции, поддержавших позицию России. Таким образом, Парижский мирный договор фактически подтвердил права Российской империи на территорию Северо-Западного Кавказа [8, с. 159–160; 10, с. 118–123; 13, с. 199–204; 19, с. 78].

Отношения российской военной администрации с народами Северо-Западного Кавказа накануне и во время Крымской войны

В 1840-е гг. отношения российской администрации Кавказской линии[1] с политиями народов Закубанья были сложными и противоречивыми. Среди народов субрегиона существовали проосманская и пророссийская группировки. Большинство же населения придерживалось позиции независимости. Вместе с тем возрастало число лидеров черкесских политий, переходивших на сторону России. Развивались торговые отношения; жители

[1] *Кавказская линия*, *Кавказская пограничная линия*, *Кавказская укрепленная линия* – система кордонных (пограничных) укреплений российских войск на Кавказе в XVIII–XIX вв. Началом Кавказской линии послужили казачьи поселения, возникшие в XVI–XVII вв. вдоль р. Терек. Возведение Кавказской линии началось в 1735 г. с постройки крепости Кизляр. Первоначальная Кавказская кордонная линия проходила по рекам Кубань, Малка и Терек с передовыми линиями на Лабе и Сунже. Основное предназначение линии: охрана российских границ и обеспечение войск во время т. н. Кавказской войны (1764–1864). Включала Кизляро-Моздокскую (1763–1765), Азово-Моздокскую (1777–1783), Кубанскую (1794) и другие укрепленные линии. В 1847 г. была разделена на 5 частей: Правый фланг, Центр, Левый фланг, Черноморская кордонная линия и Владикавказский военный округ. Правый фланг включал Кубанскую и Лабинскую линии. Упразднена в 1860 г.

Убыхии и Причерноморской Шапсугии продавали в российские укрепления строевой лес и камень. Только весной 1850 г. шапсуги продали в Тенгинское укрепление около 2 тыс. бревен для ремонтных работ [1. Т. 10, с. 681–683]. В 30-е – 40-е гг. XIX в. на правобережье Кубани устраивались ярмарки, на которых проходила торговля между закубанскими черкесами и русским населением.

Царское командование на Кавказской линии стремилось препятствовать расширению влияния Мухаммед-Амина в Закубанье и активизировало военные действия против т. н. немирных (непокорных. – *А. К.*) обществ. Позиция российской военной администрации изложена в ряде делопроизводственных документов. В частности, в рапорте начальника Черноморской береговой линии генерал-адъютанта А. И. Будберга (1843–1853) наместнику Кавказа М. С. Воронцову от 30-го мая 1850 г. сказано: «... я объявил натухайцам, что буду считать враждебными те общества, которые признают над собой власть Мухаммед-Эмина, и буду действовать против них неприятельски» [1. Т. 10, с. 680-681].

В рапорте А. И. Будберга М. С. Воронцову от 17 октября 1850 г. сказано: «... необходимость указывает на один только возможный способ для удержания жителей от совершенной покорности наибу противодействовать страху, внушаемому в жителях Мухаммед-Эмином, страхом нашего оружия. Гнев наиба, тем более на них действует, что они, надеясь на снисходительность нашу, не опасаются с нашей стороны неприязненных действий. Надобно вывести их из этого заблуждения. Я разрешил ген-м. Вагнеру разорять те аулы, которые пошлют к Мухаммед-Эмину всадников, быстрыми набегами и морскими наездами по мере возможности» [1. Т. 10, с. 683-684].

В журнале полковника Я. Г. Кухаренко о военных происшествиях на Черноморской береговой линии с 16 января по 1 февраля 1853 г. зафиксировано, что почетным шапсугским старшинам было объявлено: «... впредь оно (командование. – *А. К.)* намерено действовать силою оружия, не отказываясь, впрочем, принять под свое покровительство тех, которые изъявят желание поселиться на местах, где будет им указано» [1. Т. 10, с. 636].

Военное командование формировало для походов отряды из: подразделений Отдельного Кавказского корпуса[1], дислоцированных в укреплениях; подразделений Черноморского казачьего войска[2]; иррегулярных отрядов местной милиции (прикубанские ногайцы[3], закубанские армяне[4], абазины[5], черкесы); Анапского Горского полуэскадрона, состоявшего из черкесов-натухайцев (1842–1858). Во время походов царские войска уничтожали селения непокорных черкесских и абазинских обществ. Жители непокорных селений оказывали царским войскам упорное сопротивление. Во многих делопроизводственных документах содержатся подробные описания походов царских войск в Закубанье. Изложение событий в документах чаще всего начинается с обоснования походов: для наказания

[1]*Отдельный Кавказский корпус* – общевойсковое объединение Русской императорской армии на Кавказе (1815–1857). В 1815–1820 гг. – Отдельный Грузинский корпус. В 1857 г. преобразован в Кавказскую армию.

[2]*Черноморское казачье войско* – военное казачье формирование, созданное царским правительством в 1787 г. из частей лояльных запорожских казаков на территории между Южным Бугом и Днестром. В 1792 г. было переведено на правобережье р. Кубани, где казаки основали 40 куреней с центром в г. Екатеринодаре (1794 г.). К 1860 г. на Кубань было переселено свыше 100 тыс. человек из Малороссии. В 1860 г. после присоединения к черноморским казакам части кавказских линейных казаков было образовано Кубанское казачье войско.

[3]В 1783 г. после подавления царскими войсками масштабного восстания ногайцев часть их переправилась через Кубань и при поддержке черкесских лидеров поселилась на ее левобережье.

[4]*Армяне* начали переселяться в Западную Черкесию из разных регионов Османской империи с конца XV в. Их называли «черкесогай», т. е. черкесы-армяне. Армяне вели торговлю под покровительством черкесских князей и старшин, за что уплачивали им пошлины. В начале XIX в. в Западной Черкесии насчитывалось 3 армянских селения. В связи с обострением политической ситуации в регионе армяне, получив разрешение царских властей, в 1839 г. поселились на левом берегу р. Кубани и основали поселение Армавир. В 1840 г. их численность составляла 1900 человек.

[5]*Абазинские общества* находились в бассейне Верхней Кубани. В середине XIX в. численность абазин составляла свыше 60 тыс. человек.

непокорных закубанских племен; для наказания за измену; для наказания враждебного аула; за неприязненное «к нам расположение» и т. п. В них представлены описания военных действий, сведения о потерях с обеих сторон, как правило, больших у жителей непокорных селений и незначительных в царских войсках. Боевые действия показаны в основном как упорные и ожесточенные. Отмечается особенно эффективное применение царскими войсками артиллерии и ручных гранат, которые почти не использовались народами Закубанья. Царское командование широко применяло и методы экономической войны. Во многих рапортах, приказах и журналах военных происшествий, составленных военными чиновниками и офицерами, содержатся сведения о количестве сожженных селений с запасами хлеба, сена и др., о количестве угнанного скота, о вырубке просек в лесах, о закрытии меновых дворов в 1850 г. и т. п. [1. Т. 10, с. 595–600, 603–608, 612, 614–620, 621–623, 626–631, 634–639, 694–695; 697–698; 20, с. 31–35; 21, с. 69].

В ряде делопроизводственных документов также содержатся сведения о нападениях отрядов непокорных закубанских обществ на царские войска, укрепления и станицы, которые, почти все были неэффективными и завершались их отступлением либо поражением со значительными потерями. При этом отмечается превосходство подразделений царских войск в численности и вооружении. Подчеркиваются боевая подготовка и опыт, доблесть и мужество казаков и солдат [1. Т. 10, с. 624–625, 695–697].

Однако вызывают сомнения сведения о численности отрядов непокорных черкесов и их потерь, зафиксированные в указанных источниках. Во многих документах говорится о тысячах черкесских воинов, участвовавших в боях, и о десятках и сотнях погибших среди них. Но черкесской тактике не были свойственны действия многочисленными соединениями. Как правило, черкесы действовали небольшими мобильными отрядами.

Делопроизводственные документы также содержат информацию о том, что представители разных сословий народов Закубанья продолжали вынужденно переселяться на территории, подконтрольные России. Они опасались силовых действий как со стороны царских войск, так и со стороны приверженцев Мухаммед-Амина. В частности, в апреле 1850 г. по требованию российской военной администрации кабардинцы[1] и абазины-башильбайцы, жившие в верховьях р. Урупа, переселились на правый берег Большого Зеленчука [1. Т. 10, с. 597–598].

В журнале полковника Я. Г. Кухаренко о военных действиях закубанских отрядов Черноморского казачьего войска с 23 мая по 1 июня 1853 г. сказано, что пропаганда и действия Мухаммед-Амина настолько взволновали бжедугских[2] крестьян, что «... некоторые их князья, не доверяя своим подвластным, переселились с багажом и скотом на нашу сторону, оставя чернь собственному произволу, что другие, не успевшие сделать этого, в страшном беспокойстве и неотступно просили прибытия отряда, сколько для прикрытия их со стороны угрожающих сборищ Мухаммеда-Амина, столько же и для ограждения их от своих подвластных, не скрывавших своей готовности присягнуть Мухаммед-Амину» [1. Т. 10, с. 638–639].

В докладе военного министра В. А. Долгорукова (1852–1856) императору от 16 августа 1854 г. сказано, что на территорию, подконтрольную России, перешли 18 закубанских владельцев с семьями и крепостными [22].

Таким образом, приверженцы Мухаммед-Амина и российское военное командование одновременно требовали от обществ Закубанья изъявления покорности и осуществляли при этом силовые действия. Оказавшись в критической ситуации, некоторые общества

[1]В 1-й четверти XIX в. в Закубанье, на западных землях Кабарды и в западночеркесских политиях расселилось около 20 тыс. кабардинцев, отказавшихся подчиняться царской власти и выселившихся из Кабарды. В Восточном Закубанье сформировалась т. н. *Хаджретская Кабарда*. К 1830-м гг. там находилось 62 кабардинских селения.

[2]*Бжедуги* (*бжьэдыгъу* – адыг.) – западночеркесская субэтническая группа. *Бжедугское* феодальное объединение находилось в междуречье Афипса и Пшиша. До середины XVII в. Бжедугия охватывала район р. Туапсе и верховья р. Псекупса. На юге Бжедугия граничила с Абадзехией, на западе – с Шапсугией. Бжедугия включала и часть правобережья Кубани до расселения там казаков в конце XVIII в.

вынужденно признавали власть наиба, другие – власть Российской империи. Жители некоторых селений переселялись на территории, подконтрольные России, жители других – на территории, подконтрольные приверженцам наиба.

Деятельность наиба имама Шамиля Мухаммед-Амина в Западной Черкесии накануне и во время Крымской войны

В работах российских дореволюционных авторов и источниках рассматриваемого периода содержатся сведения об активной деятельности Мухаммед-Амина, прибывшего в Абадзехию из имамата в конце 1848 г. Его целью было объединение всех политий Закубанья и создание черкесского исламского государства. Идеи о равенстве всех сословий, провозглашаемые наибом, получили поддержку значительной части населения Абадзехии. Собрав партию приверженцев, в основном мусульманских священнослужителей, Мухаммед-Амин начал формировать шариатские органы власти и воинские отряды. Приверженцы наиба создали особый меджлис[1], осуществлявший функции высшей власти. Также были созданы территориальные органы управления, суд, духовные училища и войска, которые содержались за счет налогов с населения. Затем Мухаммед-Амин развернул деятельность по установлению аналогичных структур по всей Западной Черкесии. В 1850 г. наиб, пропагандируя мюридизм[2], а нередко и применяя военную силу, распространил свое влияние среди немалой части обществ Закубанья [5, с. 85–87; 13, с. 150–157].

В отношении наместника на Кавказе генерал-фельдмаршала М. С. Воронцова к и. о. военного министра (1827–1852) генералу от кавалерии А. И. Чернышеву от 11 мая 1850 г. сказано: о создании Мухаммед-Амином и его сторонниками в Абадзехии шариатских органов управления мехкеме во главе с муфтиями[3] и советами трех кадиев[4] с правом административной и судебной власти в округах; о разделении населения на участки по 100 домов во главе со старшинами; о формировании отрядов регулярной конной стражи мутазигов/муртазеков. В документе зафиксированы виды наказаний, введенные наибом для сторонников России: смертная казнь для лазутчиков, передававших сведения российскому командованию; лишение имущества для лиц, заподозренных в связях с русскими [1. Т. 10, с. 598–599]. Запрет был наложен и на торговлю с русскими [1. Т. 10, с. 683–684.].

Вместе с Мухаммед-Амином активно проповедовали религиозный фанатизм Абдулла-эфенди и прибывший из Стамбула хан Кумук (он же Хануко) [1. Т. 10, с. 639–642].

Следует указать, что административные преобразования в Западной Черкесии были проведены задолго до прибытия Мухаммед-Амина. В результате демократического переворота, осуществленного крестьянством Абадзехии в 30-х гг. XVII в., крестьянством Шапсугии и Натухая в конце XVIII в., властные функции (управление, судопроизводство и др.) перешли к демократическим органам, которые стали формироваться из лидеров черкесских обществ. Феодалы были лишены властных функций [19, с. 73].

В то же время Мухаммед-Амин, используя методы социальной демагогии, вводил в заблуждение лидеров черкесских политий. Он показывал им сомнительные письма от правительства Османской империи и уверял их в османской поддержке в ближайшем будущем. На вопрос делегации от Абадзехии, Натухая и Шапсугии «какими средствами предполагает он отклонить народные бедствия?», он ответил, что начнет переговоры с российскими властями в

[1]*Меджлис* – совет, собрание, парламент (законодательный орган).

[2]*Мюридизм* – религиозно-политическое течение на Северном Кавказе в XIX в., идеология борьбы за независимость имамата. Включал газават (священная война мусульман против «неверных») и некоторые элементы суфизма (мистический ислам).

[3]*Муфтий* – теолог-правовед, дающий разъяснение основным положениям шариата и принимающий решения по спорным вопросам в форме особого заключения – фетвы; глава мусульманского духовенства отдельной области.

[4]*Кадий* (кади) – мусульманский судья, назначаемый правителем для осуществления правосудия на основе норм шариата (религиозного права).

качестве правителя края, признающего власть турецкого султана и при посредничестве Турции, в соответствии с мирными отношениями между империями, склонит российские власти «прекратить неприязненные действия против черкесов» [1. Т. 10, с. 686–687].

Во время упрочения своих позиций Мухаммед-Амин усиливал репрессивные меры против сторонников России. В частности, в апреле 1853 г. по его приказанию был расстрелян шапсугский старшина Хамирзе Роток, поддерживавший дружественные отношения с российской военной администрацией. Со многих подозреваемых в сотрудничестве с царскими властями взыскивались денежные штрафы. Лазутчики, передававшие сведения российскому командованию, спасались бегством от приверженцев наиба. Их имения были конфискованы. 28 апреля 1853 г. отряды Мухаммед-Амина разграбили и разорили «до основания» два мирных селения [23, лл. 70–72].

Опасаясь преследований со стороны приверженцев наиба, некоторые лидеры черкесских обществ, в том числе и сторонники России, стали вынужденно признавать его власть. Генерал-майор Я. Г. Кухаренко в своем рапорте генерал-фельдмаршалу М. С. Воронцову от 28 ноября 1853 г. отметил, что натухайцы, прежде считавшиеся мирными, стали обращаться к Мухаммед-Амину за помощью [1. Т. 10, с. 640].

В ведомости Главного управления Генерального штаба за август 1854 г. зафиксированы имена лидеров прежде «мирных» черкесов и количество селений черкесских политий (50 селений), поддержавших Мухаммед-Амина [24].

Отношение разных сословий и политий народов Закубанья к Мухаммед-Амину было неоднозначным. Пропаганда равенства, проводимая наибом, нашла поддержку среди свободных крестьян (тфокотл). Большинство же князей и дворян видели в ней угрозу своему влиянию и стремились препятствовать усилению власти наиба. Народное собрание шапсугов и натухайцев, состоявшееся в мае 1850 г., под давлением дворян приняло решение не принимать Мухаммед-Амина. Дворяне аргументировали свою позицию негативным примером преобразований наиба в Абадзехии: обременением населения налогами, самоволием наиба и его требованием прервать связи с Россией. Затем, 30 мая, шапсугские отряды выехали навстречу Мухаммед-Амину и не пропустили его через долину р. Псекупса [1. Т. 10, с. 681–682].

Наказной атаман Черноморского казачьего войска Я. Г. Кухаренко в своем рапорте наместнику на Кавказе генерал-фельдмаршалу М. С. Воронцову от 28 ноября 1853 г. сообщал, что шапсуги оказывали наибу уважение, но твердо придерживались своих обычаев и позволили ему устроить только два мехкеме – на реках Хабль и Антхырь [1. Т. 10, с. 640].

Не только в Шапсугии, но и в Абадзехии лидеры многих обществ отказывались признавать власть наиба и выпроваживали его [1. Т. 10, с. 612]. В частности, в конце декабря 1851 г. 200 абадзехских старшин и почетных лиц, прибывшие в Прочный Окоп с целью переговоров, заявили, что они удалили Мухаммед-Амина из своих обществ [1. Т. 10, с. 613–614].

Важнейшим фактором непринятия разными слоями народов Закубанья мюридизма была их приверженность нормам адата[1] и традиционным ценностям. Недовольства значительной части обществ Закубанья вызывала силовая политика наиба и введенные им виды наказания, которые противоречили нормам адата: «заключение» в «тюремную» яму, удары плетью, отрубание руки.

Военный историк генерал-майор Р. А. Фадеев отметил, что Мухаммед-Амин «... пытался основать религиозное мюридское государство по образу шамилевского, но не достиг этого даже наполовину. Мюридизм, с его всепоглощающим и всезаменяющим фанатизмом не привился к закубанцам» [6, с. 132].

Политическая позиция Мухаммед-Амина в годы Крымской войны не была последовательной. На начальном этапе войны он согласовывал свои планы с командованием коалиции.

[1] *Адат* (обычай – араб.) – свод обычаев, традиций и правовых норм у ряда народов (Северного Кавказа и др.), основанный на обычном праве и регулирующий общественные отношения.

Со временем у наиба возникли разногласия с османскими властями и командованием союзников, которые были недовольны его самовольными действиями.

16 июля 1853 г. наиб, созвав большое собрание черкесских лидеров между рр. Малой Лабой и Андрюком, в окружении более чем 10-тысячного войска сообщил о письме, полученном от османского правительства, в котором сказано о разрыве отношений между Османской и Российской империями и о том, что султан призвал всех правоверных мусульман к оружию во имя Бога и пророка. Затем наиб принял от участников собрания присягу [1. Т. 10, с. 621–623]. Однако масштабные боевые операции, предпринятые Мухаммед-Амином во время Крымской войны, завершились поражениями. Летом 1853 г. некоторые карачаевские лидеры[1] обратились к наибу с просьбой незамедлительно прибыть с войском, уверяя, что все карачаевцы готовы дать ему присягу [25, с. 156]. В журнале начальника Правого фланга Кавказской линии (1850–1855) генерал-майора Н. И. Евдокимова о военных происшествиях на Правом фланге Кавказской линии с 24 июня по 1 августа 1853 г. содержится описание похода войска наиба в Карачай. В июле 1853 г. Мухаммед-Амин с большим войском выступил в поход с целью покорения Карачая и создания там плацдарма для дальнейшего наступления и соединения с силами имама Шамиля. Но царское командование подтянуло значительные силы и вынудило наиба отступить [1. Т. 10, с. 621–623].

В августе 1855 г. Мухаммед-Амин снова предпринял попытку овладеть Карачаем, чтобы оттуда взволновать население Кабарды и соединиться с имамом Шамилем. Наиб с войском вступил в Карачай и начал принуждать его жителей к принятию присяги, но 27 августа потерпел поражение в бою с царскими войсками при р. Кадыко и вынужден был увести войска [26; 27; 4, с. 84–85; 5, с. 99].

После неудавшегося похода Мухаммед-Амина в Карачай князь Сефер-бей и османские военачальники осудили его. По сведениям пристава Тебердинских аулов «Магомет Амин получил строгий выговор от Сафарбия Занова и вообще от главных турецких военачальников за то, что без их разрешения и, не предвидя никакой пользы для магометанства, решился пойти в Карачай и чрез то сам был разбит» [28]. Мустафа-паша разослал всем непокорным обществам Закубанья письма, в которых сказано, чтобы они «не слушали» Мухаммед-Амина, а повиновались во всем османскому чиновнику, находящемуся в Анапе (князю Сефер-бею – *А. К.*) [29].

Деятельность Мухаммед-Амина проходила в соперничестве с князем Сефер-беем Заноко, обладавшим большим влиянием в Натухае и Шапсугии. Оба лидера стремились консолидировать Черкесию и отстоять ее независимость, но у них возникли идейные разногласия в достижении этой цели. Идейной основой Мухаммед-Амина был мюридизм, идейной основой князя Сефер-бея – адат и традиционные адыгские ценности. Переговоры двух лидеров завершились безрезультатно, и между их сторонниками произошло вооруженное столкновение (1 мая 1856 г.) [1. Т. 11, с. 69–73; 4, с. 88]. Противостояние двух лидеров вносило также раскол между политиями – Шапсугией и Натухаем, поддерживавшими Сефер-бея, и Абадзехией, поддерживавшей Мухаммед-Амина.

По сведениям адъютанта Мустафы-паши Осман-бея, османское правительство во время Крымской войны стремилось реализовать свои геополитические планы – присоединить к Османской империи Закубанье. Для этого оно стремилось ослабить Западную Черкесию, усиливая противоборство между князем Сефер-беем и Мухаммед-Амином и создавая видимость поддержи их обоих [17, с. 171]. В итоге османскому правительству удалось ослабить Западную Черкесию, но не удалось присоединить ее к Османской империи.

Р. А. Фадеев отметил, что Турция «... сама же сделала непростительную ошибку против своей политики, выставив Мегмет-Аминю соперника в лице натухайского князя

[1]*Карачаевцы* проживали в верховьях р. Кубани и ее притоков. Карачай вошел в состав России в октябре 1828 г. В 60-е гг. XIX в. численность карачаевцев составляла приблизительно 17 тыс. человек.

Сефера-паши. ... Между ним и Мегмет-Аминем произошли междоусобные войны, имевшие следствием окончательное ослабление авторитета и того и другого» [6, с. 132–133].

Ф. А. Щербина отметил: «... какое важное значение имело бы для войны совместное действие союзных войск или турок с черкесами. К счастью казачества, ни турки, ни их союзники не оценили надлежащим образом этого обстоятельства, а черкесы были парализованы взаимным соперничеством двух черкесских вождей – Сефер-бея и Магомет-Амина. Это спасло прикубанский край от разорения» [3, с. 512].

В некоторых работах российских дореволюционных, советских и современных российских авторов Мухаммед-Амин показан как энергичный организатор, проводивший деятельность по объединению политий Закубанья и возглавлявший их борьбу за независимость. Князь Сефер-бей Заноко охарактеризован как инертный, бездеятельный старец. Однако анализ деятельности обоих лидеров во время Крымской войны не подтверждает указанных характеристик. Князь Сефер-бей в своей деятельности предпочитал дипломатические методы. Несмотря на то, что князь Сефер-бей имел чин полковника османской армии, обладал военным опытом и пользовался поддержкой османских властей, он не осуществлял силовых действий для упрочения своей власти. По отношению к лидерам черкесских обществ князь Сефер-бей использовал методы убеждения и «политику пряника» – раздавал подарки и т. п. [1. Т. 11, с. 70]. Следует отметить, что князь Сефер-бей стремился не допустить межсословных конфликтов и консолидировать разные слои общества, в частности, он отверг притязания натухайских дворян на восстановление их прежних прав, которых они были лишены в конце XVIII в. [4, с. 83]. Князь Сефер-бей также регулярно убеждал лидеров Западной Черкесии избегать конфликтов и развивать мирные отношения с российской военной администрацией.

Майор Осман-бей отозвался о князе Сефер-бее как о «создании англичан» [17, с. 205]. Однако позиция Сефер-бея по отношению к командованию союзников опровергает данную характеристику. Князь Сефер-бей длительное время проживал в Османской империи, представлял Западную Черкесию на переговорах с османским правительством и обладал большим опытом взаимодействия с османскими чиновниками и европейскими агентами. В начале Крымской войны в секретных письмах к своим знакомым в Закубанье он рекомендовал дружелюбно принимать французов и англичан, но не доверять им [4, с. 79], а в 1855 г., когда представители командования британских войск потребовали у Сефер-бея предоставить им половину Анапы, он отказал им, заявив, что Анапа принадлежит черкесам [13, с. 172].

По мнению адыгских исследователей А. Т. Керашева и А. Д. Панеша, князь Сефер-бей проводил независимую политику и стремился добиться с помощью союзных войск независимости родины [11, с. 224–225; 13, с. 172–173].

В целом во время Крымской войны князь Сефер-бей, воспользовавшись ситуацией, стремился отстоять независимость Западной Черкесии. Его относительно сдержанная политическая деятельность была направлена на недопущение внутренних межсословных конфликтов в западночеркесском социуме.

В статье дагестанского исследователя А. М. Магомеддадаева «Магомед-Амин – наиб Шамиля в Черкесии» сказано, что Мухаммед-Амин был выдающимся «государственным и политическим деятелем», «горным вождем» – «духовным и светским», который, «объединив почти все адыгейские племена, ... начал серьезные военные действия против регулярных царских войск» [12, с. 13–15]. При этом А. М. Магомеддадаев вслед за российскими дореволюционными авторами использует по отношению к черкесским и абазинским политиям (княжества, демократические общества. – *А. К.*) термин «племена», который некорректно применять по отношению к политиям с феодальным или демократическим строем.

Однако, как отмечено выше, правление Мухаммед-Амина было относительно прочным только в Абадзехии. В других политиях его влияние было эфемерным. Деятельность же созданных им шариатских органов управления оказалась недостаточно эффективной.

Князь Сефер-бей обвинил Мухаммед-Амина во время их переговоров в Сухуме именно в том, что он не провел необходимых преобразований в Закубанье и не создал у черкесов регулярной армии, готовой выступить в любое время [4, с. 80–81].

Следует указать основные последствия деятельности Мухаммед-Амина в Закубанье в рассматриваемый период. Пропагандой мюридизма и беспощадным преследованием сторонников России наиб добился разрушения развивавшихся дружественных отношений между частью черкесских обществ и российской военной администрацией, а его противоборство с князем Сефер-беем способствовало расколу черкесских политий. Призывая народы Закубанья к активной борьбе с царскими войсками под лозунгами газавата, Мухаммед-Амин не уделил должного внимания созданию войск, соответствовавших требованиям эпохи. В отличие от имама Шамиля, Мухаммед-Амин сознательно или по недооценке не создал артиллерийских отрядов [5, с. 86]. Не хватало в его войсках и боеприпасов. В этой связи войска наиба, использовавшие главным образом клинковое оружие, несли значительные потери в боях с царскими войсками, которые эффективно применяли артиллерию, гранаты, ракеты и стрелковое оружие. В целом деятельность Мухаммед-Амина в Закубанье оказалась дестабилизирующей, повлекшей значительные людские потери, разрушение хозяйственной деятельности и дальнейшее обострение социально-политической ситуации в субрегионе.

Заключение

На основе анализа сведений российской делопроизводственной документации и мемуарной литературы, а также материалов и результатов предыдущих исследований в статье рассмотрены основные проблемы социально-политической ситуации на Северо-Западном Кавказе накануне и во время Крымской войны 1853–1856 гг.

Показано, что планы командования войск британо-франко-османской коалиции по масштабному вовлечению народов Северо-Западного Кавказа (черкесы, абазины) в войну с Россией провалились. Лидеры западночеркесских обществ отказывались формировать отряды для соединения с войсками коалиции. Командование войск коалиции, не добившись формирования черкесского войска, не стало проводить активных действий в Закубанье.

Отказ черкесских лидеров от военной поддержки британо-франко-османской коалиции в войне с Россией продемонстрировал их твердую политическую позицию, заключавшуюся в том, что они вели борьбу не против России, а за свою независимость, которую были готовы отстаивать в случае попыток подчинения их любой империей.

В ряде делопроизводственных документов зафиксировано, что приверженцы Мухаммед-Амина и российское военное командование одновременно требовали от обществ Закубанья изъявления покорности и осуществляли при этом силовые действия. Оказавшись в критической ситуации, некоторые общества вынужденно признавали власть наиба, другие – власть Российской империи. Жители некоторых селений переселялись на территории, подконтрольные России, жители других – на территории, подконтрольные приверженцам наиба.

Показано, что геополитические планы османского правительства во время Крымской войны, заключавшиеся в присоединении Северо-Западного Кавказа к Османской империи, не были реализованы. Усиливая противоборство двух лидеров – князя Сефер-бея и Мухаммед-Амина – османскому правительству удалось ослабить Западную Черкесию, но не удалось присоединить ее к Османской империи.

Представлена объективная оценка деятельности князя Сефер-бея и Мухаммед-Амина в рассматриваемый период. Политическая деятельность князя Сефер-бея была направлена на отстаивание независимости Западной Черкесии и на предотвращение внутренних межсословных конфликтов в западночеркесском социуме.

Деятельность Мухаммед-Амина в целом оказалась дестабилизирующей. Преобразования наиба в Закубанье – создание шариатских органов власти и постоянных войск, пропаганда мюридизма – оказались недостаточно эффективными в связи с приверженностью преобладающей части населения субрегиона нормам адата и традиционным ценностям.

Недовольства значительной части обществ Закубанья были вызваны введенными наибом видами наказаний, которые противоречили нормам адата: «заключение» в «тюремную» яму, удары плетью, отрубание руки. Силовые же действия приверженцев наиба, направленные против сторонников России, привели к разрушению развивавшихся дружественных отношений между частью черкесских обществ и российской военной администрацией, а его противоборство с князем Сефер-беем способствовало расколу черкесских политий. Следствием втягивания наибом обществ Закубанья в боевые действия с царскими войсками без формирования войск, соответствовавших требованиям эпохи (без артиллерии и т. п.), были значительные людские потери, разрушение хозяйственной деятельности и дальнейшее обострение социально-политической ситуации в субрегионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акты, собранные Кавказской археографической комиссией. Т. I–XII. Тифлис: Тип. главного управления Наместника кавказского, 1866–1904.

2. *Берже А. П.* Выселение горцев с Кавказа // Русская старина. 1882. Т. 33. Январь. С. 161–176.

3. *Щербина Ф. А*. История Кубанского казачьего войска. Т. 2. История войны казаков с кавказскими горцами. Екатеринодар: Печатник, 1913. 848 с.

4. *Фелицин Е. Д.* Политический деятель и поборник независимости черкесского народа князь Сефер-Бей Зан // Кубанский сборник. Т. 10. Екатеринодар, 1904. С. 3–167.

5. *Карлгоф Н. И.* Магомет Амин // Кавказский календарь на 1861 год. Тифлис: Тип. Гл. управ. наместника кавказского, 1860. (Отд. 4). С. 403 (77)-428 (102).

6. Собрание сочинений Р. А. Фадеева. Т. 1. Ч. 2. Записки о кавказских делах. СПб: Тип. В. В. Комарова, 1890. 208 с.

7. *Дьячков-Тарасов А. Н.* Черноморская кордонная, черноморская береговая линии и Правый фланг Кавказа перед Восточною войною в 1853 году (Военно-исторический очерк) // Кубанский сборник. Т. 10. Екатеринодар, 1904. С. 241–330.

8. *Дзидзария Г. А.* Махаджирство и проблемы истории Абхазии XIX столетия. Сухуми: Изд-во «Алашара», 1982. 530 с.

9. *Ибрагимбейли Х.-М.* Кавказ в Крымской войне 1853–1856 гг. и международные отношения. М.: Изд-во «Наука», 1971. 404 с.

10. *Касумов А. Х., Касумов Х. А.* Геноцид адыгов. Нальчик: Изд-во «Логос», 1992. 200 с.

11. *Керашев А. Т.* Политическая деятельность князя Сефер-Бея Заноко в годы Кавказской войны // Национально-освободительная борьба народов Северного Кавказа и проблемы мухаджирства. Нальчик: Эльбрус, 1994. С. 220–229.

12. *Магомеддадаев А. М*. Магомед-Амин – наиб Шамиля в Черкесии // Мухаммад-Амин и народно-освободительное движение народов Северо-Западного Кавказа в 40–60 гг. XIX века. (Сборник документов и материалов). Махачкала: Юпитер, 1998. С. 5–38.

13. *Панеш А. Д*. Западная Черкесия в системе взаимодействия России с Турцией, Англией и имаматом Шамиля в XIX в. (до 1864 г.). Майкоп: Изд-во МГТУ, 2007. 240 с.

14. *Кишмахов М. Х.-Б*. Проблемы этнической истории и культуры убыхов. Сухум – Карачаевск, 2012. 832 с.

15. *Половинкина Т. В.* Черкесия – боль моя и надежда. Древнейшее время – начало XX века. Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых, 2014. 560 с.

16. *Дроздов И.* Обзор военных действий на Западном Кавказе с 1848-го по 1856-й год // Кавказский сборник. Тифлис, 1887. Т. 11. С. 465–497.

17. Воспоминания 1855 года майора Осман-бея // Кавказский сборник. 1877. Тифлис. Т. 2. С. 143–214.

18. *Казаков А. В.* Адыги (черкесы) на российской военной службе. Воеводы и офицеры. Середина XVI – начало XX в. Нальчик: Эль-Фа, 2006. 408 с.

19. *Кушхабиев А. В.* Новое время // Адыги: Адыгейцы. Кабардинцы. Черкесы. Шапсуги / отв. ред. А. Х. Абазов, Ю. Д. Анчабадзе, А. В. Кушхабиев, М. М. Паштова; Ин-т этнологии и антропологии им. Н. Н. Миклухо-Маклая РАН; Кабардино-Балкарский научный центр РАН; Адыгейский республиканский ин-т гуманитарных исследований им. Т. М. Керашева. М.: Наука, 2022. С. 60–82.

20. Выписка из журнала военных действий отряда, собранного у ст. Владимирской (против Магомет-Амина). 1851 г. мая 21-го, Екатеринодар // Архивные материалы о Кавказской войне и выселении черкесов (адыгов) в Турцию (1848–1874). Часть 2. / сост. Т. Х. Кумыков. Нальчик: Издательский центр «Эль-Фа», 2003. С. 31–35.

21. Отношение начальника Правого фланга генерал-майора Евдокимова к начальнику Черноморской кордонной линии генерал-майору Кухаренко о разорении им хатукаевского аула Клычева. 1854 г. октябрь 22. Кр. Прочный окоп // Проблемы Кавказской войны и выселение черкесов в пределы Османской империи (20–70-е гг. XIX в.): Сборник архивных документов / Т. Х. Кумыков. Нальчик: Эльбрус, 2001. С. 69.

22. О числе добровольно переселившихся к нам горцев. Доложено Его Величеству 16-го августа 1854 года // РГВИА. Ф. 38. Главное управление Генерального штаба, СПб. Оп. 7. Д. 167. Ч. 2. Л. 99.

23. Извлечения из донесения о военных действиях на Кавказе, составляемые для всеподданнейшего доклада государю императору в 1853 году // РГВИА. Ф. 38. Главное управление Генерального штаба, СПб. Оп. 7. Ед. хр. 205. 228 л.

24. Ведомость бывшим мирным черкесам и ныне отложившимся и принявшим Магомет Амина (август 1854 г.) // РГВИА. Ф. 38. Главное управление Генерального штаба, СПб. Оп. 7. Д. 167. Ч. 2. ЛЛ. 97, 98.

25. Рапорт командующего Зеленчукской линией подполковника Гоца 2-го командующему Баталпашинским участком полковнику Султан Казы-Гирею со сведениями о Магомет-Амине. 1853 г. сентября 3-го // Документы по истории адыгов 20-50-х годов XIX в. (по материалам ЦГА КБР) / Сост. З. М. Кешева. Нальчик: Издательский отдел КБИГИ, 2011. С. 155–157.

26. Рапорт пристава карачаевского и абазинского народов начальнику Центра Грамотину, от 16 августа 1855 г. // УЦГА АС КБР. Ф. И-16. Управление Центра Кавказской линии. 1855 г. Оп. 1. Д. 1632. Т. 1. Л. 45.

27. Рапорт полковника Султана Казы-Гирея начальнику Центра Кавказской линии господину генерал-майору и кавалеру Грамотину, № 589 // УЦГА АС КБР. Ф. И-16. Управление Центра Кавказской линии. 1855 г. Оп. 1. Д. 1632. Т. 1. Л. 72.

28. Временно командующему войсками. 19 сентября 1855 г. № 993 // УЦГА АС КБР. Ф. И-16. Управление Центра Кавказской линии. 1855 г. Оп. 1. Д. 1632. Т. 1. Л. 93, 94.

29. Рапорт командующего Зеленчукской линией, состоящего по армии подполковника Гоца командующему Баталпашинским участком господину полковнику и кавалеру Султан Казы-Гирею // УЦГА АС КБР. Ф. И-16. Управление Центра Кавказской линии. 1855 г. Оп. 1. Д. 1632. Т. 1. Л. 103, 104.

REFERENCES

1. *Akty, sobrannye Kavkazskoi arkheograficheskoi komissiei* [Acts collected by the Caucasian archaeographic commission]. 12 volumes. Tiflis: Printing house of the Main Administration of the Viceroy of the Caucasus, 1866–1904. (In Russian)

2. Berzhe A.P. *Vyselenie gortsev s Kavkaza* [The deportation of the highlanders from the Caucasus]. In: *Russkaya starina*. 1882. Vol. 33. January. Pp. 161–176. (In Russian)

3. Shcherbina F.A. *Istoriya Kubanskogo kazach'ego voiska* [History of the Kuban Cossack Host]. Vol. 2. *Istoriya voiny kazakov s kavkazskimi gortsami* [History of the Cossack War with the Caucasian Highlanders]. Ekaterinodar: Pechatnik, 1913. 848 p. (In Russian)

4. Felitsin E.D. *Politicheskii deyatel' i pobornik nezavisimosti cherkesskogo naroda knyaz' Sefer-Bei Zan* [Political Figure and vindicator of the Independence of the Circassian People, Prince Sefer-Bey Zan]. In: *Kubanskii sbornik*. Vol. 10. Ekaterinodar, 1904. Pp. 3–167. (In Russian)

5 Karlgof N.I. *Magomet Amin*. In: *Kavkazskii kalendar' na 1861 god* [Caucasian calendar for 1861.] Tiflis: Printing house. Chief Administrator of the Viceroyalty of the Caucasus, 1860. (Section 4). Pp. 403 (77)-428 (102). (In Russian)

6. *Sobranie sochinenii R.A. Fadeeva* [Collected works of R. A. Fadeev]. Vol. 1. Part 2. *Zapiski o kavkazskikh delakh* [Notes on Caucasian affairs]. St. Petersburg: V.V. Komarova Publishing House, 1890. 208 p. (In Russian)

7. D'yachkov-Tarasov A.N. *Chernomorskaya kardonnaya, chernomorskaya beregovaya linii i Pravyi flang Kavkaza pered Vostochnoyu voinoyu v 1853 godu (Voenno-istoricheskii ocherk)* [Black Sea Cordon, Black Sea Coastal Lines and the Right Flank of the Caucasus before the Eastern War in 1853 (Military-Historical Essay)]. In: *Kubanskii sbornik*. Vol. 10. Ekaterinodar, 1904. Pp. 241-330. (In Russian)

8. Dzidzariya G.A. *Makhadzhirstvo i problemy istorii Abkhazii XIX stoletiya* [Muhajirism and problems of the history of Abkhazia in the 19th Century]. Sukhumi: Alashara Publishing House, 1982. 530 p. (In Russian)

9. Ibragimbeili Kh.-M. *Kavkaz v Krymskoi voine 1853–1856 gg. i mezhdunarodnye otnosheniya* [The Caucasus in the Crimean War of 1853–1856 and international relations]. Moscow: Nauka Publishing House, 1971. 404 p. (In Russian)

10. Kasumov A.Kh., Kasumov Kh.A. *Genotsid adygov* [The genocide of the Circassians]. Nal'chik: Logos Publishing House, 1992. 200 p. (In Russian)

11. Kerashev A.T. *Politicheskaya deyatel'nost' knyazya Sefer-Beya Zanoko v gody Kavkazskoi voiny* [Political activities of Prince Sefer-Bey Zanoko during the Caucasian War]. In*: Natsional'no-osvoboditel'naya bor'ba narodov Severnogo Kavkaza i problemy mukhadzhirstva* [National liberation struggle of the peoples of the North Caucasus and problems of muhajirism]. Nal'chik; Elbrus, 1994. Pp. 220–229. (In Russian)

12. Magomeddadaev A.M. *Magomed-Amin – naib Shamilya v Cherkesii* [Magomed-Amin – Shamil's naib in Circassia]. In*: Mukhammad-Amin i narodno-osvoboditel'noe dvizhenie narodov Severo-Zapadnogo Kavkaza v 40-60 gg. XIX veka. (Sbornik dokumentov i materialov)* [Muhammad-Amin and the people's liberation movement of the peoples of the North-West Caucasus in the 40–60s of the XIX century. (Collection of documents and materials)]. Makhachkala: Jupiter, 1998. Pp. 5–38. (In Russian)

13. Panesh A.D. *Zapadnaya Cherkesiya v sisteme vzaimodeistviya Rossii s Turtsiei, Angliei i imamatom Shamilya v XIX v. (do 1864 g.)* [Western Circassia in the system of interaction between Russia, Turkey, England and the Imamate of Shamil in the 19th century (before 1864)]. Maikop: MGTU Publishing House, 2007. 240 p. (In Russian)

14. Kishmakhov M.Kh.-B. *Problemy ehtnicheskoi istorii i kul'tury ubykhov* [Problems of the ethnic history and culture of the ubykhs]. Sukhum – Karachaevsk, 2012. 832 p. (In Russian)

15. Polovinkina T.V. *Cherkesiya – bol' moya i nadezhda. Drevneishee vremya – nachalo XX veka* [Circassia – my pain and hope. Ancient times – early 20th century]. Nal'chik: M. and V. Kotlyarov Publishing House, 2014. 560 p. (In Russian)

16. Drozdov I. *Obzor voennykh deistvii na Zapadnom Kavkaze s 1848-go po 1856-i god* [Review of military operations in the Western Caucasus from 1848 to 1856]. In: *Kavkazskii sbornik*. Tiflis, 1887. Vol. 11. Pp. 465–497. (In Russian)

17. *Vospominaniya 1855 goda maiora Osman-beya* [Memories of 1855 of major Osman Bey]. In: Kavkazskii sbornik, 1877. Tiflis. Vol. 2. Pp. 143–214. (In Russian)

18. Kazakov A.V. *Adygi (cherkesy) na rossiiskoi voennoi sluzhbe. Voevody i ofitsery. Seredina XVI – nachalo XX v.* [Adyghe (Circassians) in the Russian military service. Voivodes and officers. Mid-16th – early 20th century]. Nal'chik: El-Fa, 2006. 408 p. (In Russian)

19. Kushkhabiev A.V. *Novoe vremya* [New time]. In: *Adygi: Adygeitsy. Kabardintsy. Cherkesy. Shapsugi / otv. red. A.Kh. Abazov, Yu.D. Anchabadze, A.V. Kushkhabiev, M.M. Pashtova; In-t ehtnologii i antropologii im. N.N. Miklukho-Maklaya RAN; Kabardino-Balkarskii nauchnyi tsentr RAN; Adygeiskii respublikanskii in-t gumanitarnykh issledovanii im. T.M. Kerasheva* [Adyghe: Adyghe. Kabardians. Circassians. Shapsugs / eds. A.Kh. Miklouho-Maclay Institute of Ethnology and Anthropology, Russian Academy of Sciences; Kabardino-Balkarian Scientific Center, Russian Academy of Sciences; Adyghe Republican Institute of Humanitarian Research named after T.M. Kerashev]. Moscow: Nauka, 2022. Pp. 60–82. (In Russian)

20. *Vypiska iz zhurnala voennykh deistvii otryada, sobrannogo u st. Vladimirskoi (protiv Magomet-Amina). 1851 g. maya 21-go, Ekaterinodar* [Extract from the military operations journal of the detachment assembled near Vladimirskaya station (against Mohammed-Amin). May 21, 1851, Yekaterinodar]. In: *Arkhivnye materialy o Kavkazskoi voine i vyselenii cherkesov (adygov) v Turtsiyu (1848–1874). Chast' 2. / sost. T.Kh. Kumykov* [Archival materials on the Caucasian War and the deportation of Circassians (Adyghe) to Turkey (1848–1874). Part 2. / compiled by T.Kh. Kumykov] Nal'chik: El-Fa Publishing Center, 2003. Pp. 31–35. (In Russian)

21. *Otnoshenie nachal'nika Pravogo flanga general-maiora Evdokimova k nachal'niku Chernomorskoi kordonnoi linii general-maioru Kukharenko o razorenii im khatukaevskogo aula Klycheva. 1854 g. oktyabr' 22. Kr. Prochnyi okop* [The attitude of the commander of the Right Flank, Major General Evdokimov, to the commander of the Black Sea cordon line, Major General Kukharenko, regarding the destruction of the Khatukay village of Klychev. 1854, October 22. Fortress Prochnyi okop]. In: *Problemy Kavkazskoi voiny i vyselenie cherkesov v predely Osmanskoi imperii (20–70-e gg. XIX v.): Sbornik arkhivnykh dokumentov / T.Kh. Kumykov* [Problems of the Caucasian War and the deportation of Circassians within the Ottoman Empire (1820–1870s): Collection of archival documents / T. Kh. Kumykov]. Nal'chik: Elbrus, 2001. P. 69. (In Russian)

22. *O chisle dobrovol'no pereselivshikhsya k nam gortsev. Dolozheno Ego Velichestvu 16-go avgusta 1854 goda* [On the number of highlanders who voluntarily resettled to us. Reported to His Majesty on August 16, 1854]. In: *RGVIA. F. 38. Glavnoe upravlenie General'nogo shtaba, SPb. Op. 7. D. 167. Ch. 2. L. 99* [Russian State Military Historical Archive. F. 38. Main Directorate of the General Staff, St. Petersburg. Op. 7. D. 167. Part 2. L. 99]. (In Russian)

23. *Izvlecheniya iz doneseniya o voennykh deistviyakh na Kavkaze, sostavlyaemye dlya vsepoddanneishego doklada gosudaryu imperatoru v 1853 godu* [Extracts from a report on military operations in the Caucasus, compiled for the most humble report to the Emperor in 1853]. In: *RGVIA. F. 38. Glavnoe upravlenie General'nogo shtaba, SPb. Op. 7. Ed. khr. 205. 228* l [Russian State Military Historical Archive. F. 38. Main Directorate of the General Staff, St. Petersburg. Op. 7. Unit of storage 205. 228 p.]. (In Russian)

24. *Vedomost' byvshim mirnym cherkesam i nyne otlozhivshimsya i prinyavshim Magomet Amina (avgust 1854 g.)* [Statement to former peaceful Circassians and those who have now seceded and accepted Magomet Amin (August 1854)]. In: *RGVIA. F. 38. Glavnoe upravlenie General'nogo shtaba, SPb. Op. 7. D. 167. Ch. 2. LL. 97, 98* [Russian State Military Historical Archive. F. 38. Main Directorate of the General Staff, St. Petersburg. Op. 7. D. 167. Part 2. Ll. 97, 98]. (In Russian)

25. *Raport komanduyushchego Zelenchukskoi liniei podpolkovnika Gotsa 2-go komanduyushchemu Batalpashinskim uchastkom polkovniku Sultan Kazy-Gireyu so svedeniyami o Magomet-Amine. 1853 g. sentyabrya 3-go* [Report of the commander of the Zelenchuk line, Lieutenant Colonel Gots II, to the commander of the Batalpashinsk section, Colonel Sultan Kazy-Girey, with information about Magomet-Amin. September 3, 1853]. In: *Dokumenty po istorii adygov 20–50-kh godov XIX v. (po materialam TSGA KBR) / Sost. Z.M. Kesheva* [Documents on the history of the Circassians of the 1820s–1850s (based on materials from the Central State Archives of the Kabardino-Balkarian Republic) / Comp. Z.M. Kesheva]. Nal'chik: Publishing Department of the KBIGI, 2011. Pp. 155–157. (In Russian)

26. *Raport pristava karachaevskogo i abazinskogo narodov nachal'niku Tsentra Gramotinu, ot 16 avgusta 1855 g.* [Report of the governor of the Karachay and Abaza peoples to the head of the Center, Gramotin, dated August 16, 1855]. In: *UTSGA ASKBR. F. I-16. Upravlenie Tsentra Kavkazskoi linii. 1855 g. Op. 1. D. 1632. T. 1. L. 45* [Administration of the Central State Archive of the Archival Service of the Kabardino-Balkarian Republic. F. I-16. Administration of the Center of the Caucasian Line. 1855. Op. 1. D. 1632. V. 1. L. 45]. (In Russian)

27. *Raport polkovnika Sultana Kazy-Gireya nachal'niku Tsentra Kavkazskoi linii gospodinu general-maioru i kavaleru Gramotinu, № 589* [Report of Colonel Sultan Kazy-Girey to the Chief of the Center of the Caucasian Line, Mr. Major General and Cavalier Gramotin, No. 589]. In: *UTSGA AS KBR. F. I-16. Upravlenie Tsentra Kavkazskoi linii. 1855 g. Op. 1. D. 1632. T. 1. L. 72* [Administration of the Central State Archive of the Archival Service of the Kabardino-Balkarian Republic. F. I-16. Directorate of the Center of the Caucasian Line. 1855. Op. 1. D. 1632. V. 1. L. 72.]. (In Russian)

28. *Vremenno komanduyushchemu voiskami. 19 sentyabrya 1855 g. № 993* [To the temporary commander of the troops. September 19, 1855, No. 993]. In: *UTSGA AS KBR. F. I-16. Upravlenie Tsentra Kavkazskoi linii. 1855 g. Op. 1. D. 1632. T. 1. L. 93, 94* [Administration of the Central State Archive of the Archival Service of the Kabardino-Balkarian Republic. F. I-16. Directorate of the Center of the Caucasian Line. 1855. Op. 1. D. 1632. V. 1. L. 93, 94]. (In Russian)

29. *Raport komanduyushchego Zelenchukskoi liniei, sostoyashchego po armii podpolkovnika Gotsa komanduyushchemu Batalpashinskim uchastkom gospodinu polkovniku i kavaleru Sultan Kazy-Gireyu* [Report of the commander of the Zelenchuk line, serving in the army of Lieutenant Colonel Gots to the commander of the Batalpashinsky section, Mr. Colonel and Cavalier Sultan Kazy-Girey]. In: *UTSGA AS KBR. F. I-16. Upravlenie Tsentra Kavkazskoi linii. 1855 g. Op. 1. D. 1632. T. 1. L. 103, 104* [Administration of the Central State Archive of the Archival Service of the Kabardino-Balkarian Republic. F. I-16. Administration of the Center of the Caucasian Line. 1855. Op. 1. D. 1632. V. 1. L. 103, 104].

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания «Народы Центрального и Северо-Западного Кавказа во второй половине XVIII – начале XX века в документах российских архивов» (тема № 125032604497-5).

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment “Peoples of the Central and North-Western Caucasus in the Second Half of the 18th – Early 20th Centuries in Russian Archival Documents” (Project No. 125032604497-5).

Информация об авторе

Кушхабиев Анзор Викторович, д-р ист. наук, начальник Научно-инновационного центра «Экспертные системы источниковедения и историографии», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

anzor-vk@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4618-2148, SPIN-код: 8017-4857

Information about the author

Anzor V. Kushkhabiev, Doctor of Historical Sciences, Head of the Scientific and Innovative Center “Expert Systems of Source Studies and Historiography”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

anzor-vk@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4618-2148, SPIN-code: 8017-4857

ФИЛОЛОГИЯ

УДК 82.0 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-502-510
CDXMJB

Хамзат Зейтунович Батырбеков: забытые и малоизвестные писатели как феномен балкарской культуры

Р. А. Керимова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. На примере творческой судьбы балкарского поэта Х. З. Батырбекова (1956–2008) рассматривается актуальная проблема литературы «второго ряда». В работе предлагается теоретическое осмысление различных аспектов писательской репутации и понятия «литературный канон». Статья представляет собой первый в научной традиции анализ творчества Х. Батырбекова, вступившего в литературу в конце 1970-х – начале 1980-х годов.

Цель исследования – ввести в научный оборот имя Х. Батырбекова, а также изучить и систематизировать основные вехи личной и творческой биографии. Обозначив роль и место поэта, данная работа закрывает существующую лакуну в истории балкарской литературы и может стать точкой отсчета для дальнейших исследований творчества малоизвестных и забытых писателей.

Материалы и методы. Исследовательский дискурс статьи с обращением к архивным материалам и материалам периодической печати предлагает осмысление различных аспектов творчества. В работе используется комплексный подход (теоретический, сравнительно-типологический, сопоставительный, системный), а также эмпирические методы.

Результаты. Определены жанровые, тематические, стилистические особенности лирики, выявлены индивидуальные признаки стиля: глубокий психологизм, склонность к рефлексии, насыщенность абстрактной лексикой (мечта, время, дорога, судьба, тоска), выступающей в качестве инструмента для раскрытия экзистенциальных тем.

Выводы. Творческий путь Х. Батырбекова – это движение от традиционного, фольклорно-мифологического мировосприятия к глубокой философской лирике, в которой преломляется эстетика постмодернизма. На основе проделанного анализа целесообразно полагать, что произведения автора в некотором отношении способствовали развитию и усилению психологизма философской лирики второй половины XX века.

Ключевые слова: литература «второго ряда», литературный канон, Х. Батырбеков, балкарская поэзия, стиль, жанр, постмодернизм

Поступила 24.08.2026, одобрена после рецензирования 05.10.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Керимова Р. А. Хамзат Зейтунович Батырбеков: забытые и малоизвестные писатели как феномен балкарской культуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 502–510. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-502-510

© Керимова Р. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Original article

Khamzat Zeytunovich Batyrbekov: forgotten and little-known writers as a phenomenon of Balkar culture

R.A. Kerimova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The urgent problem of "second-tier" literature is examined through the lens of the literary career of the Balkar poet Kh.Z. Batyrbekov (1956–2008). This paper provides a theoretical insight into various aspects of writer reputation and the concept of the "literary canon". Here we present the first scholarly analysis of Kh. Batyrbekov's oeuvre, who emerged on the literary scene in the late 1970s and early 1980s.

Aim. The research aims to integrate Kh. Batyrbekov's name into mainstream scholarship, while analyzing and systematizing the major landmarks of his life and literary career. By defining the poet's role and place, this paper fills the existing gap in the history of Balkar literature and can serve as a point of departure for further research into the works of little-known and forgotten writers.

Materials and methods. Through a research discourse based on archival materials and the periodical press, here we offer an understanding of various facets of his literary work. The study employs an integrated approach combining theoretical, comparative-typological, contrastive, and systemic methods, alongside empirical research methods.

Results. The study outlines the genre, thematic, and stylistic characteristics of the lyric poetry, uncovering distinctive personal traits such as profound psychologism, a penchant for reflection, and a richness of abstract diction (dream, time, journey, destiny, melancholy) utilized as an instrument to reveal existential themes.

Conclusions. The creative trajectory of Kh. Batyrbekov represents a transition from a traditional, folkloric, and mythological perception of the world toward deeply philosophical lyric poetry that encapsulates the aesthetics of postmodernism. Based on the analysis conducted, it can be argued that the author's works in some ways facilitated the growth and deepening of psychological insight within philosophical lyric poetry of the second half of the 20th century.

Keywords: "second-tier" literature, literary canon, Kh. Batyrbekov, Balkar poetry, style, genre, postmodernism

Submitted 24.08.2026, approved after reviewing 05.10.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Kerimova R.A. Khamzat Zeytunovich Batyrbekov: forgotten and little-known writers as a phenomenon of Balkar culture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 502–510. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-502-510

Введение

В свете актуализации проблемы идентичности наблюдается новый всплеск интереса к творчеству второстепенных авторов (переоценка), исследованию ранее не затрагивавшихся вопросов. Мировая культура завоевала вершину литературного Олимпа, и для того чтобы включиться в общий литературный процесс, необходимо полноценно представить достижения своего народа, где важно учитывать не только вклад ключевых авторов, но и усилия малозаметных или ныне забытых писателей, что позволит оценить их место как в литературном движении своего времени, так и в истории того или иного жанра, в котором

© Kerimova R.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

они работали. В силу этого попытка развить и популяризировать литературу малочисленных народов – это не только культурный, но и стратегический вопрос, соотнесенный с проблемой сохранения языка и уникальной картины мира этого этноса.

Цель статьи – изучить и систематизировать основные вехи личной и творческой биографии, определить центральную идею («поэтический сюжет») произведений, раскрыть художественные особенности поэтического стиля.

Основная часть

Как известно, в истории литературы немало талантливых авторов, оставшихся в тени. Данный факт является закономерностью не только для любого литературного процесса, но и в общем для искусства в целом. В зарубежной литературе в список непризнанных гениев можно включить Джона Китса, Хольгера Дракманна, Эмиля Ришбура, Марианну Хаузер, Анну Каван; среди русских писателей – В. Инбер, С. Надсона, В. Булгакова, М. Зенкевича, И. Коневского, Н. Дурова и многих других.

В балкарской литературе также существуют имена, которые не получили широкого признания при жизни. Несмотря на малочисленность этноса и сравнительно молодую литературу, число таких авторов достаточно велико. В силу различных обстоятельств творчество Х. Аккаева, З. Зокаева, М. Аттоева, О. Балаева, Т. Алтуева, С. Боташева, Х. Кулиева, Х. Мечиева и др. не известно читателю (либо известно узкому кругу специалистов) и не упоминалось в отдельном исследовательском дискурсе. Неизученность их текстов не связана с новизной материала, поскольку перечисленные авторы относятся ко второй половине XX века.

На сложившуюся ситуацию могли повлиять различные факторы. В большинстве случаев это высокая конкуренция, то есть автор остался в тени корифеев, своих коллег по перу. Не стоит исключать и условную вероятность, обусловленную внешними факторами (цензурой либо субъективной оценкой, так называемой «субъективностью признания»).

Другая причина может заключаться в самой специфике творчества, которая не отвечала запросам эпохи (эксперименты с поиском новых форм, узкая тематика, стиль, затемненность мысли и другие черты, усложняющие общее восприятие текста, и т.д.). Здесь примером может послужить судьба австрийского писателя XX столетия Франца Кафки, который при жизни не получил широкого признания в силу того, что у него был достаточно сложный, абсурдный стиль, переплетающий в основе своей реальность с тревогой и бюрократическим хаосом. Данная эксцентричность не нашла отклика у читателей того времени, хотя в узком кругу все же были ценители его творчества. Поэтому здесь стоит оговориться, поскольку, когда речь заходит о литературном каноне, необходимо понимать, что есть разграничения на читательский, научный либо историко-литературный. По логике своей они должны быть сопряжены между собой, но не всегда так однозначно.

Если обратимся к биографии известного русского комедиографа, драматурга Александра Шаховского, то легко можем убедиться в этом. Имя князя в литературный канон ввел А. Пушкин в «Евгении Онегине», четко обозначив его роль в развитии жанра комедии. Однако стиль автора, верность архаистическим установкам во многом негативно повлияли на писательское имя Шаховского, тексты которого более не включены в читательский канон, хотя в истории русской литературы он оставил свой след.

К примеру, балкарский поэт Магомет Мокаев (1939–2006), автор более 20 поэтических сборников, многочисленных эссе и переводов произведений мировой литературы на родной язык, имя которого канонизировал в историко-литературном процессе К. Кулиев (что не означает канонизировать его творчество), обозначив его одним из мастеров версификации, до недавнего времени не был включен в научный канон, то есть его творчеству не было посвящено отдельное исследование, хотя его произведения широко известны читателю. Причина здесь лежит на поверхности: автор долгое время оставался в тени корифеев, таких как К. Мечиев, К. Кулиев, Т. Зумакулова, К. Отаров и т.д.

Безусловно, причины неисследованности того или иного материала связаны не только с дефицитом ресурсов для архивной работы, но и с субъективным выбором ученых, которых привлекают тексты более титулованных авторов. В этом аспекте справедливы мысли В. Жирмунского, который отмечал, что «такое хождение по вершинам» не позволяет исследователю в полной мере уловить конкретную историю жанра, *затрудняет создание научно обоснованной методической базы для работы с художественным текстом, усложняет критическое восприятие, сужает исследовательское поле, и в конечном итоге искажается картина историко-культурного процесса этноса* [1, с. 226. Курсив автора. – *К. Р.].*

Неизученный пласт, так называемые «непопулярные» тексты, выпадая из академического дискурса, создают риск возникновения «белых» пятен либо когнитивных искажений, мешающих проследить все эволюционные этапы литературы. Здесь обретает важность расширение научно-исследовательского ракурса, поскольку литературный процесс невозможно оценить без творчества не только ключевых персоналий, которые твердо заняли свое место в историко-литературном каноне, но и тех второстепенных личностей, без которых не может быть осмыслена история того или иного жанра, следовательно, невозможен углубленный взгляд на литературный процесс и контекст. Одновременно с ключевыми авторами поиски путей и способов выражения внутренней жизни героя вели и другие поэты, обыкновенные таланты с разным уровнем возможностей.

Ю. М. Лотман писал, что «культура – не собрание шедевров, а живой организм, в единой системе которого живут и противоборствуют разные по самостоятельному значению и ценности силы. Отрывая шедевры от их реального исторического контекста, мы убиваем их» [2, с. 6–7].

Из всего этого вытекает немаловажный вопрос: а нужно ли вообще изучать творчество писателей «второго плана»? И здесь вступает в силу тезис Ю. Н. Тынянова о возможных рисках изучения исключительно «главных, но и отдельных» литературных феноменов, в результате которого история литературы неминуемо оборачивается в «историю генералов» [3, с. 271].

Логично, что забвение часто соразмерно уровню писательского дара – забываются «обыкновенные таланты» (по мнению В. Г. Белинского), но таких авторов нужно возвращать в историю литературы, потому как они – именно та благодатная почва, на которой расцветают гении [4].

В рамках данной тематики отметим семантически схожие формулировки, обращенные к проблеме второстепенных авторов: *«неизвестные авторы», «непризнанные писатели», «писатели, оставшиеся в тени», «рано погасшая звезда поэта», «забытые имена», «второстепенные поэты», «писатели второго плана».* Поскольку феномен достаточно сложный, многоликий, потому, вероятно, и существует столько разных обозначений, позволяющих конкретизировать тему, указать на предметную область исследования.

Актуальность вопроса подтверждается интересом не только в научном поле, но и в публицистике. В 1926 году редакцией аналитической швейцарской газеты «*Neue Zürcher Zeitung»* была разработана анкета, по результатам которой вышла в свет статья редактора газеты Германа Гессе «Непризнанные писатели». Сами писатели часто обращались к этой проблеме. В. Г. Белинский писал на страницах журнала «Московский наблюдатель» в 1838–1839 гг. о произведениях писателей «второго ряда» конца 30-х годов, никогда прежде не становившихся предметом отдельного рассмотрения. Н. А. Некрасов в своей книге «Критика. Публицистика» (1847–1869) посвятил несколько томов этой проблеме в разделе «Русские второстепенные поэты». Заметим, что первое прочтение Ф. И. Тютчева, который долгое время не получал должного отклика на свое творчество, было сделано Н. А. Некрасовым в статье «Русские второстепенные поэты» [5, с. 3].

Безусловно, так или иначе в работах ученых упоминались имена авторов, которые не попали на литературный Олимп несмотря на свой талант, но, как было отмечено выше,

тому предшествовали разного рода причины, и в каждой эпохе эти причины обосновывались особыми внешними и внутренними факторами, которые не являлись подтверждением непрофессионализма того или иного автора.

В настоящей работе речь идет об авторе «второго плана», одна из причин забвения или неузнаваемости которого связана с его ранним уходом из жизни. Короткий срок деятельности оказался недостаточным для масштабной славы Хамзата Зейтуновича Батырбекова.

Х. Батырбеков родился в 1956 году в Казахстане. В 1957 году вместе со своим народом вернулся на родину. После окончания школы в 1979 году поступил на Высшие литературные курсы при институте им. М. Горького. В столице молодой поэт нашел признание среди коллег, был замечен выдающимся советским актером, литературоведом Е. Лебедевым. В 1984 году, окончив учебу, вернулся в родные края и начал публиковаться на страницах периодической печати.

В 1991 году вышла первая и последняя прижизненная книга стихов «Мигидау» («Лукошко для зерна, которое вешали на шею»). Сборник является своеобразным итогом многолетних творческих поисков; в него включены ранее опубликованные произведения и стихи, написанные в последние годы жизни поэта.

Обращает на себя внимание оригинальность заглавия сборника, отражающая национальную специфику балкарской культуры. Использование заглавия-лакуны свидетельствует об эрудиции и глубоких знаниях родного языка, а также о стремлении автора познакомить иноязычного читателя с элементами своей культуры. Заглавие как образно-символический центр имеет широкую трактовку и может отсылать как к фольклорному источнику, так и к традиционному литературному образу. Если рассматривать символ «*мигидау*» («лукошко») в отрыве от *зерна/семян*, то он означает не только предмет, используемый в быту, но и спутника героя в дороге. Если предположить, что поэт подразумевает под этим пустую емкость, то целесообразно полагать, что герой образно собирает и «наполняет» себя определенным опытом, и его книга демонстрирует то, чем он наполнил свое «лукошко».

Другая версия основывается на символике зерна, которая в фольклоре опирается на цикличную календарно-аграрную мифологию с идеей перерождения, взаимосвязанности смерти и рождения. Полагаем, что именно данная концепция переосмыслена балкарским поэтом не только в аспекте умирания и воскрешения *зерна*, но и в аспекте времени, дара творчества, духовного роста, служения истине. Семена символизируют слово, мысль или идею, которые необходимо «посеять» и «взрастить». Тезис подтверждается созданием ассоциативных рядов в тексте, связанных с заданным в заголовке образом цикличности жизни и смерти. Переосмысливая фундаментальные вопросы бытия, поэт нацелен на поиски качественно новых форм художественного освоения мира, что способствует обновлению тематической и образной систем карачаево-балкарской лирики.

В творчестве Хамзата Батырбекова находит свое выражение система мотивов и образов, с одной стороны, связывающая поэта с философской лирикой, восходящей к художественному опыту поэтов-предшественников – К. Мечиева, К. Кулиева, К. Отарова, И. Бабаева и др., а с другой – характеризующая его индивидуальное мировидение. Философским содержанием наполнены стихотворения «Орамла» («Улицы»), Жангызма бюгюн мен…» («Сегодня я одинок…»), «Гюнях да…» («И грех…»), «Адамны жашауу…» («Жизнь человека…»), «Факъыра» («Бедняк»), «Къалайды жашауунг…» («Как твоя жизнь…») (Перевод здесь и далее – *Р. К*).

В произведениях ощутимо проступают свежесть и новизна восприятия; автор экспериментировал и отходил от знакомых формулировок, клише, привычных сюжетных ходов, искал оригинальные метафоры, необычный ритм, рисунок, которые не ломали традиционные формы, а демонстрировали новый угол зрения. Центральными стилистическими категориями выступают постмодернистская чувствительность, плюрализм смыслов (либо отказ от смыслов), экзистенциальная тревога. В произведении «В час беспредельной тоски и отчаяния» (из цикла «Портрет Бодлера») текст становится пространством для сложных размышлений о реальности и смысле бытия, пропитанных трагическим мироощущением:

В час беспредельной тоски и отчаянья
Издали света не шлет мне Земля;
Гром из тех дней не нарушит молчания,
Радуга прошлого – гостья случайная –
Не забредает уже никогда…

Ты лишь, Земля, тянешь горькими думами,
Вечный мотив, заунывно звеня.
Чувствую: нервы становятся струнами
Скрипки твоей! Я ночами безлунными
Слушаю, как ты играешь – меня [6, с. 120].
(Перевод Г. Яропольского).

Ноты одиночества и отчуждения красной нитью обвивают все поэтическое пространство, создавая архетипический мотив жизни и смерти, раскрываемый через метафорические образы дороги/пути. К примеру, в произведении «Я иду по своим следам…» представлен образ героя, заблудившегося в лабиринтах собственного сознания и тщетно пытающегося обрести смысл существования:

Я иду по своим следам.
Извиваясь, как след змеи,
Они делают круг – а там
Снова стынут следы мои [6, с. 122].
(Перевод Г. Яропольского)

Лирические произведения наполнены глубокими философскими размышлениями, раскрывающими тонкую душевную организацию поэта:

Некди бюгюн манга
былай аман?
Тели жюрегим да –
нек –
ачып турады?
Кимди терс?
Мен? –
Огъесе,
Заман?
Башымы уа
жаз желчик
сылайды... [7, с. 55].

Почему сегодня мне
так плохо?
Глупое сердце тоже –
почему –
болит все время?
Кто не прав?
Я? –
Или
Время?
А голову мою
весенний ветерок ласкает…

Индивидуально-ценностная картина мира развивается не из узнаваемых литературных аллюзий, а из реальных переживаний героя, чувствования отдельных аспектов бытия.

Экзистенциальная амбивалентность художественного сознания ярко проявляется в стихотворении «Адамла арасында…» («На виду у людей…»):

Бирде
къууанч,
бирде
бушуу
Кёре,
Бирде
солуй,
бирде
ишде
Кюе [7, с. 18].
Иногда
радость,
иногда
беду
Переживая,
Иногда
отдыхая,
иногда
на работе
Сгорая.

Философская тематика развивается вокруг концептуализации времени. Сквозь этапы жизни красной нитью проходит мысль о динамичности, быстротечности бытия и осознании человеческого бессилия перед временем: «Озадыла жылларым, / Учадыла бир кюнлей» («Проходят годы мои, / Пролетают, словно один день»); «Жаным бла кюнле / Учадыла, / Мени да ушагъан жерим / Барды алагъа» («Душа и дни улетают, / И я чем-то похож на них»). Размышления о времени тесно переплетены с такими понятиями, как *судьба, старость, смерть*: «Къартлыгъым – кёзге кёрюнмеген / Узакъса. / Жашлыгъым – терекден юзюлген / Чапракъса. / Жашауум – тот басхан / Эски кирит. / Къадарым – жабагъылы къара / Ит» [7, с. 42] («Старость моя – не видать тебя / Далека. / Молодость – сорвавшийся с дерева / Лист. / Жизнь моя – заржавевший / Старый замок. / Судьба моя – лохматый (облезлый) черный пес»).

Такие образные выражения, как «учгъан чыпчыкъ» – «летающая птица», «учгъан жулдуз» – «летящая звезда», заключают в себе глубокие философские размышления, онтологический смысл, оценку пережитого, грустные воспоминания и осознание невозврата в прошлое, чувство неудовлетворенности и нереализованности своего таланта.

Конец XX века ознаменован новым мировосприятием в художественном сознании, которое диктует и поиск новых грамматических и стилистических форм. Оригинальным содержанием наполнены индивидуально-авторские интерпретации времени. Для достижения этой цели поэт использует гастрометафоры: «Ахыр къабынча, татыулу, ачы» – «как последний кусок (еды), вкусный, горький», «жашау менден тойгъанча» – «словно жизнь насытилась мной», в которых просматриваются танатологические мотивы, поскольку пища или процесс, связанный с поеданием еды, сакрален. В конкретном примере автор проводит аналогии с едой, чтобы раскрыть смысл близости антонимов жизнь – смерть. В классическом понимании еда в литературе является неким напоминанием о жизни, об удовольствии и о скоротечности этого удовольствия. Поэт в точности использует данную формулу для передачи основной идеи: чем слаще, чем вкуснее, тем трагичнее расставаться. Употребление понятий с гастрономической семантикой в поэзии Х. Батырбекова связано с их миромоделирующей и аксиологической функциями.

Дуальность поэтического сознания проявляется в репрезентации различных вариаций взаимоотношений между женщиной и мужчиной. В произведениях «Ромео бла Джульетта»

(«Ромео и Джульетта»), «Мен бла сен» («Я и ты») развивается мотив служения любви и одновременно ее обесценивания.

Оригинальными образами насыщены произведения о малой родине. Здесь также автор демонстрирует новаторские разработки в создании метафор о родине. Неожиданно сравнение села с невестой, которая находится в комнате (либо за ширмой) для новобрачных: «Туугъан элим, отоуда омакъ келинчикча» («Родное село, ты как нарядная невестушка за шелковой ширмой (в комнате для новобрачных)»). Автор наряжает и украшает «невесту» традиционным национальным одеянием: «Юс кийиминг – ташла бла кёк кырдыкладан, / Башынгда гыранчанг – чачакъ булутладан» [7, с. 11] («Верхняя одежда – из камней и синей травы, / На голове платок – бахрома из облаков»). Прием персонификации позволяет создать не просто описательный, а «живой» образ родного села, которое автоматически перенимает внешние и внутренние качества молодой невесты (непорочность, чистота, красота). Употребление уменьшительно-ласкательной формы «келинчик» («невестушка») указывает на особое отношение автора к данному пространству. Здесь речь идет не о простом сравнении, а о проецировании целого образа, на который наслаиваются второстепенные, раскрывающие его смысл детали. Метафоры, сравнения, наделенные определенными эмоциями и качествами, формируют новые смысловые цепочки и выступают маркерами индивидуального стиля поэта.

Автор также пробует себя в традиционном для балкарской литературы жанре послания. В сборнике представлены стихи-посвящения: «Кязим», «М. Кучуков», «Е. Лебедевге», «В. Высоцкийге», «Бичиланы Хусейге» («Бичиеву Хусею»). Особым трепетом наполнены стихи, посвященные матери («Анам» – «Мама») и отцу («Атам» – «Отец»).

В 2017 году друзья и коллеги по перу составили и выпустили в свет книгу «Азатма мен» («Я свободен»), в которую вошли стихотворения Х. Батырбекова. Дополняют книгу воспоминания друзей о поэте и стихотворные ему посвящения М. Ольмезова, Е. Лебедева, А. Кардаша, Г. Яропольского [8].

Подводя итог, важно отметить, что наряду с классиками карачаево-балкарской литературы одновременно работали и «малоизвестные» поэты, такие как Х. Батырбеков, чей малый вклад, если рассматривать его в контексте перспектив развития национальной художественной системы, не был напрасным. Именно в совокупности данные усилия объективно способствовали развитию лирического жанра в балкарской поэзии.

В тот переходный период, когда определялись дальнейшая судьба и перспективы развития современной карачаево-балкарской литературы, Х. Батырбеков самобытно переосмысливает традиционные константы, вытесняя созерцательную архитектонику философским содержанием; вариативное толкование жизненных событий и наполнение смысла экзистенциальными интенциями фиксируют хаотичность мира, намеренно подчеркивают диалогическую (циклическую) природу бытия. Обращенность к прошлому опыту способствовала формированию поэтической индивидуальности. Психологизм и усиление философского начала стали определяющими чертами его лирики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жирмунский В. М.* Байрон и Пушкин // В сб. «Пушкин и западные литературы». Л.: Наука, 1978. 424 с.

2. *Лотман Ю. М.* Поэзия 1790–1810-х годов // В сб. «Поэты 1790–1810-х годов». Л.: Советский писатель, 1971. 921 с.

3. *Тынянов Ю. Н.* О литературной эволюции // В сб. Тынянов Ю. Н. Поэтика. История литературы. Кино. М.: Наука, 1977. С. 270–281.

4. Забытые писатели // Сборник научных статей. 2023. Выпуск 3. Санкт-Петербург: Собственное издательство, 288 с.

5. *Некрасов Н. А.* Русские второстепенные поэты. Собр. соч.: в 8 т. М.: Художественная литература, 1967. Т. 7. 487 с.

6. *Ольмезов М. М.* Хамзат Батырбеков // Литературная Кабардино-Балкария. № 5. 2017. С. 120–126.

7. *Батырбеков Х. З.* Мигидау. Стихи на балкарском языке. Нальчик: Эльбрус, 1991. 80 с.

8. *Ольмезов М. М.* Азатма мен (Я свободен). Стихотворения. Переводы. Воспоминания и посвящения Х. З. Батырбекову. 2017.

REFERENCES

1. Zhirmunsky V.M. Byron and Pushkin. *V sb. «Pushkin i zapadnye literatury»* [In collection "Pushkin and Western Literatures"]. Leningrad: Nauka, 1978. 424 p. (In Russian)

2. Lotman Yu.M. Poetry of the 1790s–1810s. *V sb.* «*Poety 1790–1810-h godov»* [In collection "Poets of the 1790s–1810s"]. Leningrad: Sovetskiy pisatel', 1971. 920 p. (In Russian)

3. Tynyanov Yu.N. On literary evolution. *V sb. Tynyanov YU. N. Poetika. Istoriya literatury. Kino* [*In collection "Tynyanov Yu.N. Poetics. History of Literature. Cinema"*]. Moscow: Nauka, 1977. Pp. 270–281. (In Russian)

4. *Zabytye pisateli. Sbornik nauchnyh statey* [Forgotten writers. Collection of scientific articles]. No. 3. 2023. St. Petersburg: Sobstvennoe izdatel'stvo, 288 p. (In Russian)

5. Nekrasov H.A. *Russkie vtorostepennye poety* [Russian minor poets]. Collected works: In 8 volumes. Moscow: Khudozhestvennaya literatura, 1967. Vol. 7. 487 p.

6. Olmezov M.M. *Hamzat Batyrbekov* [Khamzat Batyrbekov]. *Literary Kabardino-Balkaria*. No. 5, 2017. Pp. 120–126. (In Russian)

7. Batyrbekov Kh.Z. Migidau. *Stihi na balkarskom yazyke* [Poems in the Balkar Language]. Nalchik: Elbrus, 1991. 80 p. (In Balkar)

8. Olmezov M.M. Azatma men [I am free]. *Stihotvoreniya. Perevody. Vospominaniya i posvyashcheniya H.Z. Batyrbekovu* [Poems. Translations. Memories and dedications to Kh.Z. Batyrbekov]. 2017. (In Balkar)

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института гуманитарных исследований – филиала КБНЦ РАН, тема «Трансформация художественного сознания и развитие адыгской (адыгейской, кабардинской, черкесской, черкесского зарубежья) и карачаево-балкарской литератур XX–XXI вв. В общероссийском поликультурном пространстве» (№ 1021061009450-9-6.2.6).

Funding. This work was carried out within the framework of the state assignment for the Institute of Humanitarian Researches – branch of the KBNC RAS of research "Transformation of Artistic Consciousness and the Development of Adyghe (Adygeyan, Kabardian, Circassian, and Diaspora Circassian) and Karachay-Balkar Literatures of the 20th–21st Centuries in the All-Russian Multicultural Space" (No. 1021061009450-9-6.2.6).

Информация об авторе

Керимова Раузат Абдуллаховна, канд. фил. наук, стар. науч. сотр. сектора карачаево-балкарской литературы, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

K.roza07@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1964-4511, SPIN-код: 1548-5430

Information about the author

Rauzat A. Kerimova, Candidate of Philological Sciences, Senior Researcher, Sector of Karachay-Balkar Literature, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

K.roza07@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1964-4511, SPIN-code: 1548-5430

ФИЛОЛОГИЯ

УДК 811. 512. 142 Научная статья
https://doi.org/10.35330/1991-6639-2026-28-5-511-519
ZQXECI

Концепт ахча «деньги» в современном карачаево-балкарском языке

М. З. Улаков, Л. Х. Махиева, Б. А. Мусуков

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению концепта **ахча** «деньги». В настоящее время в карачаево-балкарском языкознании успешно развивается такое направление, как когнитивная лингвистика, где главной категорией является понятие «концепт». Вместе с тем в современном карачаево-балкарском языке, как и в других тюркских языках, не все концепты подверглись научному комплексному изучению.

Актуальность этой проблемы определяется не только неизученностью концепта **ахча** «деньги», но и научно-практической необходимостью рассмотрения его как универсального кода карачаево-балкарской языковой картины мира.

Цель работы – комплексное изучение базового культурного концепта **ахча** «деньги», выявление основных и наиболее существенных признаков, связанных с функциями денег и определением набора терминологических единиц, актуализирующих данный концепт. В статье на материале паремиологии и фразеологии исследуемого языка рассматриваются основные этноязыковые, этнокультурные и функциональные особенности концепта.

Методы. В работе применены различные методы исследования: описательный, метод сплошной выборки, метод когнитивного анализа. Материалом для исследования послужили слова (термины): лингвистики, лингвокультурологии, экономики, юриспруденции, финансового права, отобранные путем сплошной выборки с учетом сферы их фиксации и функционирования. В ходе исследования концепта **ахча** «деньги» были использованы словарные дефиниции, лексикографические источники.

Практическая ценность работы заключается в возможности применения ее результатов в лингвокультурологии и лексикографии исследуемого языка. Материал, представленный в приложении статьи, может быть использован в процессе составления толковых, учебных и переводных словарей карачаево-балкарского языка.

Ключевые слова: концепт, языковая картина мира, этнос, лингвокультурный феномен, деньги, финансовый эквивалент, культурный код, экономические слова (термины), трансформация

Поступила 21.08.2026, одобрена после рецензирования 04.09.2026, принята к публикации 07.10.2026

Для цитирования. Улаков М. З., Махиева Л. Х., Мусуков Б. А. Концепт ахча «деньги» в современном карачаево-балкарском языке // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2026. Т. 28. № 5. С. 511–519. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-511-519

© Улаков М. З., Махиева Л. Х., Мусуков Б. А., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Original article

Concept of “akhcha” (money) in modern Karachay-Balkar language

M.Z. Ulakov, L.Kh. Makhieva, B.A. Musukov

Institute of Humanitarian Researches –
branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. This research focuses on the concept of "akhcha" (money). At present, cognitive linguistics is developing successfully in Karachay-Balkar studies, with the "concept" serving as its core category. Nevertheless, in contemporary Karachay-Balkar, as well as in other Turkic languages, certain concepts have yet to be subjected to a comprehensive scientific analysis.

Relevance. The relevance of this problem is determined not only by the fact that the concept of "akhcha" (money) remains unstudied, but also by the scientific and practical necessity of considering it as a universal code of the Karachay-Balkar linguistic picture of the world.

Aim. The study aims to comprehensively analyze the basic cultural concept of "akhcha" (money), identify its key features related to the functions of money, and determine the set of terminological units that actualize this concept. Drawing on the paremiological and phraseological material of the target language, the paper analyzes the key ethnolinguistic, ethnocultural, and functional characteristics of the concept.

Methods. Various research methods were applied in the work: descriptive, continuous sampling, and cognitive analysis. The research material includes words (terms) from linguistics, linguoculturology, economics, jurisprudence, and financial law, selected through continuous sampling, taking into account the spheres of their recording and functioning. In the course of studying the concept of "akhcha" (money), dictionary definitions and lexicographical sources were utilized.

The practical significance of this work lies in the potential application of its findings in linguocultural studies and lexicography of the target language. The material presented in the appendix of the article can be used in the process of compiling explanatory, educational, and translational dictionaries of the Karachay-Balkar language.

Keywords: concept, linguistic worldview, ethnicity, linguacultural phenomenon, money, financial equivalent, cultural code, economic words (terms), transformation

Submitted 21.08.2026, approved after reviewing 04.09.2026, accepted for publication 07.10.2026

For citation. Ulakov M.Z., Makhieva L.Kh., Musukov B.A. Concept of "akhcha" (money) in modern Karachay-Balkar language. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2026. Vol. 28. No. 5. Pp. 511–519. DOI: 10.35330/1991-6639-2026-28-5-511-519

Введение

Язык и культура тесно связаны между собой и напрямую зависят от национальных традиций и национального характера этноса. Концепт **ахча** «деньги» служит одним из базовых понятий культурного кода народа. Отражает многовековой опыт, сложившиеся финансовый эквивалент и формы материальных ценностей. Как пишет Е. Д. Карпунина, «деньги могут играть различные роли в экономической и социальной сферах жизни человека и занимают одну из ключевых позиций в системе национальных ценностей» [1, с. 29].

В карачаево-балкарском языке концепт **ахча** «деньги» представляет собой многоаспектное языковое и культурное явление, отражающее как универсальные экономические,

© Ulakov M.Z., Makhieva L.Kh., Musukov B.A., 2026

Content is available under license Creative Commons Attribution 4.0 License

финансовые, лингвистические функции, так и специфические традиционно культурные представления народа. Входит в общественно-политическую и бытовую лексику, выступая неотъемлемой частью языковой картины мира балкарцев и карачаевцев. Словарная лексема ахча *«деньги»* имеет общетюркские корни, встречаясь во многих тюркских языках в обозначении денег. Базовый концепт **ахча** *«деньги»* восходит к тюркскому обозначению серебряных монет ак *«белый»* + *ча* (аффикс), что отражает связь с понятием чистоты и материальной ценности.

В карачаево-балкарской лингвокультуре концепт **ахча** *«деньги»* представляет собой лингвокультурный феномен, обозначающий къырал ахча «*государственные финансы»*, байлыкъ «*богатства (имущество)*». В исследуемом языке **ахча** «деньги» по своей форме могут быть особым товаром, ценной бумагой, знаком и мерой стоимости, различными благами и ценностями, записями по счетам, функционируют как средство обмена и накопления и др. В современной культуре балкарцев и карачаевцев данный концепт приобретает некоторые дополнительные оттенки, связанные с финансовыми функциями: ёнкюч ахча *«кредит»,* ахча салыу *«вклад»,* бир болжалгъа салыннган ахча «*срочный вклад»*; инвестиционными услугами: активле *«активы»,* акцияла *«акции»,* облигацияла «облигации» и др.; экономикой: алышыу «*обмен»,* сатыу-алыу «*купля – продажа»,* къагъыт ахчаны багъасыны тюшюую «*инфляция»* и др.

Кроме того, независимо от формы денежных средств финансовые активы страны относятся к движимому имуществу и являются свободными в обороте. В экономике они могут отчуждаться, например, путем купли-продажи, дарения и др., а также как средство сбережения позволяют накапливать богатство на будущее.

Исходя из этого деньги как всеобщий эквивалент состоят из наличных денег, куда входят банкноты (наличные бумажные купюры с фиксированным номиналом) и разменные монеты (мелкие денежные знаки). Они используются для сдачи и точных расчетов. Общая денежная масса делится на две формы: наличную и безналичную.

На современном этапе развития литературного карачаево-балкарского языка в условиях стремительных экономических и финансовых изменений лексика, связанная с концептом **ахча** «деньги», активно развивается и пополняется новыми словами (терминами). Фиксация данных слов позволит представить, какое значение они имеют в составе лексического фонда исследуемого языка.

Данный концепт изучается различными отраслями науки. Например, экономисты рассматривают **ахча** «деньги» как компонент экономико-финансовой системы.

В «Толковом словаре карачаево-балкарского языка» представлены следующие значения лексической единицы **ахча** «деньги»:

Ахча *ат.* 1. Деньги/ Сатыу-алыуда хар нени да багъасына ёлчеулюк этиучю, металлдан неда къагъытдан ишленнген сурат, белги.

2. В позиции определения: денежный / Ахчаны билдирген, ахча бла белгилениучю. (2, с. 247–248)

С концептом **ахча** «деньги» связаны и экономические термины, такие как: ёнкюч «*долг»*, тыш къыралны ахчасы *«валюта»*, узакъ заманнга созулгъан ёнкюч къырал ахча *«ипотека»,* ишсизлик «безработица», къайтарылмагъан къырал ахча бла болушлукъ « *субсидия».* Финансовые слова (термины): ёнкюч ахча *«кредит»,* миллиардланы юслеринден *«о миллиардах»*, ахча къытлыкъ *«дефицит бюджета»,* жасакъ *«налог» и др.*

В рамках карачаево-балкарской картины мира данный концепт имеет исторические, экономические и ментальные характеристики.

Исторически появление денег связывают «именно со становлением меновых отношений, возникших с появлением личной свободы и движимого имущества и выражающихся в дарении, наследовании и т.д.» [3, с. 170].

Однако, как отмечает И. В. Ерофеева, «деньги в мировой культуре не просто материальный эквивалент, они создают концепт, аккумулирующий представления об истинных и переходящих ценностях бытия» [4, с. 23].

Проникновение денег на территорию Карачая и Балкарии связано с их включением в число стран, которым покровительствовала Османская империя, что в свою очередь подтверждается документальными материалами и фольклорными текстами. «С утерей данных связей монеты стали использоваться как украшение» [5, с. 167].

О торговых связях Балкарии и Карачая с Османской империей говорят турецкие монеты первой половины XVIII в., которые были обнаружены во время раскопок, проводившихся близ балкарского селения Ташлы-Тала. «Среди предметов, предназначенных для умершей на «том свете», имелся нарядный кисет из парчовой ткани, в котором и оказались 14 серебряных турецких монет (пары), отчеканенных в период с 1703 по 1730 гг. Все без исключения монеты были пробиты и нанизаны на общую нить, приобретая тем самым характер подвесок» [6, с. 67].

Все это показывает, что концепт **ахча** «деньги» имеет древнюю историю развития в исследуемом языке.

Известно, что многие банкноты, выпускавшиеся в советское время, полностью вышли из денежного оборота в связи с исчезновением обозначаемых ими понятий и обрели коллекционную ценность. Приведем примеры: так, къагъыт ахчала «денежные купюры»: беш сомлукъ къагъыт ахча (5) *«бумажная купюра номиналом пять (5) рублей»*; жыйырма бла беш сомлукъ къагъыт ахча (25) *«бумажная купюра номиналом двадцать пять (25) рублей»*; бир сомлукъ къагъыт ахча, сом (1) «*бумажная купюра номиналом 1 рубль, в настоящее время используется в виде металлической монеты 1 рубль»*; юч сомлукъ къагъыт ахча (3) «*бумажная купюра номиналом три (3) рубля*» и др.

Обращает на себя внимание и тот факт, что названия денежных единиц в карачаево-балкарской лингвокультуре составляют особые этнокультурно-маркированные компоненты пословиц, поговорок, которые определяют национальную специфику паремий.

«Подобно тому, как старинные монеты являются свидетелями истории и могут рассказать о прошлом, названия денежных единиц в пословицах дают важные сведения, которые добавляют исследователю дополнительную лингвокультурологическую компетенцию» [7, с. 116].

Концепт **ахча** «деньги» активно функционирует в пословично-поговорочном дискурсе, а также во фразеологии современного карачаево-балкарского языка.

Пословицы, поговорки отражают взгляд балкарцев и карачаевцев на богатство, честность, жадность и труд. Ср.: къолунгда болмасын, башынгда болсун (посл.) «*не будь богатым, а будь умным»*; *ахчадан намыс багъылы (посл.) «честь дороже денег»*; ахчагъамюлкге жетсе, адамлыкъ туура болур (пог.) *«когда дело доходит до денег и имущества, достоинство каждого становится явным»* и др.

В карачаево-балкарской паремиологии существуют пословицы, в которых говорится о том, что деньги любят счет: ахча санаудан тоймаз (посл.) *«деньги любят счет»*; ахча саналгъанлыкъгьа кёбеймез (посл.) «*деньги не увеличиваются под счетом» (букв. сколько ни считай, денег больше не будет)*; ахчаны санап ал да, санап бер (пог.) *«деньги бери отсчитав и отдавай отсчитав (букв. денежки любят счет).*

В исследуемом языке некоторые паремии с концептом **ахча** «деньги» маркированы отрицательно: ахча акъылдан ажашдырыр «*деньги сводят с ума»*; тюмени болгъаннга – тюмен да сомду «*богатому даже червонец – рубль»*.

В них порицаются такие качества, как: неэкономичность в расходах, лень, нечестность и др.: капекни тергемеген, капекге тенг болмаз «*кто не считает копейки, тот не стоит и копейки»*; капекни тергемеген, сом жыймаз «*кто не считает копейки, тот и рубля не соберет»*; борч къууана барыр да, жылай къайтыр *букв.* «*долг при взятии радуется, а при возврате плачет»*.

В традиционной культуре балкарцев деньги соотносятся и со здоровьем: саулукъну сакъламасанг, ахчагъа сатып алмазса «*здоровье надо беречь, его за деньги не купишь»* и др.

Отношение человека к ценности ахча «денег» позволяет распознать, каков он (алчный, скупой, ненасытный, щедрый, великодушный, растратчик, транжира и др.). Ср.: жут адамны ахчасын кюбюрюнде кюе ашар *«деньги алчного человека в сундуке моль поест»*; къызгъанчны кёзюн ал да, орнуна сом сал (посл.) *«скупой за рубль (свой) глаз отдаст»* и др.

Встречаются поговорки, пословицы, где деньги сравниваются с умом, богатством, порядочностью и др. Разбогатев, не следует воображать, что это случилось потому, что ты умнее или лучше окружающих. Ср.: акъылны ахчагъа сатып алмазса «*ум за деньги не купишь»*; телиге байлыкъ тюшсе, кесин акъылман сунар *«если глупцу привалит богатство, он мнит себя мудрецом»;* акъылны байлыкъныча ахчагъа сатып алмазса *«ум за деньги, как богатство, не купишь».*

Фразеологические единицы (ФЕ) исследуемого языка представляют собой яркие фрагменты языковой картины мира. «Занимая промежуточное положение между пословицами и поговорками, фразеологизмы выражают устойчивые лексико-семантические значения» [8, с. 285]. Приведем примеры:

Капекни капекге жалгъаргъа *«собирать по копейке»*; къотур (багъыр) шайгъа тиймейди *«не стоит ломанного гроша»*; къапчыкъгъа (тулукъгъа) сом атханлай «*как рубль в мешке» (букв. как одежда сидит на человеке)*; борчха бергенча «*насыпав или налив через край»;* хуржунунда жел ойнайгьан (ахчасыз болургьа) «*ветер гуляет в кармане (безденежный)»;* ахчаны сууугъа атаргъа *«пустить деньги на ветер»;* ахча бла къысаргъа *«бить рублем»,* ол ахчасын къайры этерге (къуяргъа) билмейди *«у него денег куры не клюют»* и др.

Анализ паремии и фразеологических единиц показывает, что над материальными ценностями доминируют духовные, которые нельзя купить, продать: акъыл *«ум»*, саулукъ *«здоровье»,* тюзлюк «*справедливость»*, тёзюмлюк «терпение» и др.

В них традиционно богатство и деньги осмысливаются как универсальный феномен, то есть выражающие моральные и нравственные ценности, где предпочтение отдается человеческим качествам, духовным ориентирам, знаниям и труду.

Заключение

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что концепт **ахча** «деньги» в карачаево-балкарской лингвокультуре служит одним из ключевых понятий, являясь не просто конкретным элементом языковой культуры мира, но также и концептом, отражающим национальную нравственную культуру этноса в целом.

Анализ фактического материала показывает, что концепт **ахча** «деньги» включает в себя слова (термины), принадлежащие разным терминосистемам современного карачаево-балкарского языка. Кроме того, выступая устойчивой ментальной структурой общества, отражает финансовые изменения. Язык пополняется новыми словами (терминами), существующие лексемы получают новые значения. Они трансформируются в зависимости от потребностей экономического развития, свидетельствующих об изменениях и адаптации к современным условиям функционирования. При этом заметим, что учитываются требования финансовой грамотности, а также переход к устойчивому экономическому инновационному развитию государства. Действующие правовые нормы, установленные правила регулируют использование денежного обращения (оборота) и образуют основу денежной системы страны.

В целом исследование показало, что материально-денежные отношения в исследуемом языке непосредственно связаны с бытом и культурой народа. Кроме того, язык, традиции, историческая память формируют особый финансовый код в карачаево-балкарской лингвокультурологии. Слова (термины), связанные с концептом **ахча** «деньги», еще до конца не устоялись, многие вопросы требуют дальнейшего изучения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Слова (термины), связанные с концептом ахча «деньги»:

Аванс ахча – авансовые деньги
Апасылыкъ (20-капеклик ууакъ ахча) – двадцатикопеечная монета
Аслам болжалгъа берилген ахча – долгосрочная денежная компенсация
Ахча – деньги
Ахча-бохча – деньги, деньжата, финансы
Ахча асыраргьа – отложить деньги
Ахчаны ёлчеси – денежная единица
Ахча бериу – финансирование
Ахча бёлюу – ассигнование, выделение средств
Ахча борч – денежный долг
Ахча борчлукъ къагьыт – денежная долговая расписка
Ахчаны къайтханы (ууагъы) – сдача денег
Ахъчаны къалгъанын счет бла телеу – доплата денег по счету
Ахча къоранч – расход денег
Ахчаны процент ёлчеми – процентная ставка денег
Ахча реформада тюрлениу – денежная реформа
Ахча салыу – вклад денег
Ахча сакълаучу аманат касса – сберегательная касса
Ахча салыучу китапчыкъ – сберегательная книжка
Ахча смета – денежная смета
Банкка ахчаны процентге салыу – депозит
Беш жюз сом – пятьсот рублей
Беш тюмен – пятьдесят рублей
Бир жыллыкъ ахча хайыр – годовой денежный доход
Бир капек – копейка
Бир кюнге тюшген ахча – дневная выручка
Бир къауум къыралллада жюрюген ахча – доллар
Бир миллиард ахча – один миллиард денег
Бир минг сом – тысяча рублей
Бир талай ахча – множество денег
Бир апасы (жыйырма капек) – двадцать копеек
Болушлукъ ахча – подъемные деньги
Борчлу, борчу болгъан – дебитор
Борч тёлеу – погашение долга
Бюджет ахчаны аз этиу – уменьшение бюджетных денежных средств
Ёнкюч ахча – кредит
Ёнкюч ахчаны болжалдан алгъа тёлеу – досрочная выплата кредита
Жыйылгъан ахча – сбережения
Жюз сом – сто рублей
Капек – копейка
Капек-шай – гроши, мелочь
Капеклик – стоимостью в одну копейку
Капексиз – без копейки, без денег
Къагьыт ахча – бумажные деньги

Къара сом – четвертак; двадцать пять копеек
Къошакъ ахча тёлеу – дополнительная плата денег
Къагъыт ахчаны багъасыны тюшюую – инфляция
Къыралдан ахча болушлукъ – дотация
Миллион сом – миллион рублей
Минг сом – тысяча рублей (штука)
Онбеш тюмен – сто пятьдесят рублей
Он тюмен – сто рублей
Сатыу-алыу декларация – торговая декларация
Сатыу-алыугъа хар кюнден жюрютюлген ахча – розничные деньги
Сом (жюз капекге тенг болгъан ёлчеу) – рубль
Сомла – разменивать купюру на рубли
Сомлукъ ахча – деньги достоинством в один рубль
Сом-шай – гроши, деньги
Сомсуз-шайсыз – безденежный
Тыйылгъан ахча – отчисления
Тыш къырал ахча – валюта
Тыш къырал облигацияла – еврооблигации
Тыш къырал ахча бла байламлы жумушла – валютные операции
Тюмен – десять рублей, десятирублевка, червонец
Тюшген ахча – вырученные деньги
Тюшген хайыр, неда борч жазылгъан счет – дебиторский счет
Узакъ заманнга созулгъан ёнкюч къырал ахча – ипотека
Уллу ахчала – крупные деньги, купюры
Ууакъ ахча – мелкие денежные купюры, разменные монеты
Хар айдан ахча тёлеу – ежемесячный платеж
Шай – пятак (монета), пять копеек
Эки апасы – сорок копеек
Эки тюмен – двадцать рублей
Эки тюмен бла беш сом – двадцать пять рублей
Эки шай – десять копеек

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карпунина Е. Д.* Репрезентация концепта «деньги» во фразеологических единицах финского и эрзянского языков // Финно-угорский мир. 2021 Т. 13. № 1. С. 29–37. DOI: 10.15507/2076-2577.013.2021.01.29-37

2. Кьарачай-малкъар тилни ангылатма сёзлюгю. Ючтомлукь. (Толковый словарь карачаево-балкарского языка. В трех томах.) Т. 1. А- Ж. Нальчик: Эль-Фа, 1996. 1016 с.

3. *Козловская В. А.* Деньги как стратегический ресурс и элемент экономической безопасности государства: Правовой аспект // Вопросы Российской юстиции. 2025. № 40. С. 168–175. EDN: QNMFHM

4. *Ерофеева И. В.* «Деньги» как концепт в современном медиатексте // Известия ВГПУ, 2009. С. 23–27. EDN: LPAXTV

5. Карачаевцы. Балкарцы / отв. ред. М. Д. Каракетов, Х.-М.А. Сабанчиев. М.: Наука, 2014. 815 с.

6. *Виноградов В. Б., Деппуева А. Б.* Старинные монеты – свидетели прошлого. Нальчик: Эльбрус, 1990. 80 с.

7. *Бредис М. А.* Человек и деньги: очерки о пословицах русских и не только. СПб.: Петербургское Востоковедение, 2019. 296 с.

8. *Мусуков Б. А., Махиева Л. Х.* Концепт алтын «золото» в современном карачаево-балкарском языке // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 283–288. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-283-288

REFERENCES

1. Karpunina E.D. Representation of the concept “money” in phraseological units of the Finnish and Erzia languages. *Finno-ugorskii mir* [Finno-Ugric World]. 2021. Vol. 13. No. 1. Pp. 29–37. (In Russian)

2. *K'arachay-malk"ar tilni angylatma sozlyugyu. Yuchtomluk'* [Explanatory dictionary of the Karachay-Balkar Language]. In three volumes. V. 1. A-Zh. Nalchik: El-Fa, 1996. 1016 p. (In Balkar.)

3. Kozlovskaya V.A. Money as a strategic resource and a component of state economic security: the legal aspect. *Voprosy rossijskoj yusticii* [Issues of Russian Justice]. 2025. No. 40. Pp. 168–175. (In Russian)

4. Erofeeva I.V. The concept “money” in the modern media text. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta* [Bulletin of Volgograd State Pedagogical University]. 2009. Pp. 23–27. EDN: LPAXTV. (In Russian)

5. *Karachayevtsy. Balkartsy* [Karachays. Balkars] Eds. M.D. Karaketov, H.-M.A. Sabanchiev. Moscow: Nauka, 2014. 815 p. (In Russian)

6. Vinogradov V.B., Deppueva A.B. *Starinnyye monety – svideteli proshlogo* [Ancient Coins – Witnesses of the Past]. Nalchik: Elbrus, 1990. 80 p. (In Russian)

7. Bredis M.A. *Chelovek i den'gi: ocherki o poslovitsakh russkikh i ne tol'ko* [Man and Money: Essays on Russian and Other Proverbs]. St. Petersburg: Petersburg Oriental Studies, 2019. 296 p. (In Russian)

8. Musukov B.A., Makhieva L.Kh. Concept altyn “gold” in the modern karachay-balkar language. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 283–288. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-283-288. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института гуманитарных исследований – филиала Кабардино-Балкарского научного центра РАН (тема № FMEW-2025-0025).

Funding. This work was carried out within the framework of the State Assignment of the Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Project No. FMEW-2025-0025).

Информация об авторах

Улаков Махти Зейтунович, д-р филол. наук, глав. науч. сотр. сектора карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

maxtti@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5972-8472, SPIN-код: 2697-4930

Махиева Людмила Хамангериевна, канд. филол. наук, доцент, зам. директора по научной работе, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

liudmila.makhiieva@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6186-0395, SPIN-код: 3779-5112

Мусуков Борис Абдулкеримович, д-р филол. наук, зав. сектором карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

bmusukov@bk.ru, ORCID: https://orsid.org/0000-0003-1765-0176, SPIN-код: 8975-4530

Information about the authors

Makhti Z. Ulakov, Doctor of Philological Sciences, Chief Researcher, Karachay-Balkar Language Sector, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

maxtti@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5972-8472, SPIN-code: 2697-4930

Lyudmila Kh. Makhieva, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research, Institute of Humanitarian Research – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

liudmila.makhiieva@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6186-0395, SPIN-code: 3779-5112

Boris A. Musukov, Doctor of Philological Sciences, Head of the Karachay-Balkar Language Sector, Institute of Humanitarian Research – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18, Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

bmusukov@bk.ru, ORCID: https://orsid.org/0000-0003-1765-0176, SPIN-code: 8975-4530

ЮБИЛЯРЫ

Кошкинбаю Назировичу Анахаеву – 70 лет



12 сентября 2026 года исполнилось 70 лет доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки КБР, главному научному сотруднику Института прикладной математики и автоматизации КБНЦ РАН Кошкинбаю Назировичу Анахаеву – признанному ученому в областях теории фильтрации, математической физики, механики, гидротехнических и мелиоративных сооружений, грунтовых плотин, оползней и селевых потоков.

К. Н. Анахаев учился в школах с. Безенги и п. Кашхатау КБР, после окончания получил Похвальную грамоту. В 1972–1977 гг. обучался в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте, получив квалификацию «инженер-гидротехник».

Трудовую деятельность начал (50 лет назад) мастером участка и старшим инженером Минводхоза КБАССР, позже работал на избираемых академических должностях – от ассистента до заведующего кафедрой «Природообустройство» и декана факультета КБГАУ им. В. М. Кокова. В 2010–2017 гг. – заведующий отделом экологических исследований и заместитель директора по селевой проблематике ВГИ Росгидромета, в это же время был назначен членом проблемного совета и научным руководителем планов НИОКР Росгидромета по селевой проблематике.

В аспирантуре ВНИИ «ВОДГЕО» Госстроя СССР (1981–1984) К. Н. Анахаев защитил кандидатскую диссертацию «Методы фильтрационного расчета каменно-земляных плотин», удостоенную Почетной грамоты ВАК СССР «за лучшую диссертацию 1985–1986 гг. по специальности «Гидротехнические сооружения».

Он первым на Северном Кавказе получил ученую степень доктора технических наук по специальности «Гидротехническое и мелиоративное строительство» по итогам защиты диссертации «Совершенствование конструкций, методов расчетного обоснования и проектирования ПФУ грунтовых плотин» (1997, МГУП).

К. Н. Анахаев имеет более 300 научных работ, в том числе 20 опубликованы в академических журналах «Доклады Академии наук», «Доклады РАН. Физика, технические науки», «Известия РАН (МЖГ, МТТ)», 37 патентов и др. Его научные разработки внедрены в учебный процесс вузов: РУДН, НИУ МГСУ, МГУП, НИМИ, КБГАУ. Под научным руководством Кошкинбая Назировича защищены 3 кандидатские диссертации.

В период подготовки Олимпийских игр «Сочи-2014» он руководил научными исследованиями по изучению воздействия селевых потоков на олимпийские объекты и разработке мер по их защите с активным участием в работах оперативного штаба и рабочей группы ГК «Олимпстрой», межведомственной рабочей группы Минприроды РФ, координационного штаба ОАО «Красная Поляна». За научные разработки по прогнозу опасных оползне-селевых потоков и методов защиты от них он получил благодарности ГК «Олимпстрой» (2012, 2013), Памятную медаль XXII Олимпийских игр от министра спорта и Грамоту от Президента РФ В. В. Путина (2017).

К. Н. Анахаев участвовал в экспертизе объектов гидроэнергетического и водохозяйственного строительства по: авариям на Белопорожской ГЭС (2020–2021); проекту

«Куланак ГЭС» (2023, 2025, Киргизия); техническому состоянию Севано-Разданского каскада ГЭС (2024, Армения), что отмечено тремя Благодарностями Торгово-промышленной палаты РФ «СОЮЗЭКСПЕРТИЗА» – за качественно проведенные экспертизы, высокий профессионализм и ответственность.

За трудовые заслуги и достигнутые научные успехи К. Н. Анахаев награжден:

- государственной наградой «Благодарность Президента РФ В.В. Путина» (2017);
- дипломом премии Росгидромета за лучшую НИОКР 2013 года (2014);
- Почетной грамотой руководителя Росгидромета за многолетний добросовестный труд в системе гидрометслужбы и высокие профессиональные успехи (2016);
- нагрудным знаком «Почетный наставник» Минобрнауки РФ (2023).

В 2026 году утвержден экспертом научно-технической сферы Минобрнауки РФ.

К. Н. Анахаев является членом докторского диссертационного совета при НИУ МГСУ (Москва) по специальности 2.1.6 «Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология» (с 2010) и редколлегий трех журналов: «Фундаментальная и прикладная климатология» (г. Москва); «Экология и водное хозяйство» (г. Новочеркасск); «Известия КБГАУ» (г. Нальчик).

К. Н. Анахаев был делегатом 1-го съезда инженеров Юга России (2002, Ростов-на-Дону) и 1-го съезда инженеров России (2003, Москва), на котором выступил с докладом в Кремлевском Дворце съездов.

Уважаемый Кошкинбай Назирович, коллектив Кабардино-Балкарского научного центра РАН поздравляет Вас с 70-летним юбилеем! Желаем крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов на благо российской науки!

ЮБИЛЯРЫ

Виталию Зелимхановичу Мазлоеву – 80 лет



Виталий Зелимханович Мазлоев – доктор экономических наук (1998), профессор (1999), заслуженный деятель науки Российской Федерации (2016), главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства Федерального научного центра аграрной экономики и социального развития сельских территорий.

В. З. Мазлоев – известный ученый-экономист, организатор исследовательских и образовательных учреждений, талантливый педагог в системе высшего и послевузовского профессионального образования. Свою трудовую деятельность начал младшим научным сотрудником во ВНИЭТУСХ, затем был приглашен на работу во Всесоюзную высшую школу управления АПК.

Виталий Зелимханович Мазлоев родился в 1946 г. в г. Таллинне в семье советского офицера. Получил базовое образование на экономическом факультете Горского сельскохозяйственного института. После этого поступил в очную аспирантуру Всероссийского научно-исследовательского института экономики, труда и управления в сельском хозяйстве. Под руководством академика В. А. Тихонова в 1978 году подготовил и успешно защитил кандидатскую диссертацию. Затем был приглашен на работу во Всесоюзную высшую школу управления АПК, где прошел все ступени педагогической работы – от старшего преподавателя, заведующего кафедрой, декана, проректора до ректора школы.

В. З. Мазлоев с 2007 года работал во Всероссийском институте аграрных проблем и информатики им. А. А. Никонова в должности заместителя директора, в настоящее время является главным научным сотрудником Всероссийского научно-исследовательского института организации производства, труда и управления в сельском хозяйстве. Круг его научных исследований достаточно широк – от организации первичных трудовых коллективов до создания крупных интегрированных объединений в народном хозяйстве, включая АПК.

Результаты научных исследований и педагогической деятельности нашли отражение в более чем 150 публикациях общим объемом более 230 п.л. В их числе 18 монографий, учебников и учебных пособий, рекомендованных Минсельхозом РФ для системы агроэкономического образования.

Особого внимания заслуживает монография «Конкурентные стратегии аграрных организаций» (М.: Колос, 2009. 466 с.), которая была удостоена диплома IX Международного салона инноваций и инвестиций, Москва ВВЦ – 2009 г.

В. З. Мазлоев является автором и научным редактором монографии «Мониторинг осуществления Госпрограммы (2008–2009 годы) (М.: Колос, 2010. 440 с.). Проведенный авторским коллективом мониторинг явился основой для подготовки ежегодного Национального доклада и разработки Госпрограммы на 2013–2020 гг.

В 2014 году под редакцией и при участии профессора была подготовлена монография «Национальная экономика: обеспечение продовольственной безопасности в условиях интеграции и глобализации» (М.: ИНФРА-М, 2014. 240 с.), награжденная золотой медалью ВДНХ.

Большой интерес представляет подготовленная В. З. Мазлоевым монография «Современные проблемы развития экономического механизма аграрного сектора» (Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2018. 258 с.), основным замыслом которой явилось исследование экономического механизма в его волатильности; даются научное понятие и морфологическое описание экономического механизма; формируется понятийный аппарат, использование которого определяет первичный характер экономического интереса в его трансформации; показана ретроспектива создания и функционирования экономического механизма посредством выделения стадий кумулятивности, обусловливающей зарождение его элементов, и генерирования, формирующего экономический механизм в современном виде, доказана его изменчивость.

В. З. Мазлоев успешно преподает актуальные курсы в системах высшего и дополнительного образования. Учебник «Управление в АПК», одним из основных авторов которого он является, рекомендован Минсельхозом РФ в качестве базового для системы высшего агроэкономического образования России.

Он достойный преемник и руководитель научной школы, основанной академиком В. А. Тихоновым. Под руководством В. З. Мазлоева защищены 36 кандидатских и 13 докторских диссертаций, среди учеников, защитивших диссертации, 28 из Северо-Кавказского региона, в том числе 7 из Кабардино-Балкарии. Имеет звание «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

В. З. Мазлоев работал в экспертном совете Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки РФ по отраслевой и региональной экономике; он член диссертационного совета Всероссийского НИИ экономики сельского хозяйства и входит в состав редакционных коллегий журналов «Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий», «Экономика, труд и управление в сельском хозяйстве», «Аграрный вестник Урала», «Вестник АПК Ставрополья».

В. З. Мазлоев обладает широтой научного кругозора, способностью к активной инновационной деятельности, его научный и организационный потенциал позволяет вести многогранную исследовательскую, педагогическую и организационную работу.

Уважаемый Виталий Зелимханович, коллектив Кабардино-Балкарского научного центра РАН, друзья и коллеги поздравляют Вас с юбилеем, от всей души желают дальнейших творческих успехов в научной и педагогической деятельности и крепкого здоровья!

ЮБИЛЯРЫ

Анатолию Ивановичу Супрунову – 75 лет



Анатолий Иванович Супрунов является ведущим ученым в области селекции гибридов кукурузы. Область его научных исследований связана с созданием высокоурожайных гибридов кукурузы различных групп спелости и применения.

А. И. Супруновым осуществлены и практически реализованы принципы создания нового исходного материала методом простого рекуррентного отбора на раннее цветение в позднеспелых синтетических популяциях кукурузы. Данные изыскания, несомненно, можно рассматривать как один из приемов по расширению ее генетического разнообразия.

По результатам проведенных исследований была реализована селекционная программа по созданию и внедрению в производство новых ультраранних спелых и ранних спелых гибридов кукурузы, издана монография «Периодический отбор в популяциях кукурузы».

Довольно широкую известность среди селекционеров по кукурузе в нашей стране получили исследования А. И. Супрунова по изучению эндоспермовых мутаций Sugany 1 (Su1) и Sh 2 (Sh2) в селекции сахарных гибридов кукурузы.

В рамках реализации данной программы исследований районированы три гибрида и популяция сахарной кукурузы.

Многолетние исследования А. И. Супрунова по созданию форм лопающейся кукурузы с улучшенными вкусовыми и технологическими качествами зерна позволили районировать и внедрить в производство два гибрида и популяцию.

Результаты исследований по созданию гибридов кукурузы пищевого использования, особенности агротехнологических приемов ее возделывания отражены в изданной А. И. Супруновым монографии «Селекция сахарной и лопающейся кукурузы на Кубани».

В последние годы одним из основных разделов исследований А. И. Супрунова является работа по созданию и внедрению в производство высокопродуктивных гибридов кукурузы с быстрой отдачей влаги зерном при созревании.

За годы селекционных изысканий с использованием линий доноров быстрой отдачи влаги зерном при созревании получен новый исходный материал, на базе которого созданы и переданы в Государственное сортоиспытание гибриды кукурузы с заданными параметрами. Внедрение гибридов данного типа, без сомнения, позволит решить ряд важных государственных задач по ускоренному импортозамещению сельскохозяйственной продукции.

Многолетняя плодотворная научная деятельность А. И. Супрунова позволила ему в соавторстве создать и районировать 40 гибридов и популяций кукурузы, которые были допущены к использованию в одиннадцати агроклиматических зонах Российской Федерации, Республики Беларусь, Украины и Киргизии. А. И. Супрунов является обладателем 43 патентов на гибриды и линии кукурузы.

А. И. Супрунов проводит большую работу по пропаганде и внедрению в агропромышленный комплекс страны и ближнего зарубежья гибридов кукурузы селекции НЦЗ

имени П. П. Лукьяненко. В 2017 году ему было присвоено звание «Отличник сельского хозяйства Республики Кыргызстан».

В 2020 году в семеноводческих хозяйствах Российской Федерации было произведено более 20 тысяч тонн семян гибридов кукурузы, в создании которых принимал участие А. И. Супрунов.

За успехи в области селекции и внедрения в производство гибридов кукурузы в 2015 году А. И. Супрунову присвоено звание «Заслуженный работник сельского хозяйства Кубани».

А. И. Супрунов проводит большую работу по подготовке молодых селекционеров. В Национальном центре зерна имени П. П. Лукьяненко он является научным руководителем пяти аспирантов и соискателей. Под его руководством успешно защищены четыре кандидатские диссертации.

А. И. Супрунову принадлежат 92 публикации, среди которых научные работы, методические указания и рекомендации, он является членом диссертационного совета при Всероссийском научно-исследовательском институте риса, членом редколлегий четырех научно-практических журналов, экспертом РАН.

Анатолий Иванович, поздравляем Вас с 75-летним юбилеем! Пусть Ваша жизнь всегда будет наполнена уважением и поддержкой коллег, теплотой и любовью родных и близких, настоящим человеческим счастьем, а Ваши профессионализм и накопленный опыт еще долгие годы служат на благо нашего Отечества и будут стимулом для новых свершений.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ АВТОРАМИ В ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН»

1. Журнал **«Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН»** публикует оригинальные научные, обзорные, аналитические статьи отечественных и зарубежных авторов, рецензии на книги и статьи, персоналии по следующим группам специальностей:

1.1. Математика и механика; 1.2. Компьютерные науки и информатика; 1.3. Физические науки; 1.6. Науки о Земле и окружающей среде; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации; 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство; 4.2. Зоотехния и ветеринария; 5.2. Экономика; 5.4. Социология; 5.5. Политические науки; 5.6. Исторические науки; 5.9. Филология.

Журнал предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов. Периодичность – шесть выпусков в год. Журнал публикует статьи на русском и английском языках объемом не менее 8 и не более 20 страниц макетного формата (не менее 18 000 символов). Работы, превышающие объем, принимаются к публикации по специальному решению главного редактора журнала.

Журнал «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» вошел в Единый государственный перечень научных изданий – «Белый список» (решение Межведомственной рабочей группы по формированию и актуализации «Белого списка» научных журналов, 09.09.2025), 4-й уровень.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки, категория журнала – К2 (распределение журналов по категориям, п. 1320):

группа специальностей 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации:

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки),

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки),

2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования (физико-математические науки),

2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки);

группа специальностей 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство:

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки),

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки);

группа специальностей 5.2. Экономика:

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (экономические науки),

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки),

5.2.6. Менеджмент (экономические науки).

2. К публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» принимаются статьи, содержащие новые результаты. Статьи должны быть посвящены актуальным проблемам науки, содержать четкую постановку цели и задач исследования, строгую научную аргументацию, обобщения и выводы, представляющие интерес своей новизной, научной и практической значимостью. Журнал также публикует специальные выпуски, посвященные конференциям разного уровня по тематике журнала, обзорные

статьи. Не допускается направление в редакцию статей, уже опубликованных или посланных на публикацию в другие журналы. Результаты иных авторов, использованные в статье, следует должным образом отразить в ссылках. Представляя статью в журнал, авторы обязаны выполнять все требования по оформлению.

3. Направляя статью в журнал, каждый из авторов подтверждает, что она соответствует наивысшим стандартам публикационной этики для авторов и соавторов, разработанным COPE (Committee on Publication Ethics), см. http://publicationethics.org/about. Всем статьям, опубликованным в журнале, присваиваются идентификаторы цифрового объекта (DOI) для лучшего поиска и идентификации. Поступающие в редакцию статьи проходят проверку на плагиат через систему ***Антиплагиат*** (https://www.antiplagiat.ru), для принятия они должны иметь не менее 75 % уникальности текста.

4. Принятые к публикации в журнале «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» статьи проходят двойное слепое рецензирование, редакционную подготовку, после чего макет направляется на корректуру. Окончательный вариант предоставляется автору на вычитку. Срок предоставления статьи на вычитку автору – 3 рабочих дня.

5. Полнотекстовые версии статей, публикуемых в журнале, размещаются в Интернете в свободном доступе на официальном сайте журнала https://www.kbncran.ru/izvestiya-htm/, на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеки «Киберленинка», в Российской государственной библиотеке, ВИНИТИ, Google Scholar, Российском центре научной информации (РЦНИ). Статьи по сельскому хозяйству размещаются в AGRIS. Статьи по математике, физике, информатике, математическому моделированию в экономике и по наукам о земле размещаются на Общероссийском математическом портале Math-Net.Ru www.mathnet.ru (http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&optionlang=rus). Срок размещения редакцией очередного номера журнала – в течение 3 месяцев с даты выхода в свет номера.

6. Публикация в журнале для авторов – 500 руб. страница (за оказание услуг по редакционно-издательской обработке статей). Для рецензентов (не членов редколлегии) предусмотрены льготы для опубликования.

7. Требования к рукописи статьи.

Рукопись статьи подается вместе с сопроводительным письмом, подписанным всеми авторами статьи, в котором авторы в том числе подтверждают, что подаваемая в журнал статья ранее не была опубликована, а также не представлена для рассмотрения и публикации в другом журнале. Число и состав авторов после подачи статьи на рецензирование не меняются.

Материалы предоставляются в редакцию журнала по адресу: 360010, Россия, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2 или на электронную почту ired07@mail.ru.

Все страницы, включая рисунки, таблицы и список литературы, следует пронумеровать.

В тексте статьи **обязательно** указывается:

- УДК https://teacode.com/online/udc/; ORCID; тип статьи (научная, обзорная, аналитическая,…); коды JEL (специальности: 5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.6. Менеджмент); AMS Subject Classification (по специальностям в областях математики, информатики, физики);

- название статьи на русском и английском языках;

- фамилия и инициалы автора (авторов) на русском и английском языках; электронная почта авторов (если несколько авторов, то указать * автора, ответственного за переписку);

- полное официальное название учреждения с указанием полного почтового адреса на русском и английском языках, адрес электронной почты (E-mail) **организации**;

- аннотация на русском и английском языках – в ней четко должны отражаться актуальность, цель, материалы и методы, результаты научного исследования, заключения (выводы), объем – 150–200 слов;

- ключевые слова на русском и английском языках – не более 10–15 слов;

- основной текст статьи (структура): введение, цели и задачи исследования, методы исследования, результаты исследования, выводы (заключение);

- финансирование;

- вклад авторов.

В аннотации и заключении не допускается использование громоздких формул, ссылок на текст работы или список литературы.

Сведения об авторах (на русском и английском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, название подразделения, полное название места работы (может быть более одного), рабочий адрес, ORCID, SPIN-код E–library.

Для связи с редакцией – **контактный телефон** одного из авторов.

8. Список литературы должен содержать только ссылки на научные статьи (периодические журналы, монографии, труды конференций и т.д.), которые упоминаются в тексте работы, расположенные в порядке цитирования, не менее 15. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются. Недопустимо использование ссылок на авторефераты, диссертации, газеты, интернет-сайты журналов, электронные газеты. Список литературы печатается в конце статьи, оформляется в соответствии с правилами, предусмотренными журналом. Все остальные источники, использованные при написании статьи, выносятся в сноски в конце каждой страницы (при необходимости). В списке литературы необходимо указывать не менее 50 % от общего количества источников за последние 5 лет (как самого автора, так и сторонних авторов, работающих в данном направлении; в том числе зарубежных источников), не более 20 % ссылок на собственные работы. Исключение составляют статьи, которые посвящены исследованиям конкретных документов.

В списке литературы должны быть указаны источники по образцу:

• статья – Фамилия И. О. Название статьи // Название журнала. Год. Том. Номер. С. …-… DOI…

• книга – Фамилия И. О. Название книги: монография. Город: Издательство, Год. … с.

• коллективная монография – Фамилия И. О. Название книги / под ред. Фамилия И. О. Город: Издательство, Год. … с.

• статья в сборнике конференций – Фамилия И. О. Название статьи // Название конференции: материалы конференции * / Название организации. Город, Год. С. …-… DOI…

• статья в электронном издании – Фамилия И. О. Название статьи [Электронный ресурс] // Название журнала, Год. Том. Номер. С. …-… URL:… (дата обращения: число, месяц, год).

9. Список литературы **полностью** дублируется на **английском языке** независимо от того, имеются в нем иностранные источники или нет.

Пояснения по формированию списка литературы и References.

Если статья, на которую указывает ссылка, была переведена на английский язык и опубликована в английской версии журнала, необходимо указывать ссылку из переводного источника! Указания (учебное пособие, монография, перевод, количество томов и т.д.) в References можно опускать. При цитировании оригинального источника на английском языке в названии с прописной буквы пишется первое слово. В названии журнала пишется каждое полнозначное слово с прописной буквы.

Библиографические описания публикаций в References составляют в следующей последовательности:

журнальная статья

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Zaglavie jurnala* [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

в случае, если у журнала есть официальное название на английском языке, источник оформляется в таком виде:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Title of Journal*. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

монография, книга, глава из книги, препринт

Author A.A., Author B.B., Author C.C. *Nazvanie* [Title of Book]. Gorod: Izdanie. Year. Pages p. (In Russian);

статья в материалах конференции

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie konferensii.* Gorod, Organizacia. Year. Pages p. (In Russian);

статья в электронном издании

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie zhurnala,* Year, Pages p., available at: http…. (accessed: Data Year).

На сайте http://translit-online.ru/ можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста в латиницу.

10. Требования к электронному носителю:

- к статье прилагается электронный вариант в формате Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10;
- статья должна быть набрана в формате А4 с полями: верхнее и нижнее – 2,0 см; левое – 2,5 см; правое – 2 см, шрифтом Times New Roman, размер 14, полуторный интервал;
- таблицы, алгоритмы, рисунки, схемы и т.п. должны быть редактируемые и выполнены в формате А4 книжной ориентации;
- формулы должны быть набраны в программе MathType, нумеровать следует те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи.

11. Решение о публикации или отклонении авторских материалов принимается редколлегией в соответствии с правилами рецензирования статей. Для экспертной оценки статей привлекаются ведущие специалисты по основным научным направлениям (рубрикам) выпуска журнала.

12. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

13. В каждом выпуске публикуется, как правило, не более одной статьи одного и того же автора. Решение о публикации более одного материала принимается редакционной коллегией и главным редактором журнала.

14. Статьи, оформленные без соблюдения указанных правил, не рассматриваются.

15. Авторы могут использовать искусственный интеллект (ИИ) при написании текстов, однако при этом они должны указать, если такие технологии применялись, и в какой степени. ИИ может помочь авторам в анализе и визуализации данных, что повышает качество представленных результатов. Перед направлением статьи в редакцию журнала авторы обязаны проверить материал на корректность и достоверность. Если инструменты ИИ были использованы для сбора данных, анализа или написания текста, это должно быть указано в разделе статьи «Материалы и методы». В случае неуказания автором использования ИИ и его обнаружения в ходе работы со статьей в редакции журнала статья отклоняется.

FORMATTING RULES FOR ARTICLES TO BE SUBMITTED BY AUTHORS TO THE JOURNAL "NEWS OF THE KABARDINO-BALKARIAN SCIENTIFIC CENTER OF RAS"

1. The journal **"News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS"** publishes original scientific, review, analytical articles by domestic and foreign authors, reviews of books and articles, personalities in the following groups of specialties:

1.1. Mathematics and Mechanics; 1.2. Computer Science and Informatics; 1.3. Physical Sciences; 1.6. Earth and Environmental Sciences; 2.3. Information Technologies and Telecommunications; 4.1. Agronomy, Forestry and Water Management; 4.2. Zootechnics and Veterinary Medicine; 5.2. Economics; 5.4. Sociology; 5.5. Political Sciences; 5.6. Historical Sciences; 5.9. Philology.

The journal is intended for researchers, teachers, postgraduate students, undergraduates, students. Frequency – six issues per year. The journal publishes articles in Russian and English with a volume of no less than 8 and no more than 20 pages of the layout format (at least 18 000 characters). Papers exceeding that volume may be accepted for publication by special decision of the Editor-in-chief of the journal.

The journal "News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS" has been added to the Unified State List of Scientific Publications – the "White List", level 4 (decision of the Interdepartmental Working Group on Formation and Update of the "White List" of Scientific journals, September 9, 2025).

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science in scientific specialties and their respective branches of science should be published, category of the journal – K2 (distribution of journals according to categories, par. 1320):

group of specialties 2.3. Information technology and telecommunications:

2.3.1. System analysis, management and information processing, statistics (technical sciences),

2.3.3. Automation and control of technological processes and productions (technical sciences),

2.3.7. Computer modeling and design automation (physical and mathematical sciences),

2.3.8. Informatics and information processes (technical sciences);

group of specialties 4.1. Agronomy, forestry and water management:

4.1.1. General farming and crop production (agricultural sciences),

4.1.2. Breeding, seed production and plant biotechnology (agricultural sciences),

4.1.3. Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences);

group of specialties 5.2. Economy:

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics (economic sciences),

5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences),

5.2.6. Management (economic sciences).

2. Articles are accepted for publication in the journal "News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS" if they contain new results. Articles should be devoted to topical problems of science, contain a clear statement of the goal and objectives of the study, rigorous scientific argumentation, generalizations and conclusions that are of interest for their novelty, scientific and practical significance. The journal also publishes special issues devoted to conferences of various levels on the subjects of the journal, review articles. It is not allowed

to send to the editorial office articles that have already been published or sent for publication to other journals. The results of other authors used in the article should be duly reflected in the references. Submitting an article to the journal, authors are obliged to fulfill all the requirements of the journal for their formatting.

3. By submitting an article to the journal, each author confirms that it meets the highest standards of publication ethics for authors and co-authors, developed by COPE (Committee on Publication Ethics), see http://publicationethics.org/about. All articles published in the journal are assigned digital object identifiers (DOIs) for better search and identification. Articles submitted to the editorial office are checked for plagiarism through the ***Antiplagiat*** system (https://www.antiplagiat.ru); for acceptance they must have at least 75 % of the uniqueness of the text.

4. Articles accepted for publication in the journal "News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS" undergo double blind peer review, editorial preparation, after which the final layout is sent for correction. The final version is provided to the author for proofreading. The time period for submitting the article to the author for proofreading is 3 working days.

5. Full-text versions of articles published in the journal are posted on the Internet in free access on the official website of the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU, Scientific electronic library "Cyberleninka", in the Russian state library, VINITI, Google Scholar. Russian Center for Scientific Information (RCSI). Articles on agriculture are posted on AGRIS. Articles on mathematics, physics, computer science, mathematical modeling in economics and geosciences are posted on the All-Russian portal Math-Net.Ru www.mathnet.ru (https://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&option_lang=eng). The time for posting of the journal in the web must be within 3 months from the date of issue.

6. Publications in the journal for authors – 500 rubles per page (for providing articles editing and publication services). For reviewers (not members of the editorial board) privileges for publication are provided.

7. Requirements for the manuscript of the article.

The manuscript of the article is submitted together with a covering letter signed by all authors of the article, in which the authors, among other things, confirm that the article submitted to the journal has not been previously published, and has not been submitted for consideration and publication in another journal. The number and composition of authors does not change after submitting an article for reviewing.

Materials are submitted to the Editorial and Publishing Department: 360010, Russia, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Balkarov street, 2, or email: ired07@mail.ru.

All pages, including figures, tables and references, should be numbered.

The following indications in the text of the article are **mandatory**:

- UDC https://teacode.com/online/udc/; ORCID; type of article (scientific, review, analytical, ...); JEL codes (specialty 5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in Economics, 5.2.3. Regional and sectoral economics, 5.2.6. Management); AMS Subject Classification (in the fields of mathematics, computer science, physics);
- the title of the article in Russian and English;
- surname and initials of the author(s) in Russian and English; e-mail of authors (if there are several authors, then indicate * the author responsible for the contact correspondence);
- the full official name of the institution, indicating the full postal address in Russian and English, the electronic mail address (E-mail) of the **organization;**
- abstract in Russian and English – it should clearly reflect the relevance, aim, materials and methods, results of the scientific research, conclusions (conclusion), volume – 150–200 words;

- keywords in Russian and English – no more than 10–15 words;

- main text of the article (structure): introduction, goals and objectives of the research, research methods, research results, conclusions;

- financing;

- contribution of the authors.

The abstract and conclusion should not contain cumbersome formulas, references to the text of the work or the list of references.

Information about the authors (both in Russian and English): last name, first name, patronymic, academic degree, academic title, position, department name, full name of the place of work (there may be more than one), work address, contact phone number, ORCID, SPIN-code E–library.

The contact phone number of one of the authors to contact the editorial office.

8. The list of references should contain only links to scientific articles (periodicals, monographs, conference proceedings, etc.) to which there are references in the text of the work, arranged in the order of citation, not less than 15. References to unpublished works, the results of which are used in the proofs, are not allowed. It is unacceptable to use links to abstracts, dissertations, newspapers, websites of journals, electronic newspapers. The list of references is printed at the end of the article, drawn up in accordance with the rules provided by the journal. All other sources used in the article are placed in footnotes at the end of each page (if necessary). At least 50 % of the total number of sources in the list of references should be of the last 5 years (both the author's himself and other authors working in this direction as well as foreign sources) and not more than 20 % references to own works. The exception is made for articles that are devoted to the study of specific documents.

In the list of references, sources should be indicated according to the sample:

• article – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the journal. Year. Volume. Number. Pp. ... - ... DOI ...

• book – Surname and initials of the name and patronymic. Book title: monograph. City: Publisher, Year. … p.

• collective monograph – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the book. editor – Surname and initials of the name and patronymic. City: Publisher, Year. … p.

• article in the collection of conference materials – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the conference: materials of the conference * / Name of the organization. City, Year. Pp. ... - ... DOI

• article in the electronic edition – Surname and initials of the name and patronymic, The title of the article [Electronic source] // Journal name, Year. Volume. Number. Pp.… -… URL:… (date of access: date, month, year).

9. The list of references is **fully** duplicated in **English,** regardless of whether it contains foreign sources or not.

Explanations on the formation of the list of literature and References.

If the article to which the reference points was translated into English and published in the English version of the journal, you must provide the link from the translated source! Descriptions (tutorial, monograph, translation, number of volumes, etc.) in References may be omitted. When citing an original source in English, the first word is capitalized in the title. Each full-valued word is capitalized in the title of the journal.

Bibliographic descriptions of publications in References are in the following sequence:

journal article

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Zaglavie jurnala* [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

if the journal has an official name in English, then the reference is formatted in the following way:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Title of Journal*. Year. Vol. ... No. ...iss. … Pp. ...-… DOI (In Russian);

monograph, book, chapter from a book, preprint

Author A.A., Author B.B., Author C.C. *Nazvanie* [Title of Book]. Gorod [City], Izdanie [Publisher]. Year. Pages p. (In Russian);

article in conference materials

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. *Nazvanie konferensii* [Title of the conference]. Gorod [City], Organizacia [Organization]. Year. Pages p. (In Russian);

article in electronic edition

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie zhurnala,* Year, Pages p., available at: http…. (accessed: Data Year).

On the site http://translit-online.ru/ you can use the program of transliteration of the Russian text into the Latin alphabet for free.

10. Requirements for electronic media:

- an electronic version in the format of Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10 is attached to the article;
- the article should be typed in A4 format with margins: top and bottom – 2.0 cm; left – 2.5 cm; right – 2 cm, the article should be typed in Times New Roman, size 14, one and a half spacing;
- editable tables, algorithms, figures, diagrams, etc. must be in A4 format, portrait orientation;
- Equations must be typed using the MathType program and equations that are referenced in the text should be numbered.

11. The decision to publish or reject author(s) materials is made by the editorial board in accordance with the rules for reviewing articles. Leading experts in the main scientific directions (headings) of the journal are involved in the expert assessment of the articles.

12. The editorial office does not enter into discussions with the authors of the rejected materials.

13. As a rule no more than one article by one and the same author is published in an issue. The decision to publish more than one material is made by the editorial board and the chief editor of the journal.

14. Articles violating these formatting rules are not considered.

15. Authors can use artificial intelligence (AI) in their writing, but they should disclose if such technologies were used and to what extent. AI can assist authors in analyzing and visualizing data, which may enhance the quality of the results presented. Before submitting an article to the journal's editorial office, authors are required to ensure that the material has been checked for accuracy and reliability. If AI-powered tools were used for data collection, analysis, or text generation, this should be clearly indicated in the "Materials and Methods" section of the paper. Failure to disclose the use of AI may result in the article being rejected if it is discovered during the review process.

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Том 28 № 5 2026

Сквозной номер выпуска – 133

Журнал входит в «Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»

Зав. редакционно-издательским отделом КБНЦ РАН – ***А. М. Бейтуганова***

Компьютерная верстка – ***А. И. Токова***

Техническое редактирование – ***А. И. Токова***

Корректор – ***Л. Б. Канукоева***

Перевод – ***М. А. Дышекова***

Подписано в печать 23.10.2026 г. Дата выхода в свет: 30.10.2026 г.
Формат бумаги 60x84 $^{1}/_{8}$. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 62,07

Цена свободная

Регистрационный номер СМИ Эл № ФС 77-90616 от 29.12.2025 выдан Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Учредитель: Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Адрес редакции и издателя: 360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2