

Print ISSN 1991-6639
Online ISSN 2949-1940

Том 27 № 5



2025

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 27 № 5 2025

Сквозной номер выпуска – 127

Журнал основан в 1998 г. Выходит 6 раз в год

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-14936 от 20 марта 2003 г. выдано Министерством
Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

© КБНЦ РАН, 2025

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. 27 No. 5 2025

Continuous issue number – 127

The journal was founded in 1998, 6 issues per year

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

Certificate of registration PI No. 77-14936 March 20, 2003 issued by the Ministry
of Russian Federation of Press, Broadcasting and Mass Communications

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE:

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

© KBSC RAS, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН Том 27 № 5 2025

Редакционная коллегия	7
------------------------------------	---

Информационные технологии и телекоммуникации

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Концептуальная модель мультиагентной системы инновационного инвестирования с использованием нейрокогнитивных архитектур <i>А. А. АЙГУМОВ, И. А. ПШЕНОКОВА</i>	13
Мультиагентное моделирование в биологии растений <i>М. И. АНЧЁКОВ, Ж. Х. КУРАШЕВ</i>	26
Модель сигма-пи нейронной сети для кластеризации данных <i>Р. А. ЖИЛОВ</i>	34
Особенности энергоснабжения автономных объектов в условиях труднодоступных территорий <i>М. Ю. КАРЕЛИНА, Р. В. КЛЮЕВ, Д. В. СЕРДЕЧНЫЙ</i>	43
Экологическое загрязнение земель как сложный технический объект системного анализа <i>Я. Э. КЛИМОВИЧУС</i>	54
Разработка подхода к классификации дефолта заемщика на основе интеграции методов предварительной обработки и методов машинного обучения <i>А. Ф. КОНСТАНТИНОВ, Л. П. ДЬЯКОНОВА</i>	68
Концепция коллаборативной системы автоматического виртуального прототипирования нейропротезов на основе гносеографических алгоритмов обучения интеллектуальных программных агентов <i>З. В. НАГОЕВ, О. В. НАГОЕВА</i>	80

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Адаптивное управление тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий на основе критерия интегральной устойчивости <i>В. С. АРТЕМЬЕВ</i>	98
Разработка автоматизированной системы управления процессом сортировки <i>С. С. ЗАКОЖУРНИКОВ, Г. С. ЗАКОЖУРНИКОВА, К. В. ПРИХОДЬКОВ, Т. А. ГОРШУНОВА, О. А. ПИХТИЛЬКОВА, Е. В. ПРОНИНА, С. С. ЛАВРЕНОВ</i>	113
Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы: вводный обзор технологий, клинических применений и этико-правовых вызовов <i>А. У. ЗАММОЕВ, Р. Н. АБУТАЛИПОВ</i>	125
Облачно-периферийная экосистема когнитивной автоматизации для интегрированного менеджмента СР-процессов пивзавода <i>А. С. МАКСИМОВ, В. С. АРТЕМЬЕВ, Л. С. МАНГУШЕВА, Ж. В. МЕКШЕНЕВА</i>	143

Информатика и информационные процессы

Робастный оптимизатор Adam на основе усредняющих агрегирующих функций <i>М. А. КАЗАКОВ</i>	159
---	-----

Оптимизация передачи данных в городских информационных системах на основе методов теории графов <i>Д. А. РЫБАКОВ</i>	168
--	-----

Агрономия, лесное и водное хозяйство

Общее земледелие и растениеводство

Селекционные исследования по картофелю в Кабардино-Балкарии <i>А. Х. АБАЗОВ, Г. Х. АБИДОВА, З. Х. ЛИХОВА, А. И. САРБАШЕВА, О. А. БАТЫРОВА</i>	180
Эффективность применения аммиачной селитры и удобрения КАС-32 при возделывании кукурузы на зерно <i>В. Н. БАГРИНЦЕВА, И. Н. ИВАШЕНЕНКО</i>	191

Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Оптимизация производства кукурузы путем применения цифровых и умных технологий <i>В. М. ШУГАНОВ, А. Х. ШОГЕНОВ, З. Ю. КАНТИЕВ, Р. В. БИЖОЕВ</i>	200
---	-----

Экономика

Региональная и отраслевая экономика

Социально-экономическое развитие России: анализ влияния внешних шоков и структурных ограничений на уровень жизни <i>С. В. ДОХОЛЯН</i>	211
Оценка динамики численности и заработной платы муниципальных служащих в Кабардино-Балкарской Республике <i>Х. М. РАХАЕВ, Ж. С. ЖАНГОРАЗОВА, Э. С. БАККУЕВ, Л. Х. КУНИЖЕВА</i>	223
Эффективность и устойчивость цепочек поставок продовольствия: систематический анализ научных публикаций <i>А. Х. ФИКИРЕ, Е. В. КОРЧАГИНА</i>	234
Оценка социально-экономических предпосылок интеграции ESG-подходов в стратегическое развитие регионов России <i>Ж. П. ХАМУКОВА, Х. Ю. БОРОВ</i>	250

Менеджмент

Финансовые горизонты БРИКС: инновационные финансовые стратегии компаний <i>Н. В. ГРЫЗУНОВА, А. М. ТРАМОВА</i>	261
Интеллектуальный капитал как основа стратегического потенциала организации <i>М. С. ЕРЁМЕНКО, Е. В. КОБЗЕВА</i>	273

Исторические науки

К проблеме музеефикации археологических памятников <i>И. Х. ГУКЕМУХ</i>	285
--	-----

Филология

Философия героизма в романе Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» <i>С. М. АЛХАСОВА</i>	297
Опыт сопоставления карачаево-балкарских благопожеланий о еде с кулинарными одами Роберта Бернса <i>Б. А. БЕРБЕРОВ</i>	305
Формы комизма в художественной прозе З. Зокаева и М. Аттоева <i>Р. А. КЕРИМОВА</i>	316

Юбиляры

<i>Любовь Васильевне Маслиенко – 75 лет</i>	325
---	-----

Правила для авторов журнала	327
--	-----

CONTENTS

News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS Vol. 27 No. 5 2025

Editorial Board	7
------------------------------	---

Information Technologies and Telecommunications

System analysis, management and information processing, statistics

Conceptual model of a multi-agent innovative investment system using neurocognitive architectures <i>A.A. AIGUMOV, I.A. PSHENOKOVA</i>	13
Multi-agent modeling in plant biology <i>M.I. ANCHEKOV, Zh.Kh. KURASHEV</i>	26
Sigma-pi neural network model for data clustering <i>R.A. ZHILOV</i>	34
Features of power supply for autonomous objects in hard-to-reach areas <i>M.Yu. KARELINA, R.V. KLYUEV, D.V. SERDECHNYY</i>	43
Environmental pollution of land as a complex technical object of systems analysis <i>J.E. KLIMAVIČIUS</i>	54
Comparative analysis of class imbalance reduction methods in building machine learning models in the financial sector <i>A.F. KONSTANTINOV, L.P. DYAKONOVA</i>	68
Concept for collaborative system for automatic virtual prototyping of neuroprostheses based on epistemological algorithms for learning intelligent software agents <i>Z.V. NAGOEVA, O.V. NAGOEVA</i>	80

Automation and control of technological processes and productions

Adaptive control of reversible thyristor electric drives in brewing lines based on integral stability criterion <i>V.S. ARTEMYEV</i>	98
Automated sorting control system development <i>S.S. ZAKOZHURNIKOV, G.S. ZAKOZHURNIKOVA, K.V. PRIKHODKOV, T.A. GORSHUNOVA, O.A. PIKHTILKOVA, E.V. PRONINA, S.S. LAVRENOV</i>	113
Bioengineered brain-computer interfaces: an introductory overview of technologies, clinical applications and ethical-legal challenges <i>A.U. ZAMMOEV, R. N. ABUTALIPOV</i>	125
Cloud-based ecosystem of cognitive automation for integrated management of the CIP processes in brewing <i>A.S. MAKSIMOV, V.S. ARTEMYEV, L.S. MANGUSHEVA, Zh.V. MEKSHENEVA</i>	143

Informatics and information processes

Robust ADAM optimizer based on averaging aggregation functions <i>M.A. KAZAKOV</i>	159
---	-----

Optimization of data transfer in urban information systems based on graph theory methods <i>D.A. RYBAKOV</i>	168
--	-----

Agronomy, Forestry and Water Management

General farming and crop production

Potato breeding research in Kabardino-Balkaria <i>A.Kh. ABAZOV, G.Kh. ABIDOVA, Z.Kh. LIKHOVA,</i> <i>A.I. SARBASHEVA, O.A. BATYROVA</i>	180
---	-----

Effectiveness of ammonium nitrate and CAS-32 fertilizer in cultivation of corn <i>V.N. BAGRINTSEVA, I.N. IVASHENENKO</i>	191
--	-----

Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine

Optimizing corn production through digital and smart technologies <i>V.M. SHUGANOV, A.Kh. SHOGENOV,</i> <i>Z.Yu. KANTIEV, R.V. BIZHOEV</i>	200
--	-----

Economy

Regional and sectoral economics

Socio-economic development of Russia: analysis for impact of external shocks and structural constraints on living standards <i>S.V. DOHOLYAN</i>	211
--	-----

Assessing dynamics of number and salaries of municipal employees in Kabardino-Balkarian Republic <i>Kh.M. RAKHAEV, Zh.S. ZHANGORAZOVA,</i> <i>E.S. BAKKUEV, L.Kh. KUNIZHEVA</i>	223
--	-----

Efficiency and sustainability in food supply chains: a systematic analysis of scientific literature <i>A.H. FIKIRE, E.V. KORCHAGINA</i>	234
---	-----

Assessment of socio-economic prerequisites for the integration of ESG approaches into the strategic development of Russian regions <i>Zh.P. KHAMUKOVA, Kh.Yu. BOROV</i>	250
---	-----

Management

BRICS financial horizons: innovative financial strategies for companies <i>N.V. GRYZUNOVA, A.M. TRAMOVA</i>	261
--	-----

Intellectual capital as basis of organization's strategic potential <i>M.S. EREMENKO, E.V. KOBZEVA</i>	273
---	-----

Historical Sciences

On issue of museumification of archaeological sites <i>I.Kh. GUKEMUKH</i>	285
--	-----

Philology

Philosophy of heroism in Akhmedkhan Naloev's novel "Riders of the Dawn"	
<i>S.M. ALKHASOVA</i>	297
An experience of comparing Karachay-Balkar cuisine with Robert Burns' culinary ode	
<i>B.A. BERBEROV</i>	305
Forms of comedy in the works of Z. Zokaev and M. Attoev	
<i>R.A. KERIMOVA</i>	316

Anniversaries

<i>Lyubov Vasilievna Maslienka is 75 years old</i>	325
--	-----

Publishing regulations for the authors	327
---	-----

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 Магомедовна, 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 Хасанович, 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

Гукеев 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

Кибилов 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

Клейнер Георгий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, профессор, Центральный экономико-математический институт РАН, 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

Махощева 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

Склярков 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. Bizhoyev, 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

Georgy B. Kleiner, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, 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 Informatics and Regional Management Problems – 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 Informatics and Regional Management Problems – 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

Концептуальная модель мультиагентной системы инновационного инвестирования с использованием нейрокогнитивных архитектур

А. А. Айгумов¹, И. А. Пшенокова^{1,2}✉

¹Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук

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

²Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова

360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных инструментов управления инновационными инвестиционными процессами в условиях высокой неопределенности рыночной среды. Традиционные подходы к исследованию, например, эконометрическое моделирование или системная динамика, часто сталкиваются с трудностями при описании адаптивного поведения агентов и непредсказуемых коллективных эффектов. В связи с этим возникает необходимость в инструментах, позволяющих более реалистично имитировать поведение участников инвестиционного рынка во всей его сложности.

Цель исследования – создание мультиагентной модели, позволяющей оценить эффективность различных сценариев инновационного инвестирования и выявить оптимальные стратегии поведения участников рынка.

Методы исследования. В данной работе в качестве основных методов исследования применяются имитационное и мультиагентное моделирование.

Результаты. В статье представлена концептуальная модель мультиагентной системы инновационного инвестирования с использованием нейрокогнитивных архитектур для анализа процессов взаимодействия между участниками инвестиционного рынка. Разработана базовая архитектура автономного интеллектуального агента, которая в контексте системы инновационного инвестирования позволяет учитывать когнитивные аспекты поведения.

Выводы. В дальнейшем предполагается расширить модель, включив в нее более подробную классификацию инвесторов и проектов, интеграцию с реальными данными, дополнительные механизмы обучения и коллективного инвестирования. Разработанная модель может служить основой для создания практических инструментов поддержки принятия решений в сфере инновационного инвестирования и способствовать повышению эффективности инвестиционной деятельности.

Ключевые слова: имитационное моделирование, когнитивное моделирование, мультиагентная модель, инновационное инвестирование

Поступила 12.07.2025, одобрена после рецензирования 15.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Айгумов А. А., Пшенокова И. А. Концептуальная модель мультиагентной системы инновационного инвестирования с использованием нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 13–25. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-13-25

Conceptual model of a multi-agent innovative investment system using neurocognitive architectures

A.A. Aigumov¹, I.A. Pshenokova^{1,2}✉

¹Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

²Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov

173 Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia

Abstract. The relevance of this study stems from the need to develop effective tools for managing innovative investment processes in a highly uncertain market environment. Traditional research approaches, such as econometric modeling or system dynamics, often encounter difficulties in describing the adaptive behavior of agents and unpredictable collective effects. Therefore, there is a need for tools that allow for more realistic simulation of the behavior of investment market participants in all its complexity.

Aim. The study is to develop and test a multi-agent model to evaluate the effectiveness of various innovative investment scenarios and identify optimal strategies for market participants.

Methods. This paper uses simulation and multi-agent modeling as the primary research methods.

Results. This article presents a multi-agent simulation model of an innovative investment system for analyzing interactions between investment market participants. Simulation experiments demonstrate that the developed model is able to replicate the dynamics of innovation system development, evaluate the effectiveness of various investment strategies, predict market participant behavior, and determine optimal parameters for interactions between agents.

Conclusions. Future studies propose expanding the model to include a more detailed classification of investors and projects, integration with real data, and additional learning and collective investment mechanisms. The developed model can serve as a basis for creating practical decision-making tools for innovative investment and contribute to improving the efficiency of investment activities.

Keywords: simulation modeling, cognitive modeling, multi-agent model, innovative investing

Submitted on 12.07.2025,

approved after reviewing on 15.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Aigumov A.A., Pshenokova I.A. Conceptual model of a multi-agent innovative investment system using neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 13–25. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-13-25

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие информационных технологий, систем искусственного интеллекта и экономики знаний приводит к необходимости коммерциализации результатов научных исследований и разработок в этих областях. Как правило, этот процесс связан с повышенными рисками, длительным горизонтом окупаемости и сложностью оценки перспектив, что в свою очередь затрудняет принятие решений инвесторами и государственными органами поддержки. Для анализа подобных сложных систем традиционных методов бывает недостаточно, так как необходимо учитывать взаимодействие множества участников, неструктурированность имеющейся информации и фактор времени.

В качестве примера сложной социально-экономической системы рассмотрим систему инновационного инвестирования. Система инновационного инвестирования представляет собой сложный процесс взаимодействия экономических агентов – инвесторов различного типа (государство, венчурные фонды, бизнес-ангелы, корпоративные инве-

сторы и др.), получателей инвестиций (стартапы, инновационные проекты, научно-исследовательские организации) и посредников (инкубаторы, биржи, регуляторы). Задача моделирования такой системы состоит в том, чтобы воспроизвести процессы поиска и отбора инновационных проектов, распределения инвестиций и выхода проектов на окупаемость или коммерческий успех, с учетом факторов неопределенности и риска. Кроме того, такая система должна обладать свойством адаптивности – уметь динамически пересматривать свою структуру по мере появления новых проектов, ухода старых, изменения связей между участниками и поступления новой информации.

Цель исследования состоит в разработке имитационной модели, которая учитывала бы перечисленные особенности. Модель должна позволять воспроизвести децентрализованное взаимодействие множества агентов, каждый из которых преследует собственные цели, и исследовать коллективное поведение системы. Конечная цель – создать инструмент для экспериментов с различными сценариями инвестирования и государственной политики, чтобы выявить подходы, обеспечивающие наилучшие результаты (например, рост числа успешных инновационных компаний, максимизацию совокупной отдачи на инвестиции, увеличение налоговых поступлений от инновационного сектора и т.д.).

Существуют разные парадигмы имитационного моделирования – дискретно-событийное моделирование, системная динамика и агентное (мультиагентное) моделирование. Однако так как поставленная задача децентрализованная – множество независимых участников принимают решения и взаимодействуют между собой, то наиболее эффективным механизмом решения будет мультиагентный подход [1].

В последние годы мультиагентные системы продемонстрировали значительный потенциал в приложениях, требующих быстрого развертывания и динамического распределения задач, таких как сельское хозяйство [2], интеллектуальный автономный транспорт [3] и реагирование на стихийные бедствия, включая спасательные, поисковые, операции слежения и т. д. [4, 5].

Мультиагентное моделирование рассматривает систему как совокупность автономных объектов (агентов), каждый из которых обладает собственным набором правил поведения и целей. Согласно классическому определению, в агентной модели система представляется в виде набора автономных субъектов, самостоятельно принимающих решения на основе заданных правил [6]. Каждый агент оценивает свою ситуацию и действует в соответствии со своими целями и стратегией. В контексте инвестиционной системы примерами агентов являются инвесторы, стартапы, корпорации и т.д. Их взаимодействие – конкуренция за ресурсы, сотрудничество, обмен информацией – приводит к формированию коллективного поведения системы [7]. Описание системы с точки зрения ее составных единиц (агентов) соответствует реальности, где каждая фирма или инвестор действует самостоятельно. Благодаря этому модель может учитывать гетерогенность участников (разный размер компаний, разные стратегии инвестирования, различные уровни компетенции управленческих команд проектов и пр.) и динамику их взаимодействий.

В экономике имитационные модели на основе мультиагентного подхода используются для различного спектра инвестиционных задач. Так, в работе [8] исследуется транзакционное поведение инвесторов и заемщиков, не склонных/толерантных/нейтральных к риску, а также механизм работы платформ P2P-кредитования. Создана мультиагентная модель гетерогенных инвесторов (НИМАМ) для моделирования реакции агентов на изменение риска банкротства платформы. Авторами были оценены изменения в средних доходах инвесторов и инвестиционных решениях.

В исследовании [9] представлена схема многоагентных рассуждений, которая включает ТоМ и структурированную критику для поддержки совместного принятия инвестицион-

ных решений. Полученные результаты свидетельствуют о том, что предложенные механизмы улучшают координацию, качество аргументации и анализ рисков, что в конечном итоге приводит к лучше структурированным и обоснованным решениям. Авторами введены агенты на основе большой языковой модели, что сопряжено с признанным набором ограничений: отсутствие согласованного поведения агентов системы и неэффективные коммуникационные интерфейсы [10]. В работе [11] авторы пытаются преодолеть эти ограничения, интегрируя агентов с различными ролями и профилями рисков, а также отражающего агента и специальную команду по управлению рисками в TradingAgents – фреймворк для торговли акциями на основе LLM-агентов, который имитирует реалистичную среду торговой фирмы с несколькими специализированными агентами, участвующими в агентских дебатах и беседах.

В работе [12] разработан мультиагентный симулятор экономических систем, состоящих из гетерогенных домохозяйств, гетерогенных фирм, центрального банка и правительства. Гетерогенность агентов и экзогенные шоки встроены в экономическую систему, где агенты запрашивают и используют информацию от других агентов для принятия решений. Агенты используют методы глубокого обучения для выработки стратегий, оптимизирующих их индивидуальные цели. Тестирование симулятора проходило на основе двух гипотетических экономических сценариев, в которых обучающиеся экономические агенты реагируют друг на друга. В результате был сделан вывод, что анализ стратегий агентов показывает поведение в соответствии с тем, что можно было бы интуитивно ожидать от сценариев.

В работе [13] предложена агентная имитационная модель для исследования поведения объема рыночных сделок. Модель основана на примере одного актива и трех типов агентов инвестора. Каждый инвестор может быть трейдером с нулевым интеллектом, трейдером-фундаменталистом или трейдером, использующим историческую информацию в процессе принятия решений. Авторами смоделировано поведение фондового рынка в соответствии с различными рассматриваемыми эндогенными переменными, такими как макроэкономическая ликвидность, дефицит банковского дела, и экзогенными переменными, такими как неприятие риска. Для реализации предлагаемой модели использовался NetLogo, что сопряжено со значительными ограничениями масштабируемости [14].

В работе [15] предлагается подход, названный Multi-Agent Double Deep Q-Network (MADDQN), который уравнивает стремление к максимальному доходу и избежание риска в рамках многоагентного обучения с подкреплением за счет инновационного использования двух различных агентов, представленных соответственно двумя сетями извлечения признаков временных рядов, TimesNet и Multi-Scale Convolutional Neural Network. Однако хотя предложенная структура по результатам экспериментов на пяти различных фондовых индексах демонстрирует сильную обобщенность, не всегда гарантируется, что торговые решения, принимаемые конечным агентом, являются оптимальными.

Все указанные задачи связаны с большими потоками неструктурированных входных данных, и так как существующие агентные модели на основе методов глубокого обучения и больших языковых моделей, авторы работ сталкиваются с проблемами высокой ресурсоемкости, сложности масштабирования, неопределенности параметров взаимодействия между агентами и трудностями калибровки моделей под реальные условия рынка [16]. Для решения этих проблем мы предлагаем применять агентов на основе мультиагентных рекурсивных нейрокогнитивных архитектур, что позволит решить задачу формализации семантики обработки неструктурированных данных и эффективно бороться со сложностью процессов в СЭС на основе аппарата мультиагентных экзистенциальных отображений [17].

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО ИНВЕСТИРОВАНИЯ

Модель системы инновационного инвестирования представляет собой мультиагентную среду, в которой взаимодействуют различные типы агентов в условиях неопределенности и динамических изменений (рис. 1).

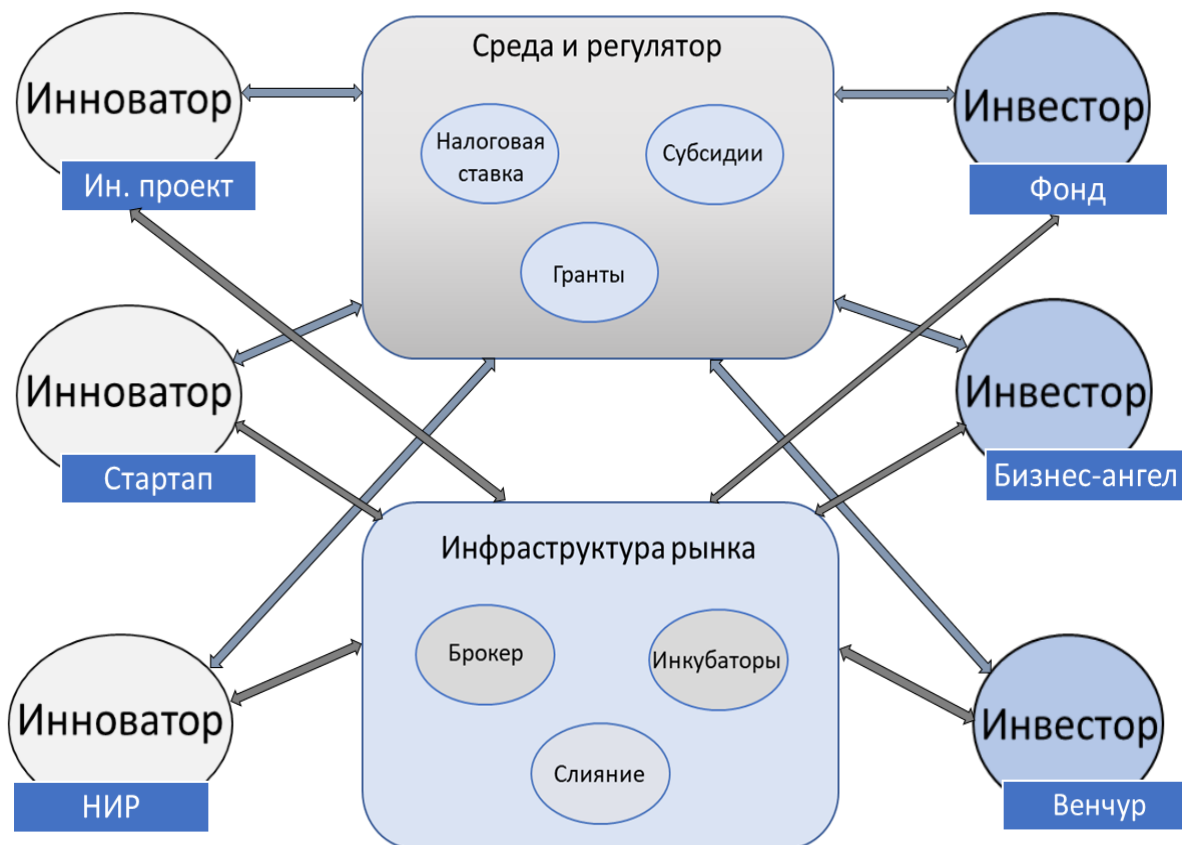


Рис. 1. Модель мультиагентной системы инновационного инвестирования

Fig. 1. Model of the multi-agent system for innovative investment

Агенты-инвесторы. Данные агенты представляют различных инвесторов: частных венчурных капиталистов, фонды, бизнес-ангелов, подразделения корпоративного венчура и пр. Каждый инвестор-агент обладает собственной стратегией инвестирования и набором критериев, на основе которых он принимает решения о вложении в тот или иной проект.

Агенты инноваторы. Этот тип агентов моделирует инновационные проекты, стартап-компании или исследования, нуждающиеся в финансировании. Каждому агенту-инноватору приписывается ряд характеристик: отрасль или технологическая область, текущая стадия развития (идея, прототип, продукт на рынке и т.п.), требуемый объем инвестиций, потенциальная доходность и уровень риска (вероятность успеха). Также важной характеристикой является инновационный потенциал – оценка новизны и перспективности технологии проекта.

Инфраструктура рынка. В системе могут присутствовать специальные агенты, обеспечивающие инфраструктуру рынка. Примером является агент-брокер или платформа, через которую осуществляются сделки между инвесторами и стартапами. Помимо брокеров, к инфраструктурным компонентам относятся рынки, инкубаторы/акселераторы (обеспечивают начальную поддержку проектам) и др.

Среда и регулятор. Внешняя среда модели включает макроэкономические и институциональные условия: налоговые ставки для стартапов и инвесторов, размеры государственных грантов и субсидий, нормативы и ограничения. В ходе моделирования можно изменять параметры регулятора, тем самым имитируя различные варианты государственной политики.

Каждый агент обладает собственной целью и ограниченной рациональностью: так, цель инвестора – максимизировать отдачу на вложения при допустимом уровне риска, в то время как цель инноватора – привлечь финансирование для своего проекта и довести его до успешной реализации. Окружение моделирует экономическую среду с ограниченными ресурсами, конкуренцией проектов и неопределенными факторами (например, вероятность успеха инновации, изменчивость рынка и т.д.). Важно, что агенты обладают неполнотой информации о состоянии системы и друг о друге (частичная наблюдаемость), а их поведение может отклоняться от полностью рационального, отражая реалистичные поведенческие аномалии. Модель учитывает эти аспекты, что соответствует особенностям реальных социально-экономических систем инвестирования в инновации.

Протокол взаимодействия между агентами осуществляется на основе мультиагентного алгоритма. При выполнении мультиагентного алгоритма агенты заключают договорные обязательства, в соответствии с которыми они взаимодействуют друг с другом. Способность агента вступать в договорные отношения с агентами определенного типа на структурном и функциональном уровнях называется валентностью. Под мультиагентным контрактом понимается зависимость, возникающая и развивающаяся, когда агенты заключают друг с другом договорные обязательства на условиях взаимовыгодного обмена энергии на знания. Такая зависимость лежит в основе алгоритма онтонейроморфогенеза [18], согласно которому происходит ситуативно детерминированное формирование аксо-дендрональных (функциональных) связей в головном мозге на основе мультиагентного обмена энергией (питательные вещества) и информацией (нейромедиаторные сообщения) между заинтересованными нейронами головного мозга. Агенты используют информацию для того, чтобы, объединив ее с другой имеющейся, выполнить действие, заключающееся в отправке сообщения некоторым другим агентам в составе архитектуры. Если в результате агент получает вознаграждение, то в соответствии с алгоритмом онтонейроморфогенеза контракт сохраняется и вероятность его использования в дальнейшем увеличивается. Если же агент-нейрон не получает увеличения целевой функции, то эта вероятность снижается и контракт может быть расторгнут.

Анализ входных потоков данных, синтез плана поведения, отправка сообщений другим агентам выполняются системой управления агента, основанной на применении знаний, содержащихся в базе знаний агента. Знания – это динамическая причинно-следственная зависимость, имеющая следующий формат: стартовая (текущая) ситуация, желаемая ситуация, чаще всего это прогноз на ожидаемое состояние энергии, и действие, которое нужно выполнить для перехода из начальной ситуации в конечную. Такой интеллектуальный агент также способен расширять/обновлять свою базу знаний, тем самым обновляя свои планы по достижению желаемых целей [19]. Проактивность и возможность выполнения динамически интеллектуального поведения являются наиболее важными функциями интеллектуального агента.

Каждый интеллектуальный агент в системе оснащен мультиагентной нейрокогнитивной архитектурой, которая задает его внутреннее устройство и поведенческие возможности. Эта архитектура состоит из множества когнитивных модулей (агентов-нейронов, или агнейронов), объединенных в функциональные подсистемы (рис. 2).

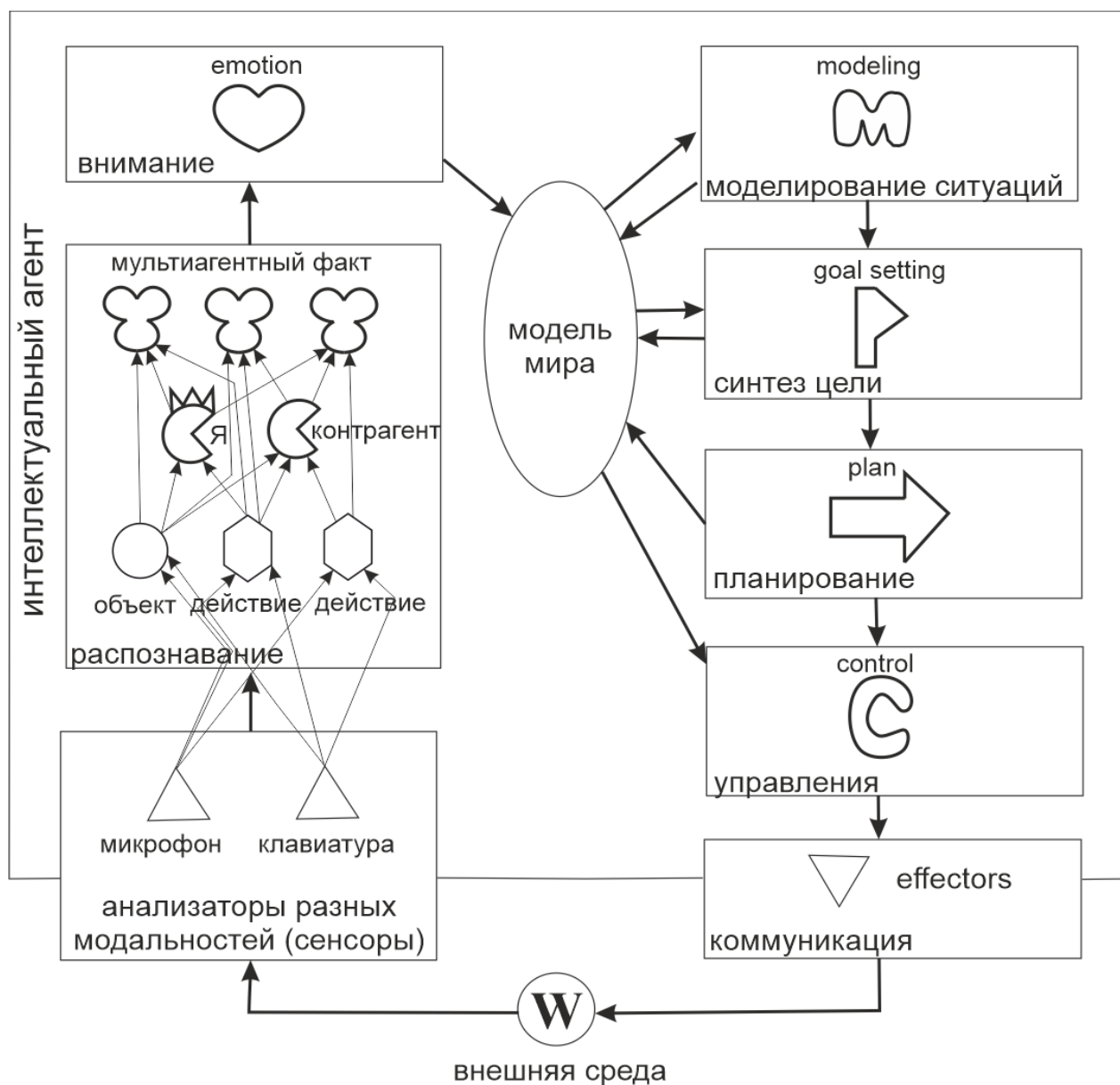


Рис. 2. Базовая архитектура автономного интеллектуального агента

Fig. 2. Basic architecture of an autonomous intellectual agent

Например, можно выделить следующие ключевые подсистемы в рамках одного агента-инвестора:

1. Подсистема распознавания, включающая когнитивные блоки анализа разных модальностей и распознавания ситуаций, – отвечает за прием информации из внешней среды. Для инвестора это могут быть модули, обрабатывающие поступающие проектные предложения (аналоги сенсорных нейронов, преобразующие параметры проекта во внутренние сигналы), а для инноватора – модули, воспринимающие отклики инвесторов и ситуацию на рынке.

2. Подсистема оценки и принятия решений, включающая в себя когнитивные блоки внимания, моделирование ситуаций, – ядро когнитивной архитектуры агента. Инвестор использует эту подсистему для анализа полученных предложений: здесь работают эмоциональные, моделирующие и целевые нейроны, формирующие оценку ценности проекта,

уровня риска, соответствия стратегическим целям. Решение об инвестировании принимается на основе совокупности факторов – это реализуется через функциональную систему, объединяющую причинно-следственные связи между характеристиками проекта и ожидаемой выгодой. Для инноватора аналогичная подсистема определяет, какой проект представить и как его улучшить, ориентируясь на прошлый опыт (например, отказ или успех с предыдущими проектами).

3. Подсистема памяти и обучения, включающая в себя когнитивные блоки синтеза цели, планирования и управления, – отвечает за накопление опыта и адаптацию поведения. Здесь происходят сохранение исходов предыдущих взаимодействий (успешность проектов, поведение конкретных инвесторов) и формирование ассоциативных связей между событиями. Данная подсистема формируется целевыми и управляющими нейронами и специальным нейроном-планировщиком, которые обновляют внутренние параметры агента на основе обратной связи.

4. Коммуникативная подсистема – обеспечивает взаимодействие агента с другими агентами. Она включает рецепторы и эффекторы коммуникации: так, у инноватора и инвестора есть «рецепторы предложений» для приема сообщений (заявок или решений) и «эффекторы ответов» для отправки сообщений контрагенту. В нашей модели коммуникация упрощена до обмена структурированными сообщениями (например, заявка проекта, содержащая ключевые параметры, или ответ инвестора: согласие/отказ с возможными комментариями). Обмен происходит в цифровой форме через сервер, имитируя информационную систему или площадку для инвестирования.

На рисунке 3 (слева) представлен агент-нейрон *Инвестор*, внутренняя структура которого (рис. 3 справа) представляет собой также нейрокогнитивную архитектуру более низкого уровня, состоящую из акторов. По сути, каждый агент представляет рекуррентную сеть активных функциональных блоков, где нейроны-агенты обмениваются сигналами, стремясь максимизировать свои локальные целевые функции, которые в свою очередь состоят из нейронов-акторов, стремящихся к тому же.

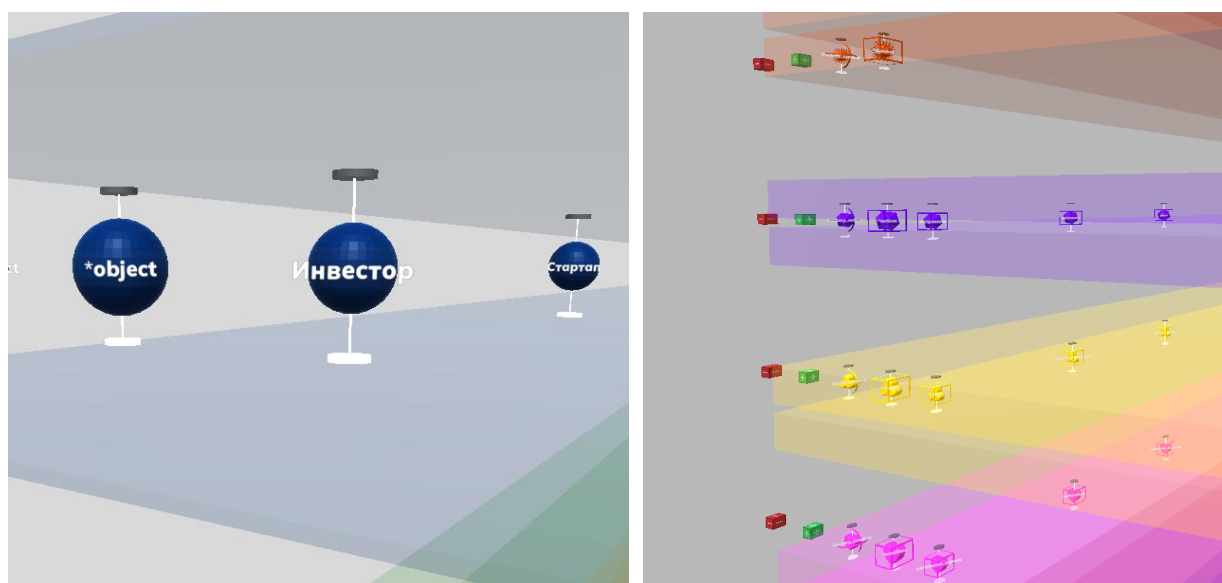


Рис. 3. Интеллектуальный агент и его внутренняя нейроакторная архитектура в окне разрабатываемого редактора имитационного моделирования

Fig. 3. The intellectual agent and its internal neuroactor architecture in the window of the developed editor of simulation modeling

Такой подход вдохновлен гипотезой проактивного нейрона и теорией функциональных систем П. К. Анохина. Благодаря этому модель способна имитировать сложное поведение, возникающее из кооперации множества простых агентов-акторов. Стоит отметить, что мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры уже показали свою эффективность в задачах моделирования процессов рассуждения и принятия решений автономными агентами [20]. В контексте системы инновационного инвестирования такая архитектура позволяет учитывать когнитивные аспекты поведения: например, инвестор может демонстрировать эффект обучения – со временем все лучше оценивает проекты благодаря самоорганизации связей между нейронами-предикатами (признаками проектов) (рис. 4 а) и нейронами-действиями (решениями инвестировать или отказать) (рис. 4 б). Инноватор, со своей стороны, может совершенствовать навыки презентации проекта, адаптируясь к предпочтениям инвесторов.

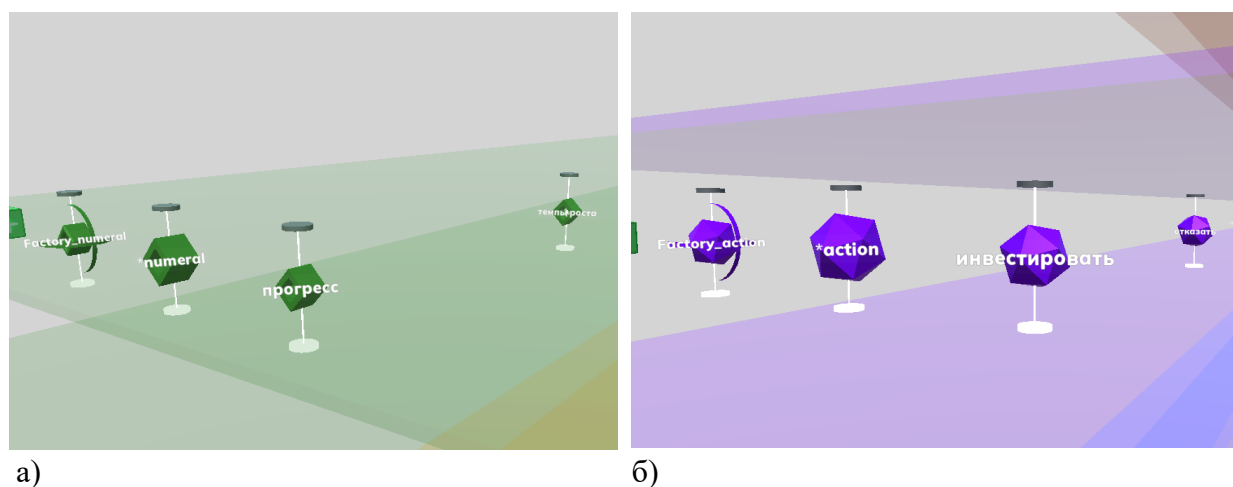


Рис. 4. а) Агнейроны признаки проектов; б) Агнейроны действия

Fig. 4. a) Agneirons signs of projects; b) Agneirons of action

Ключевым элементом разработанной модели является способность агентов к обучению и самообучению на основе накопленного опыта взаимодействий. Все агенты в системе работают совместно, обмениваясь информацией и ресурсами для достижения общих целей. Это координация между агентами позволяет системе эффективно реагировать на сложные и многогранные задачи.

В системе реализован следующий подход к обучению интеллектуальных агентов. Во-первых, каждый агент имеет формализованную целевую функцию, стимулирующую желательное поведение. Для инвестора целевая функция связана с успешностью инвестиций (например, финансовая отдача с поправкой на риск), для инноватора – с вероятностью получить финансирование и успешно довести проект до внедрения. На основе этой целевой функции агент получает вознаграждение (энергию) или наказание (потеря энергии) за каждое значимое событие: успешное инвестирование, потеря средств, получение финансирования и т.д. Во-вторых, поведение агента задается не жестко, а гибко – через множество правил и параметров, которые могут изменяться. В рамках нейрокогнитивной архитектуры поведение определяется совокупностью продукционных правил (то есть правил вида «если условия – то действие»), образующих своего рода «геном» агента. Эти правила хранятся в базе знаний агента и могут модифицироваться в процессе обучения. Обучение происходит итеративно: агент запускает серию имитационных эпизодов (циклов взаимодействия), по итогам которых

оценивается значение его целевой функции; затем с помощью алгоритма онтонейроморфогенеза корректируются правила или настройки, чтобы улучшить будущий результат [21].

Описанный подход к обучению обеспечивает адаптивность всей системы инновационного инвестирования. Агенты улучшают свои стратегии со временем: инвесторы начинают точнее отбирать проекты с учетом скрытых закономерностей (которые выявляются обучением, а не задаются вручную), а инноваторы учатся составлять такие заявки, которые с большей вероятностью привлекут финансирование. Благодаря мультиагентной нейрокognитивной архитектуре процесс обучения протекает ситуативно и распределенно: знания формируются в виде связей между множеством агентов-нейронов, специализированных на разных функциях, и эта сеть самонастраивается под влиянием поступающих сигналов среды. Таким образом, имитационная модель охватывает как структурное (архитектурное) усложнение агентов за счет когнитивных модулей, так и динамическое усложнение за счет обучения, что позволяет идентифицировать поведение системы на задаче инновационного инвестирования и исследовать различные сценарии ее развития.

Для тестирования представленной модели было рассмотрено несколько сценариев, характеризующие динамику системы инновационного инвестирования под различными воздействиями. Например, был рассмотрен случай, когда инвестор выбирает стартап для финансирования в случае, когда регулятор (государство) вводит налоговые послабления для стартапов (снижение ставки налога на прибыль, налоговые каникулы) одновременно с увеличением налоговой ставки для инвесторов. В модели налоговая ставка для стартапов была уменьшена в среднем на 5 %, а для корпораций-инвесторов увеличена на это же значение. Моделирование данного режима показало смешанные результаты. С одной стороны, облегчение налогового бремени привело к появлению новых агентов-стартапов и выживаемости существующих, однако рост налогов для инвесторов снизил общий приток инвестиций, что негативно сказалось на темпах развития агентов-стартапов, также снизился спрос на заключение сделок с новыми участниками рынка. Данный эксперимент иллюстрирует важность баланса в налоговой политике: чрезмерное перераспределение в пользу стартапов может снизить мотивацию инвесторов, а слишком высокая нагрузка на крупный бизнес – сократить стратегические инвестиции.

Если же отменить увеличение налоговой ставки для инвесторов и оставить послабление для стартапов, можно наблюдать увеличение количества агентов-инноваторов и рост динамики системы. Увеличивается конкуренция за венчурный капитал, но также и общее число успешных проектов. Однако следует отметить, что высокая динамика также приводит к росту смертности стартапов на ранних стадиях ввиду обострившейся конкуренции. Данный сценарий указывает на то, что стимулирование предпринимательства может усилить инновационную активность, но требуются механизмы селекции, чтобы ресурсы не рассеивались на заведомо нежизнеспособные проекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена и обоснована мультиагентная имитационная модель системы инновационного инвестирования. Разработана архитектура мультиагентной системы, выделены типы агентов с автономным поведением, определен механизм взаимодействия между участниками, включая координирующих посредников и внешнюю среду с регулируемыми параметрами.

Проведено моделирование различных сценариев, которое показало, что мультиагентный подход успешно воспроизводит качественные эффекты, наблюдаемые в реальной инновационной экономике.

В дальнейшем предполагается расширить модель, включив в нее более подробную классификацию инвесторов и проектов, интеграцию с реальными данными, дополнительные механизмы обучения и коллективного инвестирования.

Разработанная модель может служить основой для создания практических инструментов поддержки принятия решений в сфере инновационного инвестирования и способствовать повышению эффективности инвестиционной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Есикова Т. Н., Вахрушева С. В. Моделирование агентного окружения при разработке мультиагентной системы на примере крупномасштабных инфраструктурных проектов // Вестник СибГУТИ. № 3. 2019. С. 63–69. EDN: BVMADR

Esikova T.N., Vakhrusheva S.V. Modeling of the agent environment in the development of a multi-agent system using large-scale infrastructure projects. *Vestnik SibGUTI*. 2019. No. 3. Pp. 63–69. EDN: BVMADR. (In Russian)

2. Furchi A., Lippi M., Carpio R.F., Gasparri A. Route optimization in precision agriculture settings: A multi-Steiner TSP formulation. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 2023. No. 20. Pp. 2551–2568.

3. Gong T., Zhu L., Yu F.R., Tang T. Edge intelligence in intelligent transportation systems: a survey. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2023. No. 24. Pp. 8919–8944.

4. Wang H., Wang C., Zhou K. et al. TEBChain: A trusted and efficient blockchain-based data sharing scheme in UAV-assisted IoV for disaster rescue. *IEEE Trans. Netw. Serv. Manag.* 2024. No. 21. Pp. 4119–4130.

5. Liu Z., Qiu C., Zhang Z. Sequence-to-sequence multi-agent reinforcement learning for multi-uav task planning in 3D dynamic environment. *Appl. Sci.* No. 12. 2022. P. 12181.

6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е издание. М.: Вильямс, 2016. 1408 с.

Russell S., Norvig P. *Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod* [Artificial Intelligence: A Modern Approach]. 2nd edition. Moscow: Vil'yams, 2016. 1408 p. (In Russian)

7. Bonabeau E. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2002. No. 99(3). Pp. 7280–7287.

8. Liu J., Dong J. A multi-agent simulation of investment choice in the P2P lending market with bankruptcy risk. *Journal of Simulation*. 2020. No. 16. Pp. 1–15. DOI: 10.1080/17477778.2020.1759386

9. Kostka A., Chudziak J.A. Towards cognitive synergy in LLM-based multi-agent systems: integrating theory of mind and critical evaluation. *arXiv preprint arXiv:2507.21969*. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2507.21969

10. Бородулин И. В. Увеличение точности больших языковых моделей с помощью расширенной поисковой генерации // Вестник науки. 2024. Т. 3. № 3(72). 2024. С. 400–405. EDN: CXUKPU

Borodulin I.V. An increase in the accuracy of large language models using extended search generation. *Science Bulletin*. Vol. 3. No. 3(72). 2024. Pp. 400–405. (In Russian)

11. Xiao Y. et al. TradingAgents: Multi-agents LLM financial trading framework. *arXiv preprint arXiv:2412.20138*. 2024.

12. Dwarakanath K., Vyetenko S., Tavallali P., Balch T. ABIDES-Economist: Agent-based simulation of economic systems with learning agents. *arXiv preprint arXiv:2402.09563*. 2024

13. Souissi M.A., Bensaid K., Ellaia R. Multi-agent modeling and simulation of a stock market. *Investment Management & Financial Innovations*. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 123.
14. Locatelli M., Pellegrini L., Accardo D. et al. People flow management in a healthcare facility through crowd simulation and agent-based modeling methods. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023. No. 2600. DOI: 10.1088/1742-6596/2600/14/142007
15. Huang Y., Zhou Ch., Cui K., Lu X. A multi-agent reinforcement learning framework for optimizing financial trading strategies based on TimesNet. *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 237. P. 121502.
16. Paul J. Multi-agent systems for collaborative investment strategy design. 2024.
17. Нагоев З. В. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013. 211 с.
Nagoev Z.V. *Intellectika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izd-vo KBNTS RAN, 2013. 211 p. (In Russian)
18. Нагоев З. В. Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. №. 4. С. 63–71. EDN: QZTFLX
Nagoev Z.V. Multiagenic existential displays and functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2013. No. 4. Pp. 63–71. EDN: QZTFLX (In Russian)
19. 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: 10.35330/1991-6639-2020-3-95-23-31
20. Bzhikhatlov K., Nagoeva O., Anchokov M., Makoeva D. Methods and algorithms (modeling of reasoning) to synthesize intellectual behavior of autonomous mobile robots and program complexes based on received reasoning models. In: Samsonovich A.V., Liu T. (eds) *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2024. BICA 2024. Studies in Computational Intelligence*. 2024. Vol. 477. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-76516-2_7
21. Пшенокова И. А., Нагоева О. В., Апишев А. З., Энес А. З. Формирование динамических причинно-следственных зависимостей при управлении поведением интеллектуального агента на основе формализма мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5(109). С. 73–80. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-73-80
Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Apshev A.Z., Ennes A.Z. Formation of dynamic causal dependencies in the management of the behavior of an intellectual agent based on the formalism of multiagenic neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 73–80. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-73-80. (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

Айгумов Арслан Абдусаламович, аспирант кафедры «Мультиагентные интеллектуальные робототехнические системы» Научно-образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360002, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

arrrslan@mail.ru

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;

доцент кафедры «Компьютерные технологии и информационная безопасность», Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

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

Information about the authors

Arslan A. Aigumov, Postgraduate Student of the Department of Multi-Agent Intellectual Robotics Systems of the Scientific and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

arrrslan@mail.ru

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, 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;

Associate Professor of the Department of Computer Technology and Information Security, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov;

173 Chernyshevsky street, Nalchik, 360004, Russia;

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

Мультиагентное моделирование в биологии растений

М. И. Анчёков[✉], Ж. Х. Курашев

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

Аннотация. Традиционные методы, такие как системы алгебраических или дифференциальных уравнений, L-системы или функционально-структурные модели, зачастую не способны в полной мере моделировать динамическое взаимодействие растений со средой. Мультиагентные системы позволяют представить моделируемый объект как коллектив автономных агентов, представляющих отдельные функциональные части, каждая из которых следует локальным правилам, обеспечивающим принятие решения и взаимодействие с внешней средой.

Цель исследования – анализ современных подходов к мультиагентному моделированию в биологии растений.

Проведенный анализ ряда публикаций показал, что моделирование на основе мультиагентного подхода воспроизводит рост апельсинового дерева, архитектуру корневой системы, морфологическую адаптацию черной ольхи, поведенческую пластичность животных в растительных экосистемах и позволяет реализовать цифровые двойники пшеницы. В рассмотренных работах особое внимание уделяется эмерджентным свойствам предложенных моделей, которые проявляются без явного задания глобальных правил. Результаты проведенного анализа демонстрируют высокий потенциал мультиагентного подхода как инструмента моделирования морфологических и физиологических процессов биологических систем, а также его перспективность в задачах цифрового земледелия, селекции и прогнозирования урожайности в условиях изменяющегося климата. Этот подход способен учитывать пространственную неоднородность среды и временные изменения условий.

Представленный обзор исследований показывает, что подход на основе мультиагентных систем успешно применяется для моделирования роста деревьев, корневых систем, популяционной динамики, цифровых двойников сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: мультиагентное моделирование, фенотипическая пластичность, цифровой двойник, агентно-ориентированное моделирование, эмерджентные свойства

Поступила 03.09.2025, одобрена после рецензирования 29.09.2025, принята к публикации 06.10.2025

Для цитирования. Анчёков М. И., Курашев Ж. Х. Мультиагентное моделирование в биологии растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 26–33. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-26-33

Multi-agent modeling in plant biology

M.I. Anchekov[✉], Zh.Kh. Kurashev

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

Abstract. Traditional methods, such as systems of algebraic or differential equations, L-systems, or functional-structural models, are often unable to fully simulate the dynamic interactions of plants with their environment. Multi-agent systems allow the modeled object to be represented as a collective of autonomous agents representing individual functional parts, each of which follows local rules that ensure decision-making and interaction with the external environment.

Aim. The study is to analyze modern approaches to multi-agent modeling in plant biology.

An analysis of several publications revealed that multi-agent modeling reproduces orange tree growth, root system architecture, the morphological adaptation of black alder, and the behavioral plasticity of animals in plant ecosystems, enabling the implementation of digital twins of wheat. The reviewed studies place particular emphasis on the emergent properties of the proposed models, which manifest themselves without explicitly defining global rules. The results of the analysis demonstrate the high potential of the multi-agent approach as a tool for modeling the morphological and physiological processes of biological systems, as well as its potential for digital farming, breeding, and yield forecasting in a changing climate. This approach is capable of accounting for spatial heterogeneity of the environment and temporal changes in conditions.

The presented review of research shows that the approach based on multi-agent systems is successfully applied to modeling tree growth, root systems, population dynamics, and digital twins of agricultural crops.

Keywords: multi-agent modeling, phenotypic plasticity, digital twin, agent-based modeling, emergent properties

Submitted on 03.09.2025,

approved after reviewing on 29.09.2025,

accepted for publication on 06.10.2025

For citation. Anchekov M.I., Kurashev Zh.Kh. Multi-agent modeling in plant biology. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 26–33. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-26-33

ВВЕДЕНИЕ

Современное растениеводство, генетика и биология растений все чаще сталкиваются с необходимостью интеграции морфологических, физиологических и экологических данных в единые динамические модели, способные отражать сложность реальных растительных систем. Традиционные подходы к моделированию роста растений, такие как L-системы, фрактальные модели или функционально-структурные модели зачастую ограничены в способности отражать динамическое взаимодействие растения со средой, особенно на уровне локальных реакций и самоорганизации. В этом контексте мультиагентное моделирование предлагает мощную альтернативу: оно позволяет рассматривать растение как совокупность автономных взаимодействующих элементов (агентов), каждый из которых обладает собственными правилами восприятия, принятия решений и поведения. Такой подход естественным образом воспроизводит эмерджентные свойства без необходимости задавать их в явном виде.

Целью настоящего исследования является анализ современных подходов к мультиагентному моделированию в биологии растений.

В статье [1] моделируют рост апельсинового дерева на основе мультиагентной модели ORASIM. В этой модели метамеры и сегмент корневой системы представлены в виде отдельных агентов, интегрирующих геометрию и физиологические процессы.

Взаимодействие агентов реализовано через передачу сообщений. Наземная часть растения (*метамер*) состоит из следующих элементов: междоузлие, представленное цилиндром; лист, представленный эллипсом; плод, представленный сферой. Геометрическая структура корня состоит из трех зон: апикальная и базальная зоны представлены цилиндрами, а ветвления усеченным конусом. Такое представление метамера и корня обеспечивает высокую визуальную и морфологическую достоверность трехмерной модели апельсинового дерева.

С функциональной точки зрения агент-метамер состоит из элементов: датчика для восприятия внешних стимулов и получения сообщений, отправляемых соседними агентами; эффектора для выполнения физиологических правил и отправки сообщений соседним агентам; интерфейса пользовательских операций для получения команд или сообщений с панели управления; коммуникационного модуля для обработки и анализа сообщений; памяти для хранения данных; контроллера для управления модулями и доступа к памяти; краткосрочного планировщика и арбитра.

Для параметризации модели было высажено 50 деревьев: 4 дерева использовались для анализа состояний меристемы, 30 деревьев для измерений углеродного обмена, роста и 16 для валидации модели.

Процесс валидации модели показал, что визуально форма кроны, ветвление и общая структура симулированного дерева хорошо соответствовали реальным апельсиновым деревьям, также совпадали такие количественные показатели, как высота, площадь листовой и общая биомасса.

Далее были проведены четыре эксперимента по моделированию роста деревьев: при оптимальных условиях, низкой температуре, низком уровне освещенности, водном стрессе. Реакция измерялась на трех временных масштабах: краткосрочный (1 месяц), среднесрочный (1 год) и долгосрочный (6 лет). Авторы проанализировали реакции и сделали выводы, что реакции возникали спонтанно как следствие локальных взаимодействий агентов без централизованного управления, что подтверждает способность модели воспроизводить фенотипическую пластичность как эмерджентное свойство.

В статье [2] авторы моделируют экологические системы с учетом фенотипической пластичности и косвенных взаимодействий организмов. С помощью разработанной вычислительной системы COIN (Complex Interaction Network), основанной на агентном моделировании, авторы проверяют две гипотезы, что фенотипическая пластичность [3] играет центральную роль в динамике экосистем и экологические процессы в значительной степени определяются не только прямыми, но и косвенными взаимодействиями, включая плотностно-опосредованные (*density-mediated indirect interactions*) и опосредованные признаками (*trait-mediated indirect interactions*) эффекты.

В основе работы COIN лежит агентное моделирование. Каждый организм представлен как автономный агент со своим набором поведенческих и физиологических правил. Агенты взаимодействуют не только друг с другом, но и с пространственно-неоднородной и изменяющейся средой, включающей такие компоненты, как температура, освещенность, ресурсы и ландшафт.

Агенты, изначально обладающие одинаковым набором правил и параметров, демонстрируют различия в фенотипе из-за стохастических отклонений в начальных условиях и локальных особенностей среды, с которой они взаимодействуют. Особенность COIN заключается в том, что фенотипическая пластичность не задается в модели напрямую,

как фиксированная функция, а возникает эмерджентно, как результат самоорганизации. Для проверки сформулированных гипотез авторы провели три модельных эксперимента: дифференциация размеров у плотвы (*Rutilus rutilus*), изменение поведения европейской малиновки (*Erithacus rubecula*) в условиях потепления и морфологическая адаптация черной ольхи (*Alnus glutinosa*) к изменению света и температуры.

В первом эксперименте показано, что в модельной среде обитания озера площадью около $1,1 \text{ км}^2$ с разрешением сетки $50 \times 50 \text{ м}$, в которой учтены такие параметры, как температура воды и продолжительность дня, обилие пищи в литоральной и пелагиальной частях, а также биоэнергетика и развитие биомассы отдельных рыб, изначально однородный по размеру годовой класс рыб спонтанно разделяется на две подгруппы: одни особи остаются мелкими, другие достигают пороговой длины (примерно 13 см), что позволяет им использовать моллюсков как дополнительный источник пищи, ускоряя рост и способствуя достижению половой зрелости раньше. Это явление возникает за счет стохастических различий в доступе к пище и усиливается через локальные взаимодействия со средой.

Во втором эксперименте моделируется репродуктивное поведение европейской малиновки (*Erithacus rubecula*) в зависимости от изменений температуры и доступности пищи. Модельная среда была ограничена участком в 25,6 га с разрешением $4 \times 4 \text{ м}$. Моделирование основывалось на двух сценариях: стандартные климатические условия и сценарий с глобальным потеплением. Каждый сценарий запускался 50 раз с разными случайными начальными условиями для учета стохастичности. В условиях потепления малиновки начали размножаться раньше, а сезон стал длиннее и равномернее. Среднее число яиц на самку выросло с 10,6 до 15,6, а выводков – с 2,0 до 2,7 в год. Это стало возможным благодаря перераспределению родительских обязанностей: самцы увеличили время кормления птенцов с 68 до 124 мин./день, позволяя самкам начинать новое гнездование до полной независимости предыдущего выводка. Время, затрачиваемое самками на репродукцию, выросло со 137 до 219 мин./день. Такое поведение, ранее редкое и наблюдаемое лишь в отдельные теплые годы, по модели может стать нормой при устойчивом потеплении. Все изменения возникли самоорганизованно, без различий в «генотипе» агентов, за счет стохастичности и локального взаимодействия со средой.

В третьем эксперименте моделировалась морфологическая пластичность черной ольхи (*Alnus glutinosa*) с помощью индивидуально-ориентированной модели ALMIS [4]. Дерево представлялось как совокупность модулей: листьев, междоузлий, меристем и корней, каждый из которых обладал собственными физиологическими процессами, такими как фотосинтез, дыхание и транспорт веществ. В модели учитывается пространственное расположение органов и их взаимное влияние, включая затенение и конкуренцию за ресурсы. В сценариях с пониженной температурой и освещенностью деревья демонстрировали значительное снижение роста: при низком свете они достигали лишь половины высоты контрольных, имели меньше побегов и листьев, а при низкой температуре – меньший объем и биомассу. Эти результаты показали, как локальные физиологические реакции на уровне отдельных модулей приводят к выраженным фенотипическим изменениям на уровне всего растения.

В статье [5] представлена модель роста корневой системы растений на основе Swarm Grammars [6] гибридного формализма, объединяющего L-системы [7, 8] и агентное моделирование.

Авторы утверждают, что такая архитектура модели позволяет воспроизводить сложные элементы корневой архитектуры, включая тропизмы, зональное ветвление и пластичность роста, при этом сохраняя возможность прямого взаимодействия пользователя со симуляцией в реальном времени. Среда, в которой находятся корни, представляет собой облако

точек, позволяющее задавать неоднородное распределение различных элементов модели, такие как почва, препятствия, питательные вещества, вредные металлы и соль. В модели используются два типа агентов. Водные агенты не управляются продукционными правилами, а лишь реагируют на данные окружающей среды. Под действием гравитации они движутся вниз и отдают воду ближайшим точкам почвы, пока не исчерпают свой запас. Корневые агенты расположены на кончиках растущих корней и способны реагировать на множество внешних стимулов: гравитацию, соль, химические вещества, магнитные поля, механические препятствия и воду. Направление роста выбирается стохастически из конуса возможных направлений таким образом, чтобы минимизировать или максимизировать функцию, соответствующую конкретному тропизму. Итоговое ускорение агента рассчитывается как взвешенная сумма всех активных тропизмов и силы, предотвращающей столкновения. Рост корней регулируется вероятностными продукционными правилами, заимствованными из L-систем, но адаптированными для агентного подхода: с определенной вероятностью агент может сменить тип или породить новый боковой корень. Для верификации модели использовался экспертный метод.

В статье [9] предлагают новую парадигму моделирования роста растений на основе агентно-ориентированного подхода. Основная гипотеза исследования заключается в том, что традиционные методы виртуального моделирования роста растений, такие как L-системы, АМАР-модели и фрактальные подходы, недостаточно учитывают динамическое взаимодействие растений с окружающей средой, а также процессы конкуренции и эволюции на уровне популяций. Авторы предполагают, что внедрение концепции интеллектуального агента [10] позволит преодолеть эти ограничения за счет наделения виртуальных растений свойствами автономности, реактивности, инициативности, коммуникабельности и способности к обучению.

Для реализации того подхода предложена агентная архитектура, включающая три ключевые подсистемы: систему поведения (conduct system), перцептивную систему (perceptual system) и систему эволюции (evolution system).

Система поведения включает морфологическую и физиологическую модели. Морфология учитывает генетические и экологические факторы. Физиологическая модель делит жизненный цикл на три фазы: рост, пик развития и угасание. Перцептивная система реализована с помощью каскадной процессной нейронной сети, способной обрабатывать временные последовательности входных данных (температура, освещенность).

В предложенной модели каждое внешнее воздействие, такое как изменение температуры или освещенности, воспринимается системой принятия решений как стимул. В ответ на этот стимул растение выбирает определенное поведение. Выбор конкретного поведенческого действия осуществляется вероятностно: вероятность выполнения того или иного действия определяется соответствующим элементом вектора весов. После реализации действия веса обновляются в зависимости от эффективности реакции, что обеспечивает способность модели к обучению на основе накопленного опыта взаимодействия со средой.

Эволюционная система моделирует способность растения адаптироваться к среде через изменение степени приспособленности в течение его жизни. Эта степень низка в начале (слабый рост), максимальна в середине жизненного цикла (пик развития и размножения) и снова снижается к концу (старение).

Для упрощения модель игнорирует изменчивые внешние факторы и использует идеализированную функцию приспособленности. Эта функция позволяет встроить биологически правдоподобную динамику жизнеспособности в агентную модель растения.

С целью демонстрации предложенной модели была выбрана соя. Экспериментальная фаза включала выращивание сои на опытных полях с вариацией плотности посева и характеристики почвы. Фаза извлечения параметров была необходима для калибровки модели. В фазе моделирования были добавлены перцептивная и поведенческая системы. Опыты показали практическую реализуемость предложенной агентной архитектуры. Хотя валидация ограничена описанием методики (без количественных метрик точности), авторы четко связывают теоретическую модель с реальными биологическими и агрономическими данными, что повышает доверие к подходу и открывает путь для применения в цифровом земледелии и селекции.

В работах [11, 12] авторы указывают, что подходы, основанные на системах алгебраических или дифференциальных уравнений, а также на методах машинного обучения, не подходят для решения задач моделирования роста и развития растений. Они не учитывают дискретную природу фаз развития растений, в ходе которых системные параметры изменяются скачкообразно.

Авторы предлагают концепцию цифрового двойника (Digital Twin [13]) пшеницы, построенного на основе онтологической модели и мультиагентной системы. В рамках этой архитектуры каждый этап развития представлен автономным программным агентом, который при поступлении новых данных в динамическом режиме пересчитывает прогноз урожайности. Далее авторы [14] предлагают рассматривать цифровой двойник растения для управления точным земледелием в рамках кибер-физической системы (Cyber-Physical System [15]). В качестве модельного объекта для демонстрации подхода была выбрана пшеница, которая в процессе развития проходит порядка 100 микростадий, объединенных в 10 макростадий (например, прорастание, кущение, колошение, цветение, созревание и т.д.).

Каждая стадия развития растения моделируется отдельным программным агентом, который получает данные о погоде (фактические и прогнозные), вычисляет длительность своей стадии, пересчитывает выходные параметры (например, влияние на урожайность) и передает результаты агентам следующих стадий по цепочке. Данный подход позволяет динамически обновлять весь план развития растения при любом изменении условий. Для функционирования агентов требуется структурированная база знаний, описывающая граф переходов между микростадиями, параметры каждой стадии, временные характеристики, признаки нормального и отклоняющегося развития.

Авторы демонстрируют работоспособность предложенного подхода в симуляции на примере озимой пшеницы в условиях Самарской области, показывая различия в сроках созревания и урожайности в зависимости от микроклимата.

Выводы

Мультиагентное моделирование открывает новые возможности для понимания сложных, самоорганизующихся процессов в биологии растений, позволяя воспроизводить адаптацию и взаимодействие с окружающей средой на основе локальных правил агентов. Представленный обзор исследований показывает, что подход на основе мультиагентных систем успешно применяется для моделирования роста деревьев, корневых систем, популяционной динамики, цифровых двойников сельскохозяйственных культур. Эмерджентные свойства, возникающие без централизованного управления, делают мультиагентные модели особенно ценными для изучения адаптивного поведения растений и разработки решений в области точного земледелия и селекции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Qu H., Wang Yo., Cai Lg, Wang T. Orange tree simulation under heterogeneous environment using agent-based model ORASIM. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2012. Vol. 23. Pp. 19–35. DOI: 10.1016/j.simpat.2011.12.005
2. Reuter H., Jopp F., Hölker F., Eschenbach Ch.A. The ecological effect of phenotypic plasticity – Analyzing complex interaction networks (COIN) with agent-based models. *Ecological Informatics*. 2008. Vol. 3. No. 1. Pp. 35–45. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2007.03.010
3. Иорданский Н. Н. Фенотипическая пластичность организмов и эволюция // Русский орнитологический журнал. 2024. Т. 33. № 2385. С. 294–303. EDN: HTMMOX
Iordansky N.N. Phenotypic plasticity of organisms and evolution. *Russkiy ornitologicheskii zhurnal* [Russian Ornithological Journal]. 2024. Vol. 33. No. 2385. Pp. 294–303. EDN: HTMMOX. (In Russian)
4. Eschenbach C. The effect of light acclimation of single leaves on whole tree growth and competition – an application of the tree growth model ALMIS. *Annals of Forest Science*. 2000. Vol. 57. No. 5. Pp. 599–609. DOI: 10.1051/forest:2000145
5. Mußmann M., Hofstadler D.N., Mammen S. von. An Agent-based, Interactive Simulation Model of Root Growth. *The 2024 Conference on Artificial Life*. 2024. DOI: 10.1162/isal_a_00718
6. Raies Y., von Mammen S. A Swarm Grammar-Based Approach to Virtual World Generation. *Lecture Notes in Computer Science*. 2021. Pp. 459–474. DOI: 10.1007/978-3-030-72914-1_30
7. Lindenmayer A. Mathematical models for cellular interactions in development II. Simple and branching filaments with two-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology*. 1968. Vol. 18. No. 3. Pp. 300–315. DOI: 10.1016/0022-5193(68)90080-5
8. Prusinkiewicz P. Pillars of theoretical biology: Mathematical models for cellular interaction in development. I and II. *Journal of Theoretical Biology*. 2025. No. 609. P. 112142
9. Li X., Su Zh., Sun H., Zheng P. Agent-based plant growth modeling. *ICICSE '09: Proceedings of the 2009 Fourth International Conference on Internet Computing for Science and Engineering*. 2009. Pp. 6–11. DOI: 10.1109/ICICSE.2009.8
10. Garro A., Falcone A., Baldoni M. et al. Intelligent agents: multi-agent systems. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*. 2025. Pp. 379–385.
11. Skobelev P., Laryukhin V., Simonova E. et al. Multi-agent approach for developing a digital twin of wheat. In *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. 2020. Pp. 268–273. DOI: 10.1109/smartcomp50058.2020.00062
12. Тихонов А. А., Головатый В. С. Модели планирования развития растения для сервиса цифрового двойника сельскохозяйственных культур // Modern Science. 2022. № 2-2. С. 278–283. EDN: IYEJFS
Tikhonov A.A., Golovaty V.S. Plant development planning models for digital twin services for crops. *Modern Science*. 2022. No. 2-2. Pp. 278–283. EDN: IYEJFS. (In Russian)
13. Grieves M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. White Paper. 2015.
14. Skobelev P., Mayorov I., Simonova E. et al. Development of digital twin of plant for adaptive calculation of development stage duration and forecasting crop yield in a cyber-physical system for managing precision farming. *Studies in Systems, Decision and Control*. Springer. 2021. Pp. 83–96. DOI: 10.1007/978-3-030-67892-0_8
15. Lee E.A. Cyber physical systems: design challenges. *2008 11th IEEE international symposium on object and component-oriented real-time distributed computing (ISORC)*. 2008. Pp. 363–369. DOI: 10.1109/ISORC.2008.25

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

Анчёков Мурат Инусович, заведующий лабораторией «Имитационное моделирование феногенетических процессов» НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360002, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>, SPIN-код: 3299-0927

Курашев Жираслан Хаутиевич, заведующий НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360002, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

kurashev-j@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-6122>, SPIN-код: 8549-2620

Information about the authors

Murat I. Anchekov, Head of the Laboratory of Simulation Modeling of Phenogenetic Processes of the Scientific and Innovation Center “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

Zhiraslan Kh. Kurashev, Head of the Scientific and Innovation Center “Intelligent Genetic Systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

kurashev-j@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-6122>, SPIN-code: 8549-2620

Модель сигма-пи нейронной сети для кластеризации данных

Р. А. Жилов

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. Селевые потоки представляют собой один из наиболее разрушительных геологических процессов, сложность прогнозирования которых обусловлена их многофакторной природой и сильными нелинейными зависимостями между определяющими факторами. Традиционные методы моделирования ограничены в интерпретируемости и способности учитывать взаимодействия признаков, что требует разработки новых подходов.

Цель исследования. Разработка и апробация архитектуры сигма-пи нейронной сети для кластеризации селевых потоков с учетом морфометрических и генетических характеристик, а также выявление ключевых факторов и их комбинаций, определяющих формирование различных типов селей.

Материалы и методы. В качестве исходных данных использовались кадастровые сведения о селевых процессах юга европейской части России. Для анализа применялась сигма-пи нейронная сеть, способная учитывать как линейные признаки, так и их взаимодействия второго порядка. Для выбора числа кластеров использовался коэффициент силуэта. Проведено сравнение с результатами кластеризации, полученными методом самоорганизующихся карт Кохонена (SOM).

Результаты. Модель выделила три устойчивых кластера, соответствующих грязевым, каменным и грязекаменным типам селей. Анализ значимости признаков показал, что наибольший вклад в формирование кластеров вносят площадь бассейна, уклон русла, максимальный объем отложений и их попарные комбинации. Сравнение с SOM подтвердило более высокую интерпретируемость предложенной модели и ее способность выявлять скрытые нелинейные зависимости.

Выводы. Применение сигма-пи нейронных сетей позволяет не только повысить качество кластеризации селевых потоков, но и обеспечить интерпретируемость результатов за счет анализа значимости признаков и их комбинаций. Такой подход перспективен для инженерной геологии и может быть использован в системах геоэкологического мониторинга и прогнозирования опасных процессов.

Ключевые слова: селевые потоки, кластеризация, сигма-пи нейронная сеть, машинное обучение, интерпретируемость, нелинейные зависимости, инженерная геология, геоэкологический мониторинг

Поступила 14.07.2025, одобрена после рецензирования 26.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Жилов Р. А. Модель сигма-пи нейронной сети для кластеризации данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 34–42. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-34-42

MSC: 68T09

Original article

Sigma-pi neural network model for data clustering

R.A. Zhilov

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. Mudflows are some of the most destructive geological phenomena, and their prediction is challenging due to their complexity and the strong nonlinear relationships between the various factors that contribute to their formation. Traditional modeling methods have limitations in their ability to interpret and account for the complex interactions between different factors, and this lead to the need for the development of more advanced approaches.

Aim. The study aims to develop and test a sigma-pi neural network architecture for mudflow clustering based on morphometric and genetic characteristics as well as to identify the key factors and their combinations that contribute to the formation of different mudflow types.

Materials and methods. Cadastral data on mudflows in the southern European part of Russia is used as the initial data. A sigma-pi neural network capable of accounting for both linear features and their second-order interactions is employed for analysis. A silhouette coefficient is used to determine the number of clusters. The results are compared with those obtained using Kohonen's self-organizing maps (SOM).

Results. The model identified three stable clusters corresponding to mud, rock, and mud-rock types of mudflows. Analysis of the significance of features has revealed that the basin area, channel slope, and maximum sediment volume make the greatest contributions to cluster formation, as well as their various pairwise combinations. Comparison with the SOM (self-organizing map) confirmed the improved interpretability of the proposed model and its ability to identify hidden, nonlinear relationships.

Conclusions. The use of sigma-pi neural networks not only improves the accuracy of mudflow clustering, but also ensures the interpretability of the results by analyzing the significance of features and their combinations. This approach is promising for engineering geology and can be used in geoeological monitoring systems and forecasting of hazardous processes.

Keywords: mudflows, clustering, sigma-pi neural network, machine learning, interpretability, nonlinear dependencies, engineering geology, geo-environmental monitoring

Submitted on 14.07.2025,

approved after reviewing on 26.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Zhilov R.A. Sigma-pi neural network model for data clustering. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 34–42. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-34-42

ВВЕДЕНИЕ

Селевые потоки относятся к числу наиболее разрушительных и трудно прогнозируемых геологических явлений. Их формирование происходит стремительно, а воздействие сопровождается высокой энергией, масштабными разрушениями и угрозой для жизни людей, инфраструктуры и природных комплексов горных и предгорных территорий. Сложность изучения этих процессов связана с их многофакторной природой: на динамику потоков одновременно влияют геологические условия, морфометрия водосборных бассейнов, гидрометеорологические факторы, а также сложное взаимодействие твердой и жидкой составляющих. Вследствие этого наблюдается значительная изменчивость селевых потоков по морфологическим и реологическим параметрам, что затрудняет создание универсальных классификационных и прогностических моделей [1].

Для анализа селевых процессов на протяжении последних десятилетий применяются различные типы моделей. Физико-математические (реологические) модели позволяют описывать движение и трансформацию селевой массы с учетом ее вязкости, плотности и гранулометрического состава. Несмотря на их физическую обоснованность, такие модели требуют большого количества исходных параметров, которые сложно измерить в полевых условиях, и потому их использование ограничено. Статистические подходы, напротив, базируются на выявлении эмпирических зависимостей и отличаются относительной простотой и интерпретируемостью, но плохо справляются с описанием нелинейных эффектов и ситуаций с перекрывающимися классами, что характерно для природных потоков [2, 3].

Развитие машинного обучения открыло новые возможности в исследовании сложных геопроцессов. Методы этой группы позволяют работать с многомерными наборами данных, выявлять скрытые закономерности и обеспечивать высокую предсказательную точность при решении задач классификации и кластеризации [4, 5]. При этом в задачах анализа природных систем часто используются алгоритмы кластеризации на основе нейронных сетей – такие как карты Кохонена (SOM), автоэнкодеры и их вариации, гибридные модели с элементами вероятностных подходов. Эти методы показали высокую эффективность в выделении скрытых структур в данных, но в то же время страдают от ограниченной интерпретируемости, что снижает их применимость в инженерной геологии, где важно не только получить прогноз, но и объяснить ключевые факторы его формирования.

В этом контексте особый интерес представляют архитектуры, способные сочетать возможности нейросетевых моделей с большей прозрачностью анализа. Одним из перспективных направлений являются сигма-пи нейронные сети, которые развивают классическую модель, вводя мультипликативные связи между признаками. Такая архитектура позволяет учитывать как линейные зависимости, так и нелинейные взаимодействия второго и более высоких порядков, что критически важно для изучения сложных природных процессов. Применение сигма-пи сетей в задачах кластеризации селевых потоков открывает возможность более точного выявления типов селей и одновременно обеспечивает интерпретируемость получаемых результатов.

В настоящей работе исследуется применение сигма-пи нейронной сети для кластеризации селевых потоков на основе их морфометрических и генетических характеристик. Отдельное внимание уделено анализу важности факторов и их комбинаций, что позволяет выделить ключевые детерминанты формирования различных типов селевых процессов. Результаты исследования вносят вклад в понимание закономерностей возникновения селей и могут найти практическое применение в прогнозировании, инженерной защите и мониторинге опасных процессов.

АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ СИГМА-ПИ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

Классические многослойные персептроны (MLP) выполняют суммативную агрегацию входных признаков: каждый нейрон скрытого слоя вычисляет линейную комбинацию входных переменных с соответствующими весами, после чего результат проходит через нелинейную функцию активации. Такой подход хорошо работает при наличии сложных нелинейных зависимостей, однако он не всегда позволяет явно учитывать взаимодействия между признаками, особенно когда речь идет о геологических процессах, где комбинация факторов зачастую важнее их индивидуального вклада.

Сигма-пи нейронные сети (σ - π сети) расширяют классическую архитектуру, добавляя к суммативной (σ) части нейрона мультипликативную (π) часть. Это позволяет учитывать не только линейные эффекты отдельных признаков, но и их попарные, тройные и более сложные взаимодействия. Таким образом, нейрон данной архитектуры фактически моделирует не только сумму взвешенных признаков, но и произведения переменных, что делает модель особенно полезной в задачах, где решающую роль играют нелинейные комбинации факторов.

Подготовка данных

Для обучения модели используется таблица признаков, описывающих каждый селевой поток. В нашем случае набор данных включает семь переменных, среди которых могут быть: количество осадков, уклон склона, влажность почвы, площадь водосборного бассейна и другие морфометрические или гидрометеорологические характеристики.

Поскольку значения признаков могут отличаться на порядки, перед подачей в сеть проводится стандартизация. Каждый параметр преобразуется по формуле

$$x' = \frac{x - \mu}{\sigma},$$

где μ – среднее значение признака, а σ – его стандартное отклонение. Это необходимо для того, чтобы параметры с большими абсолютными значениями (например, площадь бассейна) не начали доминировать над другими признаками и не искажали процесс обучения.

Определение числа кластеров

Поскольку заранее не известно, сколько типов селевых потоков можно выделить в данных, используется критерий естественности кластеризации. Одним из наиболее распространенных является коэффициент силуэта. Он показывает, насколько хорошо объект принадлежит своему кластеру и насколько он отделен от соседних. Значения, близкие к 1, указывают на четкую кластеризацию, близкие к 0 — на неопределенность. Это позволяет подобрать оптимальное число кластеров без привлечения априорной информации.

Архитектура нейрона

Каждый кластер в сети соответствует отдельному нейрону. Такой нейрон состоит из двух частей:

- **σ-часть** вычисляет линейную комбинацию признаков аналогично классическому персептрону:

$$z_{\sigma} = \sum_i w_i x_i,$$

где w_i – веса, а x_i – значения признаков.

- **π-часть** формирует попарные произведения признаков и также агрегирует их с весами:

$$z_{\pi} = \sum_{i,j} v_{ij} (x_i * x_j).$$

Итоговое значение нейрона вычисляется как сумма этих двух компонент с учетом порогового параметра:

$$z = z_{\sigma} + z_{\pi} + b.$$

После этого результат передается через функцию активации (обычно используется сигмоида), которая переводит его в значение от 0 до 1. Чем ближе это значение к 1, тем выше вероятность принадлежности данного объекта к рассматриваемому кластеру.

Процесс обучения

Обучение сети направлено на то, чтобы минимизировать разброс данных внутри каждого кластера и увеличить различия между кластерами. На каждом шаге веса обновляются по следующему принципу:

- если признаки в кластере имеют устойчивое среднее значение, веса σ-части смещаются в сторону этого среднего;
- если в кластере часто встречаются определенные комбинации признаков (например, осадки × влажность почвы или уклон × площадь бассейна), π-часть усиливает их вклад.

Таким образом, сеть «обучается» выделять не только отдельные важные факторы, но и их взаимодействия, которые могут быть решающими для образования определенного типа селевого потока.

Преимущества метода

Селевые процессы отличаются высокой сложностью: один и тот же параметр может иметь различное значение в зависимости от сочетания с другими факторами. Например, высокая влажность почвы не всегда приводит к формированию селя, но в сочетании с большим количеством осадков и крутым склоном вероятность резко возрастает. Линейные методы кластеризации, такие как алгоритм К-средних, не способны учитывать такие эффекты, так как работают только с расстояниями в пространстве признаков.

Сигма-пи нейронная сеть, напротив, благодаря своей π -части выявляет скрытые нелинейные зависимости и позволяет моделировать сложные взаимодействия параметров. Это обеспечивает более высокое качество кластеризации и при этом сохраняет интерпретируемость, что делает метод удобным для применения в инженерной геологии и мониторинге процессов.

СРАВНЕНИЕ С САМООРГАНИЗУЮЩИМИСЯ КАРТАМИ КОХОНЕНА

Одними из наиболее распространенных нейросетевых алгоритмов кластеризации являются самоорганизующиеся карты Кохонена (SOM). Они представляют собой двумерное проективное отображение многомерного пространства признаков, где объекты, обладающие сходными характеристиками, проецируются в соседние области карты. Такой подход позволяет визуализировать многомерные данные и выявлять группы объектов без предварительного знания числа кластеров.

SOM хорошо зарекомендовали себя в задачах анализа геологических процессов благодаря своей способности выявлять скрытые структуры в данных и обеспечивать наглядную интерпретацию результатов. Однако данный метод имеет ряд ограничений. Во-первых, SOM в большей степени ориентированы на топологическое упорядочивание данных, нежели на моделирование взаимодействий между признаками. Во-вторых, получаемая кластеризация зависит от параметров обучения (размера карты, радиуса окрестности), что может приводить к неоднозначным результатам при разных настройках. Кроме того, SOM не предоставляет явный механизм для анализа вклада отдельных признаков и их комбинаций в формирование кластеров.

В отличие от SOM сигма-пи нейронные сети обладают способностью явно моделировать взаимодействия второго порядка за счет π -части архитектуры. Это дает возможность не только выделять кластеры, но и объяснять их природу через ключевые комбинации признаков. Например, можно напрямую выявить, что высокая влажность почвы в сочетании с большим уклоном склона существенно увеличивает вероятность формирования определенного типа селевого потока. Таким образом, сигма-пи сети обеспечивают более высокий уровень интерпретируемости и лучше подходят для задач инженерной геологии, где требуется не просто группировка данных, но и понимание причинно-следственных связей.

ПРИМЕР РАБОТЫ СЕТИ НА ДАННЫХ О СЕЛЕВЫХ ПОТОКАХ

Для демонстрации возможностей разработанного алгоритма на вход системы был подан набор данных в формате CSV, содержащий шесть признаков, описывающих морфометрические и генетические характеристики селевых потоков:

- генезис селя;
- площадь бассейна;
- средний уклон русла;
- длина реки;
- высота истока;
- максимальный объем отложений.

Задачей сети являлось разбиение выборки на несколько устойчивых кластеров без априорного знания их числа, а также выявление наиболее значимых факторов и их комбинаций, определяющих принадлежность потока к определенному типу (рис. 1).

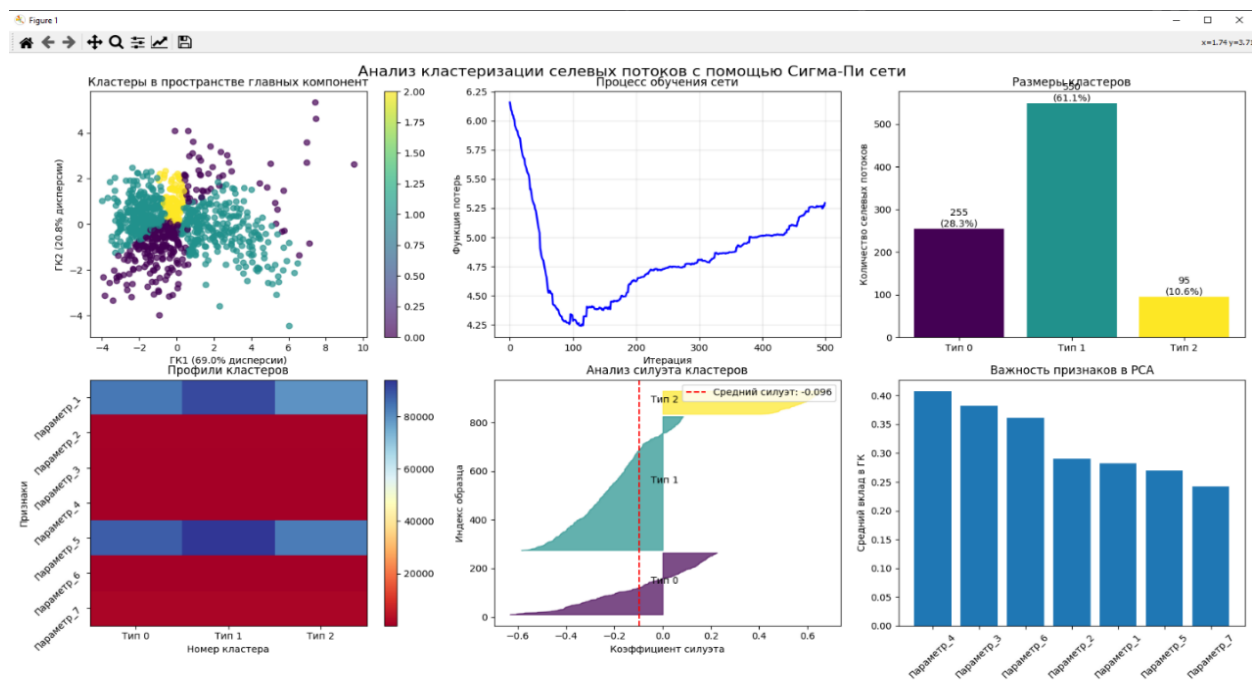


Рис. 1. Анализ кластеризации селевых потоков с помощью сигма-пи сети

Fig. 1. Analysis of mudflow clustering using the sigma-pi network

В результате работы модели было выделено три устойчивых кластера (типы 0, 1 и 2), которые соответствуют трем различным группам селевых потоков с характерными морфологическими и генетическими особенностями.

Кластер 1 (Тип 1) оказался доминирующим. Он включает 61,1 % всей выборки, что соответствует примерно 540 образцам. Данный тип представляет собой наиболее распространенную группу селей, обладающих типичными морфометрическими характеристиками.

Кластер 0 (Тип 0) занимает промежуточное положение и составляет 28,3 % выборки (около 255 образцов). Можно предположить, что данная группа соответствует среднераспространенным разновидностям селей, формирующимся при специфическом сочетании факторов.

Кластер 2 (Тип 2) является наименьшим и включает 10,6 % данных (около 95 образцов). Он, вероятно, отражает редкий или специфический генетический тип селевых процессов, формирующихся при особых условиях.

Таким образом, выявленные группы обладают как количественными, так и качественными различиями, что подтверждает способность модели выделять структурные закономерности в многомерных данных.

Процесс обучения сигма-пи сети сопровождался характерным снижением функции потерь: на первых итерациях наблюдалось ее быстрое падение, после чего кривая стабилизировалась, указывая на достижение устойчивого решения. Для выхода на плато понадобилось около 450 итераций, что свидетельствует о сходимости алгоритма и достаточной адаптивности весовых коэффициентов.

Для наглядной визуализации результатов была проведена проекция данных в пространство главных компонент. В этом пространстве кластеры демонстрируют четкое пространственное разделение:

Тип 0 (фиолетовый) формирует компактную область в левой части графика, что указывает на устойчивую однородность данной группы;

Тип 1 (бирюзовый) занимает центральную и правую части, проявляя более широкое распределение, что отражает внутреннее разнообразие наиболее массового класса;

Тип 2 (желтый) образует отдельную компактную область в верхней части, что подтверждает его уникальность и обособленность от остальных типов.

Такое разделение подчеркивает корректность кластеризации и способность модели дифференцировать селевые потоки не только количественно, но и структурно (рис. 2).

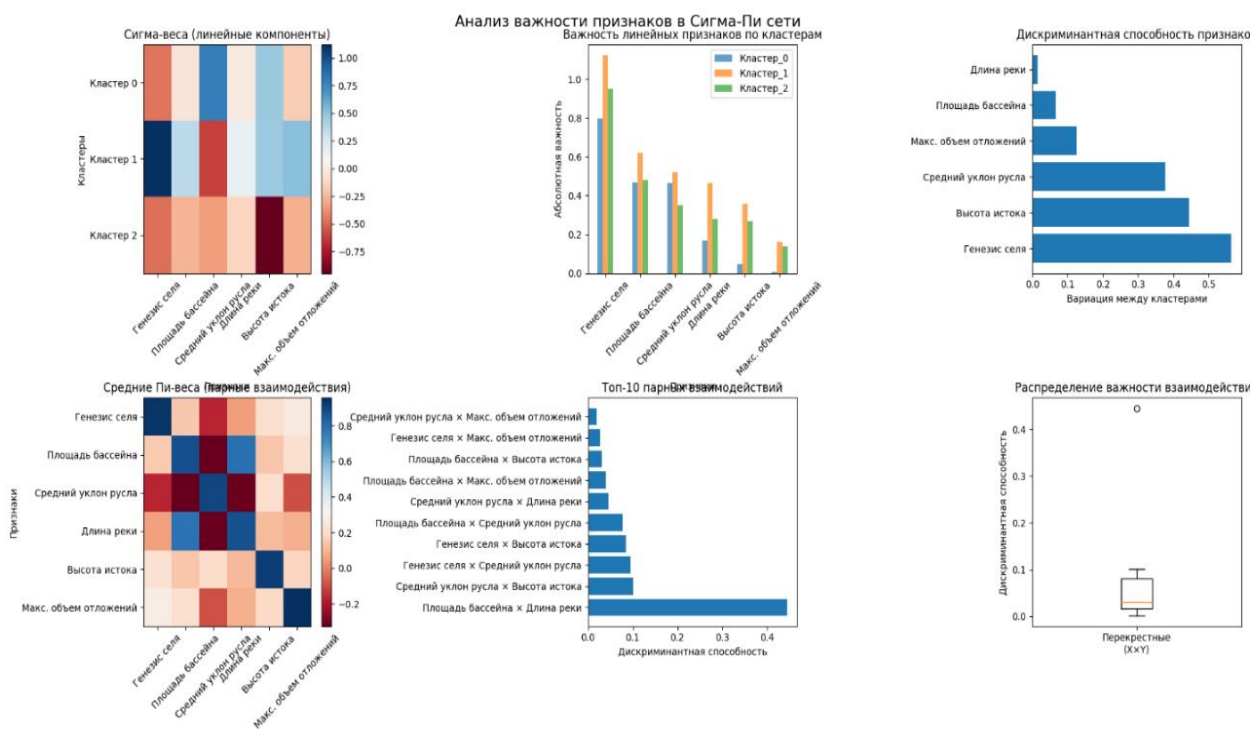


Рис. 2. Влияние попарной комбинации признаков на определение кластера

Fig. 2. The influence of pairwise combination of features on cluster definition

Интерпретация результатов осуществлялась с использованием тепловых карт влияния признаков. При этом:

синий цвет отражает отрицательный вклад признака в принадлежность объекта к определенному кластеру;

красный цвет – положительное влияние;

белый цвет – нейтральный вклад.

Такое представление позволяет наглядно выявлять не только роль отдельных параметров (например, площади бассейна или уклона русла), но и значимость их комбинаций. Например, сеть показала, что высокая влажность почвы в сочетании с крутым уклоном русла усиливает вероятность принадлежности потока к определенному типу. Аналогичным образом комбинация «максимальный объем отложений × площадь бассейна» оказывает значительное влияние на формирование другого типа селея.

Таким образом, сигма-пи сеть демонстрирует не только высокое качество кластеризации, но и позволяет проводить интерпретируемый анализ, выявляя ключевые детерминанты формирования различных типов селевых потоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного исследования была выполнена интерпретация трех устойчивых кластеров, соответствующих основным типам селевых потоков – грязевому, каменному и грязекаменному. Кластеризация данных осуществлялась с использованием сигма-пи нейронной сети, которая учитывает как линейные характеристики (σ -компонент), так и попарные взаимодействия признаков (π -компонент). Такой подход позволил выявить ключевые морфометрические и генетические детерминанты, определяющие формирование различных типов селей.

Анализ важности признаков и их комбинаций показал высокую степень интерпретируемости модели. В отличие от классических методов кластеризации сигма-пи архитектура обеспечивает возможность выявления скрытых нелинейных зависимостей между параметрами, что существенно повышает качество классификации геологических процессов.

Полученные результаты демонстрируют перспективность применения гибридных нейросетевых методов в инженерной геологии. В частности, они могут быть использованы для более точной диагностики и прогнозирования селевых процессов, а также для разработки систем геоэкологического мониторинга и мер инженерной защиты на селеопасных территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Татаренко Н. В., Шагин С. И., Машиуков Х. В. Географические особенности распространения селевых явлений на территории КБР // Научные известия. 2019. № 17. С. 26–30. EDN: ZJPAGU
2. Жиров П. А. Построение самоорганизующейся карты Кохонена (SOM) для прогнозирования типов селевых потоков // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. № 5. С. 129–137. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-129-137
3. Лютикова Л. А. Анализ характеристик селевых потоков при ограниченных данных с использованием моделей машинного обучения // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 4. ID: 36. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.029
4. Слейман А., Козлов Д. В. Использование искусственных нейронных сетей для оценки поверхностного стока в расчетах водохозяйственного баланса бассейна реки Верхний Оронгес // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 3. С. 21–37. DOI: 10.35567/19994508-2024-3-21-37
5. Бодянский Е. В., Кулишова Н. Е. Многомерная искусственная нейронная сигма-пи сеть и алгоритм ее обучения // Радиоэлектроника и информатика. 2005. № 4. С. 122–125.
6. Jiao J., Su K. A new Sigma-Pi-Sigma neural network based on L1 and L2 regularization and applications // AIMS Mathematics. 2024. Vol. 9. No. 3. Pp. 5995–6012. DOI: 10.3934/math.2024293
7. Deng F., Liang S., Qian K. et al. A recurrent sigma pi sigma neural network // PMC / NCBI, 2025. DOI: 10.1038/s41598-024-84299-y
8. Жиров П. А. Интеллектуальные методы кластеризации данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 152–159. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-152-159

REFERENCES

1. Tatarenko N.V., Shagin S.I., Mashukov Kh.V. Geographical features of the distribution of mudflow phenomena in the Kabardino-Balkarian Republic. *Scientific News*. 2019. No. 17. Pp. 26–30. EDN: ZJPAGU. (In Russian)

2. Zhilov R.A. Construction of a Kohonen self-organizing map (SOM) for predicting types of mudflows. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2024. No. 5. Pp. 129–137. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-129-137. (In Russian)
3. Lyutikova L.A. Analysis of mudflow characteristics with limited data using machine learning models. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024. Vol. 12. No. 4. ID: 36. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.029. (In Russian)
4. Sleiman A., Kozlov D.V. Using artificial neural networks to assess surface runoff in water management balance calculations of the upper Orontes River Basin. *Water Sector of Russia: problems, Technologies, Management*. 2024. No. 3. Pp. 92–107. DOI: 10.35567/19994508-2024-3-21-37. (In Russian)
5. Bodianskii E.V., Kulishova N.E. Multidimensional artificial neural sigma-pi network and its training algorithm. *Radioelectronics and Informatics*. 2005. No. 4. Pp. 122–125. (In Russian)
6. Jiao J., Su K. A new Sigma-Pi-Sigma neural network based on L1 and L2 regularization and applications. *AIMS Mathematics*. 2024. Vol. 9. No. 3. Pp. 5995–6012. DOI: 10.3934/math.2024293
7. Deng F., Liang S., Qian K. et al. A recurrent sigma pi sigma neural network. *PMC / NCBI*, 2025. DOI: 10.1038/s41598-024-84299-y
8. Zhilov R.A. Intelligent methods for data clustering. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 152–159. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-152-159. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Жилов Руслан Альбердович, мл. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

zhilov91@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3552-4854>, SPIN-код: 9389-6188

Information about the author

Ruslan A. Zhilov, Junior Researcher, Neuroinformatics and Machine Learning Department, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

zhilov91@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3552-4854>, SPIN-code: 9389-6188

Особенности энергоснабжения автономных объектов в условиях труднодоступных территорий

М. Ю. Карелина, Р. В. Ключев[✉], Д. В. Сердечный

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Государственный университет управления»
109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, 99

Аннотация. Освоение арктических и других труднодоступных территорий является стратегической задачей Российской Федерации, обеспечивающей национальную безопасность и социально-экономическое развитие страны. Устойчивое функционирование объектов, расположенных на труднодоступных территориях, напрямую зависит от надежности и эффективности их энергетической инфраструктуры. Актуальность исследования обусловлена растущим числом автономных объектов (метеостанций, баз добычи полезных ископаемых, телекоммуникационных вышек) в труднодоступных регионах Российской Федерации (Арктика, Дальний Восток, Сибирь), где подключение к единой энергосистеме технически бывает невозможно или экономически нецелесообразно. Энергоснабжение таких объектов сопряжено с экстремальными климатическими условиями, логистическими сложностями и требованиями высокой надежности.

Цель исследования – разработка методики оптимизации состава гибридной энергетической системы для автономных объектов в труднодоступных регионах на основе многокритериального анализа, обеспечивающей минимизацию стоимости энергии при заданных требованиях к надежности электроснабжения и экологическим показателям.

Методы исследования. Методы системного анализа и математического моделирования использованы для комплексной оценки эффективности гибридных энергетических систем (комплексов), совмещающих возобновляемые источники энергии с традиционными дизель-генераторами и системами накопления энергии.

Результаты. В ходе исследования разработана многокритериальная оптимизационная модель, позволяющая определить рациональную структуру и параметры гибридных энергетических систем по критериям минимума стоимости жизненного цикла, максимума надежности и минимума выбросов. Проведенное имитационное моделирование работы системы в условиях случайного набора метеопараметров и нагрузки подтвердило возможность снижения расхода дизельного топлива на 40–60 % и выбросов CO₂ на 35–55 % при сохранении высокого уровня надежности энергоснабжения.

Выводы. Результаты работы могут быть использованы для проектирования и модернизации систем энергоснабжения автономных объектов, эксплуатируемых в суровых условиях Российской Арктики.

Ключевые слова: автономное энергоснабжение, гибридная энергетическая система, возобновляемые источники энергии, системный анализ, оптимизация, труднодоступные территории, накопление энергии, арктические условия

Поступила 29.08.2025, одобрена после рецензирования 19.09.2025, принята к публикации 29.09.2025

Для цитирования. Карелина М. Ю., Ключев Р. В., Сердечный Д. В. Особенности энергоснабжения автономных объектов в условиях труднодоступных территорий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 43–53. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-43-53

Features of power supply for autonomous objects in hard-to-reach areas

M.Yu. Karelina, R.V. Klyuev[✉], D.V. Serdechnyy

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“State University of Management”
99 Ryazansky prospekt, Moscow, 109542, Russia

Abstract. The development of the Arctic and other hard-to-reach territories is a strategic objective of the Russian Federation, ensuring national security and socio-economic development of the country. Sustainable operation of facilities located in hard-to-reach territories directly depends on the reliability and efficiency of their energy infrastructure. The relevance of the study is due to the growing number of autonomous facilities (weather stations, mining bases, telecommunication towers) in hard-to-reach regions of the Russian Federation (Arctic, Far East, Siberia), where connection to the unified energy system is technically impossible or economically impractical. Power supply of such facilities is associated with extreme climatic conditions, logistical difficulties and high reliability requirements.

Aim. The purpose of the study is to develop a methodology for optimizing the composition of a hybrid energy system for autonomous facilities in hard-to-reach regions based on multi-criteria analysis, ensuring the minimization of energy costs under specified requirements for the reliability of power supply and environmental indicators.

Methods. Methods of system analysis and mathematical modeling are used for a comprehensive assessment of the efficiency of hybrid energy systems (complexes) combining renewable energy sources with traditional diesel generators and energy storage systems.

Results. The study developed a multi-criteria optimization model that allows determining the rational structure and parameters of hybrid energy systems according to the criteria of minimum life cycle cost, maximum reliability and minimum emissions. The conducted simulation modeling of the system operation under a random set of meteorological parameters and load confirmed the possibility of reducing diesel fuel consumption by 40–60% and CO₂ emissions by 35–55% while maintaining a high level of energy supply reliability.

Conclusions. The results of the work can be used to design and modernize energy supply systems for autonomous facilities operating in the harsh conditions of the Russian Arctic.

Keywords: autonomous power supply, hybrid energy system, renewable energy sources, system analysis, optimization, hard-to-reach areas, energy storage, arctic conditions

Submitted on 29.08.2025,

approved after reviewing on 19.09.2025,

accepted for publication on 29.09.2025

For citation. Karelina M.Yu., Klyuev R.V., Serdechnyy D.V. Features of power supply for autonomous objects in hard-to-reach areas. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 43–53. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-43-53

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая безопасность и устойчивое развитие труднодоступных и изолированных территорий Российской Федерации является одной из стратегических задач государства¹. К таким территориям относятся значительные части Арктической зоны, Дальнего

¹Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации (Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216 утверждена новая Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации – документ стратегического планирования в сфере обеспечения национальной безопасности Российской Федерации). <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-security-doctrine>

Востока, Сибири и высокогорья, где расположены населенные пункты, объекты добывающей промышленности, объекты инфраструктуры связи и другие важные объекты – ответственные потребители [1]. Подключение этих объектов к централизованным системам энергоснабжения зачастую невозможно из-за колоссальных расстояний, сложного рельефа и суровых климатических условий.

Традиционно энергоснабжение таких автономных потребителей обеспечивается дизель-генераторными установками (ДГУ). Однако этот подход имеет существенные недостатки: высокие и постоянно растущие затраты на завоз топлива, значительные эксплуатационные расходы, сильная зависимость от логистических цепочек, негативное воздействие на хрупкую экосистему северных регионов [2, 3].

В этих условиях все более актуальным становится создание гибридных энергетических комплексов (ГЭК), комбинирующих ДГУ с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), прежде всего солнечными (СЭС) и ветровыми (ВЭУ) генераторами, и системами накопления энергии (СНЭ) – многоэлементными аккумуляторными батареями [4, 5]. Подобные системы позволяют значительно сократить потребление дизельного топлива, повысить надежность энергоснабжения и снизить экологическую нагрузку [6]. Однако проектирование и управление ГЭК сопряжены со значительными трудностями, обусловленными случайной природой ВИЭ, нелинейностью характеристик оборудования, многообразием критериев оптимизации и суровостью климатических условий, влияющих на эффективность работы и срок службы компонентов [7].

Цели и задачи исследования

Таким образом, существует потребность в разработке адаптивных алгоритмов контроля и управления ГЭК для автономных объектов, позволяющих учесть всю совокупность технико-экономических, климатических и эксплуатационных факторов. Данное исследование направлено на решение этой задачи. Цель исследования заключается в повышении эффективности и надежности энергоснабжения автономных объектов на труднодоступных территориях на основе методов системного анализа и оптимизации структуры гибридных энергетических систем; разработке структурно-функциональной модели гибридной энергосистемы, включающей ДГУ, солнечные панели, ветрогенераторы (ВЭУ), многоэлементные накопители энергии и систему управления. Также необходимо формализовать задачу оптимизации состава оборудования и режимов управления ГЭК как многокритериальную задачу – минимизация приведенной стоимости энергии (LCOE), минимизация вероятности потери электроснабжения (LPS) и минимизация объема выбросов CO_2 .

Необходимо разработать комплекс математических моделей для компонентов ГЭК, адекватно описывающих их поведение в условиях переменных нагрузок и случайных метеофакторов, а также провести имитационное моделирование для различных конфигураций ГЭК и климатических сценариев, характерных для труднодоступных территорий России.

Методы исследования

Для решения поставленных задач в работе применяется комплекс методов системного анализа, теории управления и математического моделирования. Инструменты системного анализа позволяют рассмотреть ГЭК как сложную техническую систему, выявить взаимосвязи между ее элементами, формализовать цели и критерии эффективности ее функцио-

нирования [8]. Теория вероятностей и математическая статистика используются для статистического анализа метеорологических данных и профилей нагрузки автономного объекта. Для моделирования случайных данных применяются методы Монте-Карло и генерации временных рядов на основе распределений Вейбулла (ветер) и Бета (солнце) [9, 10].

Задача выбора оптимальной конфигурации ГЭК является многокритериальной. Для ее решения предлагается использование алгоритмов нечеткой логики для свертки разнородных критериев (LCOE, LPSP, выбросы) в единый целевой функционал, а также применение эволюционных алгоритмов, в частности, алгоритма роя частиц (PSO – Particle Swarm Optimization), эффективных для поиска глобального оптимума в задачах большой размерности [11, 12]. Для оценки эффективности работы различных конфигураций ГЭК разработана модель с использованием языка Python. Модель включает: метеомодель (генерация временных рядов скорости ветра и солнечной инсоляции), модели источников энергии (зависимость мощности от скорости ветра, зависимость от инсоляции и температуры, топливная характеристика), модель СНЭ (с учетом глубины разряда, КПД и циклов заряда-разряда), модель системы управления (реализующая стратегию приоритета использования ВИЭ). Для расчета критерия LCOE применяется метод дисконтирования денежных потоков (DCF), учитывающий капитальные и эксплуатационные затраты, стоимость топлива и срок службы объекта [13–15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработаны комплексная модель (блок-схема на рис. 1) и программный инструмент (Свидетельство на программу для ЭВМ «Метод оптимизации конфигурации для гибридного энергетического комплекса»).

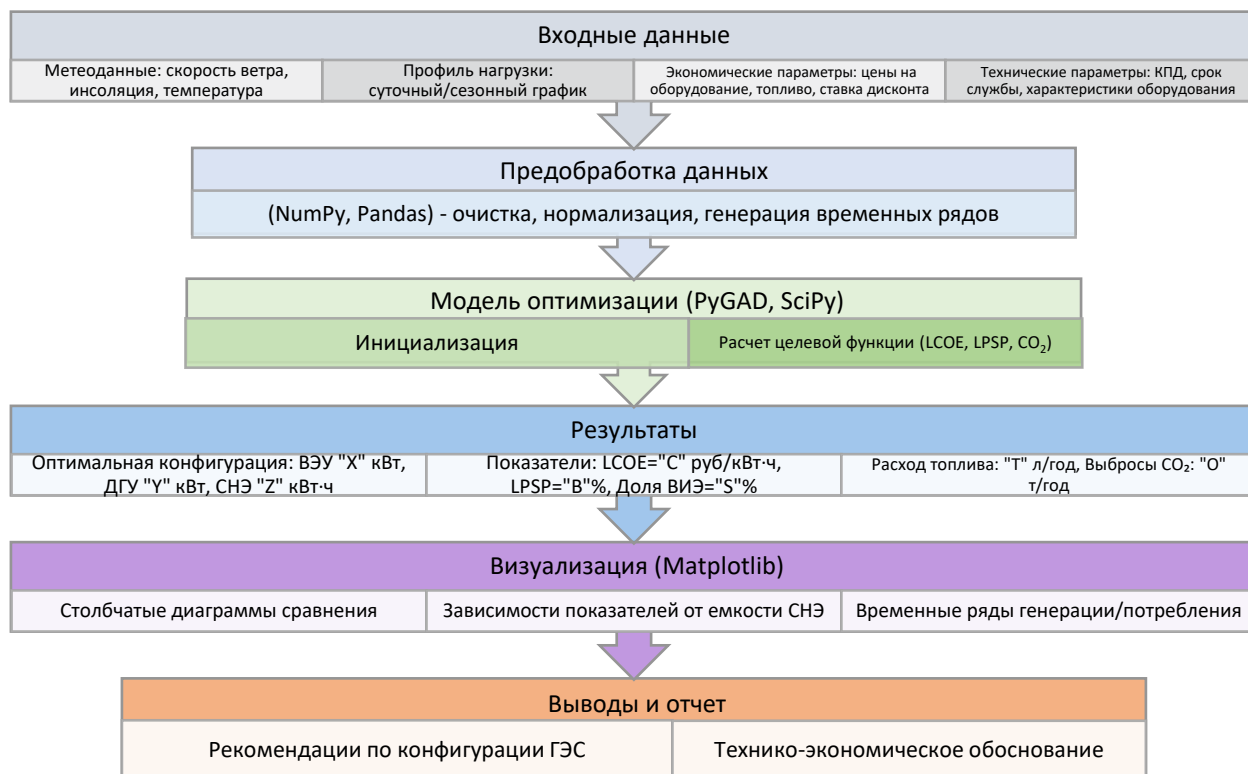


Рис. 1. Блок-схема модели оптимизации ГЭК

Fig. 1. Block diagram of the GEC optimization model

Модель реализована в среде Python с использованием библиотек для научных вычислений (NumPy, Pandas), оптимизации (SciPy, PyGAD для генетического алгоритма) и визуализации (Matplotlib). Для оценки надежности введен расчет коэффициента недостатка мощности (LPSP) по уравнению 1:

$$LPSP = \frac{\sum L}{\sum R} * 100\%, \quad (1)$$

где L – дефицит мощности (кВт*ч), R – нагрузка (кВт*ч).

Для экономической оценки рассчитана приведенная стоимость энергии (LCOE) по методике [13–15]:

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum \frac{OPEX}{(1+d)^t}}{\sum \frac{S}{(1+d)^t}}, \quad (2)$$

где $CAPEX$ – капитальные затраты, $OPEX$ – операционные расходы за год, S – выработка энергии за год, d – ставка дисконтирования, t – год эксплуатации.

Была проведена серия вычислительных экспериментов для автономного объекта с нагрузкой 100 кВт. Смоделированы три конфигурации ГЭК для двух климатических зон – для арктических территорий (п. Тикси) и Северного Кавказа (г. Владикавказ). Исходные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные по территориям

Table 1. Initial data by territories

п/п	Территория	Годовой профиль ветра	Инсоляция
1	Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания	4,1 м/с	1300 кВт*ч/м ²
2	Тикси, Республика Саха (Якутия)	7,2 м/с	900 кВт*ч/м ²

В таблице 2 приведены данные о стоимости оборудования для ГЭК, а также средняя стоимость дизельного топлива на август 2025 г. Для удобства в расчетах стоимость была округлена в большую сторону (табл. 2).

Таблица 2. Стоимость оборудования для ГЭК

Table 2. Cost of equipment for the hydroelectric power station

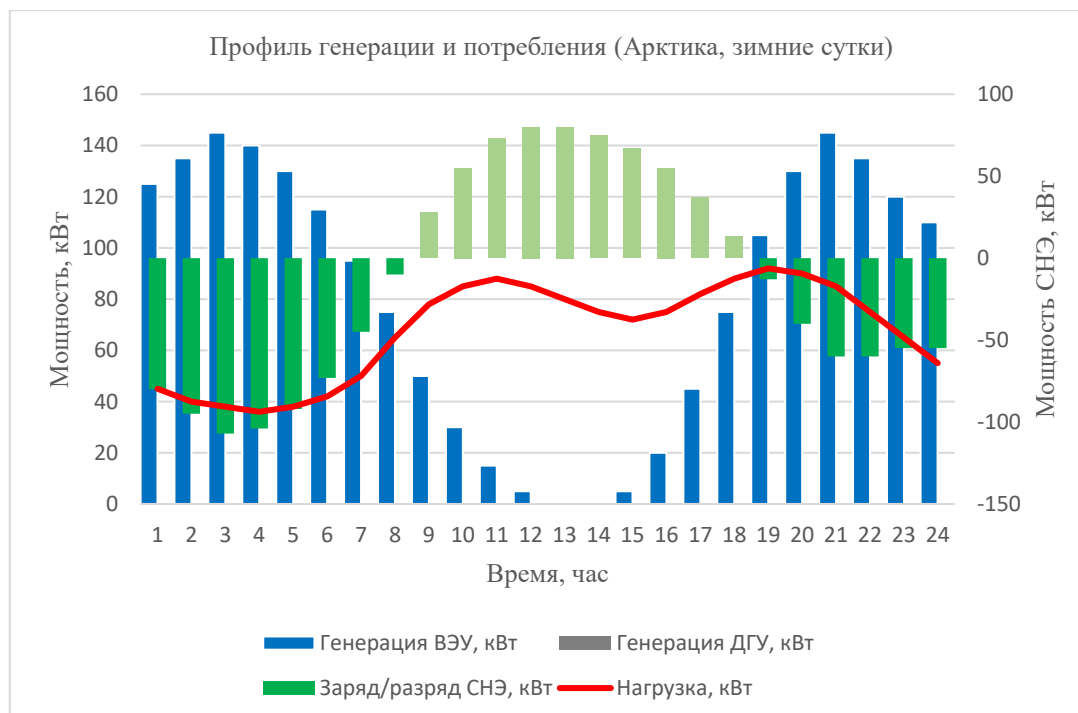
п/п	Оборудование	Стоимость, руб.
1	ДГУ	50 000
2	Солнечная панель	60 000
3	Ветрогенератор	80 000
4	СНЭ (LiFePo4)	120 000
5	Стоимость дизтоплива (за 1 л)	65

Ниже в таблице 3 представлены результаты имитационного моделирования.

Таблица 3. Сравнение оптимальных конфигураций ГЭС для разных регионов (результаты оптимизации)**Table 3.** Comparison of optimal hydroelectric power station configurations for different regions (optimization results)

Параметр	Арктика (ВЭУ+ДГУ+СНЭ)	Северный Кавказ (СЭС+ДГУ+СНЭ)	Арктика (только ДГУ)
Мощность ДГУ, кВт	80	90	120
Мощность ВЭУ, кВт	150	—	—
Мощность СЭС, кВт	—	120	—
Емкость СНЭ, кВт*ч	400	480	—
LCOE, руб/кВт*ч	18.5	16.8	42.3
LPSP, %	2.1	1.8	0.5
Доля ВИЭ, %	68	58	0
Расход топлива, л/год	28 500	34 100	95 000
Выбросы CO ₂ , т/год	75,4	90,2	251

Был проведен анализ суточного профиля работы ГЭК. Выявлено, что в ночные и вечерние часы наблюдается максимальная генерация ветроэнергетической установки (до 145 кВт), что полностью покрывает нагрузку и обеспечивает заряд аккумуляторных батарей. В утренние и дневные часы при снижении скорости ветра генерация от ВЭУ существенно снижается, и в работу включается СНЭ, которая компенсирует дефицит мощности. Дизель-генераторная установка в течение всех суток находится в режиме ожидания, что демонстрирует эффективность предложенной конфигурации ГЭС для арктических условий. На основе данных имитационного моделирования построены временные ряды недели зимнего и летнего периода. Профиль генерации и потребления представлен на рисунке 2.

**Рис. 2.** Профиль генерации и потребления (Арктика, конфигурация ВЭУ+ДГУ+СНЭ, зимняя неделя)**Fig. 2.** Generation and consumption profile (Arctic, wind turbine+diesel generator+electric power station configuration, winter week)

Анализ суточного профиля работы гибридной энергосистемы демонстрирует высокую эффективность интеграции ветрогенерации с системой накопления энергии в арктических условиях. Выявлены три характерных режима работы. Период избыточной генерации (00:00–07:00) – максимальная выработка ВЭУ достигает 145 кВт при нагрузке 36–50 кВт, что создает значительный избыток энергии (до 107 кВт), направляемый на заряд аккумуляторных батарей. Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ в этот период составляет 85–95 %. В период разряда СНЭ (08:00–17:00) при снижении скорости ветра генерация ВЭУ падает до 0–30 кВт, а дефицит мощности компенсируется разрядом аккумуляторов (до 80 кВт). Глубина разряда СНЭ достигает 65–70 % от номинальной емкости. В период стабилизации (18:00–23:00) восстановление ветровой генерации (105–145 кВт) позволяет полностью покрыть нагрузку и начать новый цикл заряда СНЭ. Дизель-генераторная установка в течение всех суток не активировалась, что свидетельствует о достаточности мощности ВЭУ и емкости СНЭ.

Для определения оптимальной емкости СЭС проведен параметрический анализ, демонстрирующий взаимосвязь технологических и экономических показателей ГЭК. Результаты расчетов (рис. 3) показывают наличие выраженного компромисса между стоимостью энергии, надежностью электроснабжения и долей возобновляемой генерации. Анализ выявил точку экономической целесообразности при емкости СНЭ 400 кВт*ч, где достигается минимальная стоимость энергии при обеспечении приемлемого уровня надежности.

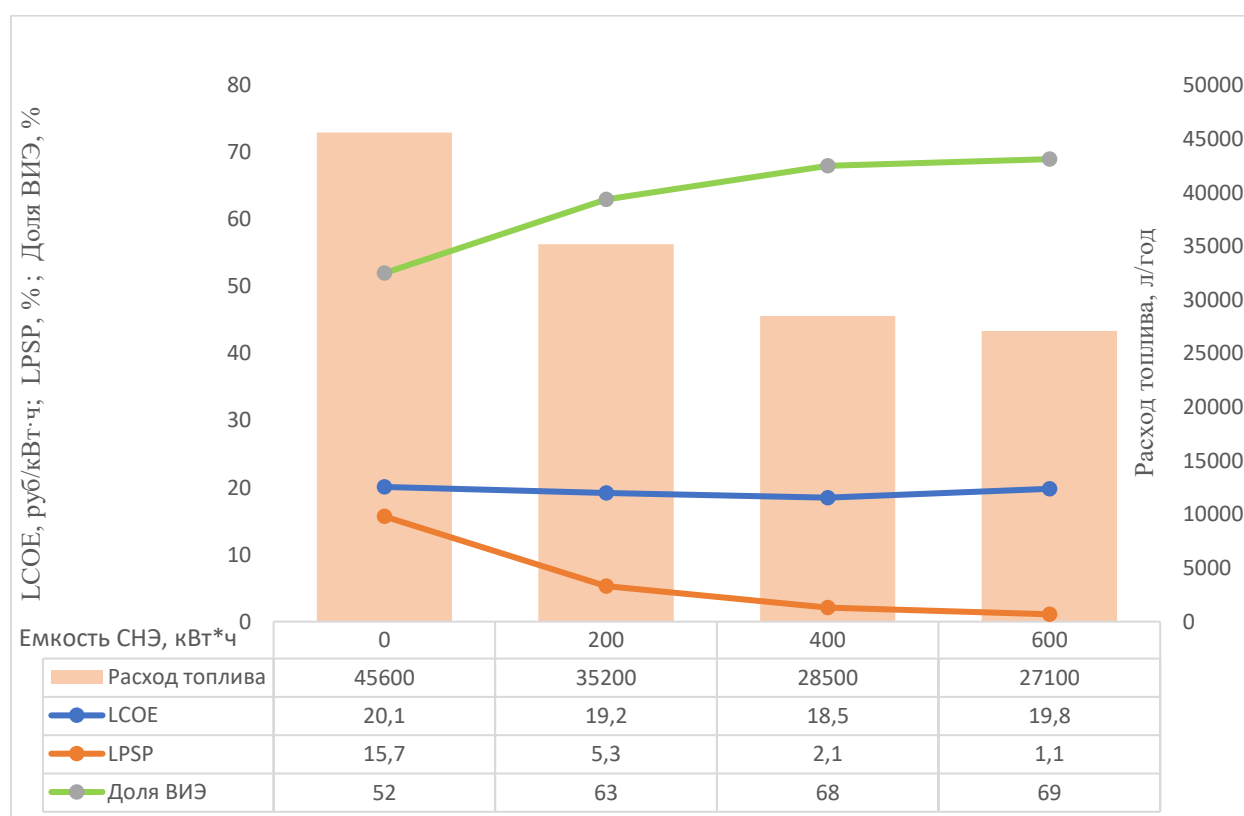


Рис. 3. Оптимизация емкости СНЭ в гибридной энергосистеме

Fig. 3. Optimization of the capacity of the SNE in a hybrid power system

Проведенное параметрическое исследование зависимости ключевых технико-экономических показателей гибридной энергетической системы от емкости СНЭ выявило наличие выраженного нелинейного характера изучаемых зависимостей. Анализ полученных результатов позволяет выделить три характерные зоны функционирования системы. На

участке от 0 до 200 кВт·ч наблюдается значительное улучшение всех показателей. Вероятность потери нагрузки снижается с 15,7 % до 5,3 %, что свидетельствует о достижении минимально приемлемого уровня надежности энергоснабжения. При этом приведенная стоимость энергии снижается на 4,5 %, а доля возобновляемых источников в годовом энергобалансе увеличивается с 52 % до 63 %. Данный эффект объясняется способностью накопителя компенсировать кратковременные колебания генерации и нагрузки. Оптимальная зона функционирования системы наблюдается в диапазоне емкостей 300–500 кВт·ч с точкой оптимума при 400 кВт·ч. В этой области достигается минимальное значение LCOE (18,5 руб/кВт·ч) при обеспечении высокого уровня надежности (LPSP=2,1 %). Доля возобновляемой генерации составляет 68 %, а годовой расход дизельного топлива снижается на 37,5 % по сравнению с системой без накопителя. Физически это объясняется возможностью аккумулирования избыточной ночной ветрогенерации и ее использования в периоды суточных провалов ветра.

При дальнейшем увеличении емкости накопителя свыше 500 кВт·ч проявляется закон убывающей доходности. Рост капитальных затрат на 50 % (с 400 до 600 кВт·ч) приводит к незначительному улучшению показателей: снижение LPSP на 1 %, увеличение доли ВИЭ на 1 % и экономия топлива на 5 %. При этом стоимость энергии возрастает на 7 %, что делает такие инвестиции экономически нецелесообразными.

Полученные результаты позволяют сформулировать практические рекомендации для проектирования автономных гибридных систем в арктических условиях. Оптимальная емкость СНЭ составляет 3,5–4,5 кВт·ч на 1 кВт установленной мощности ВЭУ, что обеспечивает наилучшее соотношение между надежностью энергоснабжения и экономической эффективностью проекта. Минимально допустимая емкость накопителя должна составлять не менее 2,0 кВт·ч/кВт для обеспечения приемлемого уровня надежности (LPSP<5 %). Выявленные закономерности демонстрируют важность корректного выбора емкости СНЭ при проектировании гибридных энергетических систем и подтверждают необходимость применения методов многокритериальной оптимизации для нахождения компромисса между технологическими и экономическими показателями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность применения гибридных энергетических систем на основе ВИЭ для энергоснабжения автономных объектов на труднодоступных территориях. Разработанный методический аппарат на основе системного анализа и многокритериальной оптимизации позволяет научно обосновать выбор конфигурации ГЭС. Показано, что оптимальный состав оборудования ГЭС зависит от климатических условий региона: в ветровых зонах приоритет следует отдавать ВЭУ, в солнечных – СЭС, а в большинстве случаев максимальную эффективность показывает их комбинация.

Система накопления энергии является ключевым элементом, повышающим надежность и долю использования ВИЭ. Ее емкость является компромиссом между экономическими затратами и требуемым уровнем бесперебойности питания. Внедрение предложенных решений позволит существенно снизить эксплуатационные расходы и экологический ущерб, повысить энергетическую самостоятельность и устойчивость удаленных объектов. Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке адаптивных алгоритмов интеллектуального управления ГЭС на основе методов машинного обучения для прогнозирования генерации и потребления, а также в анализе интеграции других видов ВИЭ (геотермальная энергия, энергия приливов и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагиев Н. Н., Гончаренко Л. П., Сыбачин С. А., Шестакова А. А. Национальные проекты в Арктической зоне Российской Федерации // Арктика и Север. 2020. № 41. С. 113–129. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2020.41.113
2. Богоявленский В. И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли // Горная промышленность. 2020. № 1. С. 97–118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118
3. Клюев Р. В. Системный анализ методов расчета систем электроснабжения карьеров // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16. № 1(59). С. 302–310. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-302-310
4. Мошин А. А., Клюев Р. В. Использование альтернативных источников энергии в промышленности // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Т. 6. № 3(25). С. 81–87. DOI: 10.25744/genb.2021.62.57.008
5. Сердечный Д. В., Томашевский Ю. В. Особенности эксплуатации накопителя энергии на базе многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9–10. С. 140–145. EDN: YPSXXR
6. Сердечный Д. В., Томашевский Ю. В. Моделирование многоэлементных литий-ионных батарей в энергообеспечивающих комплексах автономных объектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 3. С. 86–94. DOI: 10.14529/power170310
7. Ануфриев В. П., Гудим Ю. В., Каминов А. А. Устойчивое развитие. Энергоэффективность. Зеленая экономика. Екатеринбург: ИНФРА-М, 2021. 201 с.
8. Клименко Ю. А., Преображенский А. П. О системном анализе энергетического предприятия // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1(40). С. 122–124. EDN: YONHOS
9. Манусов В. З., Халдаров Ш. К. Моделирование законов распределений вероятностей мощности ветровых и солнечных электростанций // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 3(47). С. 81–91. DOI: 10.5281/zenodo.4018988
10. Мананов А. З., Зиннуров Т. А. Алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования ветровой нагрузки на сооружения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1(13). Рр. 147–154. EDN: MWGSBP
11. Илюшин П. В. Перспективы применения и проблемные вопросы интеграции распределенных источников энергии в электрические сети // Библиотечка электротехника. 2020. № 8(260). С. 1–116. EDN: CMJIBM
12. Митяшин Н. П., Томашевский Ю. Б., Денисов А. В., Дмитриев А. А. Использование нечеткой меры ценности критериев при многокритериальном выборе // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 9. С. 38–42. EDN: SNQSCR
13. Воронай Н. И. Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем // Электричество. 2020. № 7. С. 12–21. DOI: 10.24160/0013-5380-2020-7-12-21
14. Седнев В. А., Седнев А. В. Научно-методический подход обоснования состава источников электрической энергии для электроснабжения жизнеобеспечения автономного полевого лагеря // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 5. С. 95–120. DOI: 10.36535/0869-4179-2021-05-13
15. Гемечу Б. Д., Шаранов В. И. Оценка энергетической эффективности гибридной гелио-геотермальной электростанции // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 3–11. DOI: 10.30724/1998-9903-2019-21-4-3-11

REFERENCES

1. Gagiev N.N., Goncharenko L.P., Sybachin S.A., Shestakova A.A. National projects in the Arctic zone of the Russian Federation. *Arctic and North*. 2020. No. 41. Pp. 113–129. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2020.41.113. (In Russian)
2. Bogoyavlensky V.I. Natural and man-made threats during the development of fossil fuel deposits in the Earth's cryolithosphere. *Mining Industry Journal*. 2020. No. 1. Pp. 97–118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118. (In Russian)
3. Klyuev R.V. Systems analysis of methods for calculating quarry power supply systems. *Sustainable Development of Mountainous Territories*. 2024. Vol. 16. No. 1(59). Pp. 302–310. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-302-310. (In Russian)
4. Moshin A.A., Klyuev R.V. Use of alternative energy sources in industry. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2021. Vol. 6. No. 3(25). Pp. 81–87. DOI: 10.25744/genb.2021.62.57.008. (In Russian)
5. Serdechny D.V., Tomashevsky Yu.V. Features of operation of an energy storage device based on a multi-element lithium-ion battery. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Problemy energetiki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Problems of Energy]. 2017. Vol. 19. No. 9–10. Pp. 140–145. EDN: YPSXXR. (In Russian)
6. Serdechny D.V., Tomashevsky Yu.V. Modeling of multi-element lithium-ion batteries in energy supply complexes of autonomous objects. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering*. 2017. Vol. 17. No. 3. Pp. 86–94. DOI: 10.14529/power170310. (In Russian)
7. Anufriev V.P., Gudim Yu.V., Kaminov A.A. *Sustainable Development. Energy Efficiency. Green Economy*. Ekaterinburg: INFRA-M, 2021. 201 p. (In Russian)
8. Klimenko Yu.A., Preobrazhensky A.P. On the Systems Analysis of an Energy Enterprise. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologiy* [Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies]. 2022. No. 1(40). Pp. 122–124. EDN: YONHOS. (In Russian)
9. Manusov V.Z., Khaldarov Sh.K. Modeling the laws of probability distributions of the capacity of wind and solar power plants. *Problems of the Regional Energetics*. 2020. No. 3(47). Pp. 81–91. DOI: 10.5281/zenodo.4018988. (In Russian)
10. Manapov A.Z., Zinnurov T.A. Algorithms of the Monte Carlo method for modeling wind loads on structures. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Izvestiya of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. 2010. No. 1(13). Pp. 147–154. EDN: MWGSBP. (In Russian)
11. Ilyushin P.V. Prospects for the application and problematic issues of integrating distributed energy sources into electrical networks. *Bibliotekha elektrotekhnika* [Library of Electrical Engineering]. 2020. No. 8(260). Pp. 1–116. EDN: CMJIBM. (In Russian)
12. Mityashin N.P., Tomashevsky Yu.B., Denisov A.V., Dmitriev A.A. Using a fuzzy measure of the value of criteria in multi-criteria selection. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and Modern Technologies]. 2014. No. 9. Pp. 38–42. EDN: SNQSCR. (In Russian)
13. Voropai N.I. Directions and problems of transformation of electric power systems. *Elektrichestvo*. 2020. No. 7. Pp. 12–21. DOI: 10.24160/0013-5380-2020-7-12-21. (In Russian)
14. Sednev V.A., Sednev A.V. Scientific and methodological approach to substantiating the composition of electrical energy sources for power supply of life support of an autonomous field camp. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnykh situatsiy* [Security and emergency issues]. 2021. No. 5. Pp. 95–120. DOI: 10.36535/0869-4179-2021-05-13. (In Russian)
15. Gemechu B.D., Sharapov V.I. Assessment of the energy efficiency of a hybrid solar-geothermal power plant. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Problemy energetiki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Problems of Energy]. 2019. Vol. 21. No. 4. Pp. 3–11. DOI: 10.30724/1998-9903-2019-21-4-3-11. (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 по результатам исследований, выполненных за счет средств федерального бюджета Государственного университета управления по государственному заданию «Научные, методологические и практические основы разработки и применения цифровых и интеллектуальных технологий в целях обеспечения устойчивого развития регионов Российской Федерации, включая удаленные и труднодоступные территории Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны», код научной темы FZNW-2025-0021.

Funding. The article was prepared based on the results of research carried out at the expense of the federal budget of the State University of Management under the state assignment «Scientific, methodological and practical foundations for the development and application of digital and intelligent technologies in order to ensure sustainable development of the regions of the Russian Federation, including remote and hard-to-reach territories of Siberia, the Far East and the Arctic zone»; the code of the scientific topic FZNW-2025-0021.

Информация об авторах

Карелина Мария Юрьевна, д-р техн. наук, д-р пед. наук, профессор, проректор, Государственный университет управления;

109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, 99;

myu_karelina@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0335-7550>, SPIN-код: 1852-1782

Клюев Роман Владимирович, д-р техн. наук, доцент, гл. науч. сотр. лаборатории цифровых и интеллектуальных технологий для развития территорий Российской Федерации, Государственный университет управления;

109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, 99;

rv_kluev@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3777-7203>, SPIN-код: 5817-8259

Сердечный Денис Владимирович, канд. техн. наук, доцент, начальник лаборатории цифровых и интеллектуальных технологий для развития территорий Российской Федерации, Государственный университет управления;

109542, Россия, Москва, Рязанский проспект, 99;

dv_serdechnyj@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3060-9469>, SPIN-код: 5330-3250

Information about the authors

Maria Yu. Karelina, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Vice-Rector, State University of Management;

99 Ryazansky prospekt, Moscow, 109542, Russia;

myu_karelina@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0335-7550>, SPIN-code: 1852-1782

Roman V. Klyuev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Laboratory of Digital and Intelligent Technologies for Development of Territories of the Russian Federation, State University of Management;

99 Ryazansky prospekt, Moscow, 109542, Russia;

rv_kluev@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3777-7203>, SPIN-code: 5817-8259

Denis V. Serdechnyy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head, Laboratory of Digital and Intelligent Technologies for Development of Territories of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “State University of Management”;

99 Ryazansky prospekt, Moscow, 109542, Russia;

dv_serdechnyj@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3060-9469>, SPIN-code: 5330-3250

УДК 303.732:504.062

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-54-67

EDN: KGNWNZ

Экологическое загрязнение земель как сложный технический объект системного анализа

Я. Э. Климавичус

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

Аннотация. Актуальность исследования заключается в том, что при значительных масштабах загрязнения земель в России отсутствует единая методологическая основа, позволяющая рассматривать такие территории как сложные технические объекты. Большинство существующих исследований сосредоточено на отдельных аспектах – биоремедиации, физико-химических методах очистки, мониторинге или правовом регулировании. Эти работы носят фрагментарный характер и не обеспечивают целостного подхода, необходимого для интеграции данных и автоматизации проектирования. Новизна данного исследования состоит в том, что загрязненные земли впервые трактуются как технические системы, включающие физико-химические параметры, биологические процессы и нормативные регуляторы. В отличие от существующих работ, сосредоточенных на отдельных технологиях или правовых аспектах, в статье интегрированы системный анализ, типизация загрязнителей и учет неопределенности исходных данных, что формирует методологическую основу для автоматизации проектирования рекультивации.

Цель исследования заключается в обосновании необходимости рассматривать экологическое загрязнение земель как сложный технический объект системного анализа и формализации проектного процесса рекультивации на основе модели «входы → преобразования → состояния → выходы» с учетом неопределенности данных и нормативных регуляторов.

Результаты. В статье обосновано рассмотрение экологического загрязнения земель как сложного технического объекта системного анализа. Показано, что традиционный подход, основанный на понятии «нарушенные земли», фиксирует лишь факт деградации и не отражает системные характеристики объекта. В работе предложено формализованное описание загрязненных территорий через модель «входы → преобразования → состояния → выходы», позволяющую выявлять причинно-следственные связи между видами загрязнителей и откликами почвенно-экологических систем.

Выводы. Практическая значимость обозначается тем, что полученные результаты могут быть использованы проектными организациями и надзорными органами для сокращения сроков подготовки проектной документации, повышения точности расчетов и снижения рисков при согласовании проектов.

Ключевые слова: системный анализ, сложный технический объект, экологическое загрязнение, рекультивация земель, нефтяное загрязнение, тяжелые металлы, солевое загрязнение, неопределенность данных, нормативные регуляторы, автоматизация проектирования

Поступила 03.06.2025, одобрена после рецензирования 30.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Климавичус Я. Э. Экологическое загрязнение земель как сложный технический объект системного анализа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 54–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-54-67

Environmental pollution of land as a complex technical object of systems analysis

J.E. Klimavičius

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev
34 Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia

Abstract. The relevance of this study lies in the fact that, despite the significant level of land contamination in Russia, there is no unified methodological approach for considering such areas as complex technical facilities. Most existing studies focus on individual aspects—bioremediation, physicochemical cleanup methods, monitoring, or legal regulation. These studies are fragmented and do not provide the holistic approach necessary for data integration and automated design. The novelty of this study lies in its treatment, for the first time, of contaminated lands as technical systems, incorporating physicochemical parameters, biological processes, and regulatory controls. Unlike existing studies, which focus on individual technologies or legal aspects, this article integrates systems analysis, pollutant categorization, and consideration of initial data uncertainty, forming a methodological basis for automated remediation design.

Aim. Is to substantiate the need to consider environmental land pollution as a complex technical object of systems analysis and formalize the reclamation project process based on the "inputs → transformations → states → outputs" model, taking into account the uncertainty of data and regulatory frameworks.

Results. This article substantiates the need to consider environmental land pollution as a complex technical object of systems analysis. It is shown that the traditional approach, based on the concept of "disturbed lands," only captures the fact of degradation and does not reflect the systemic characteristics of the object. The paper proposes a formalized description of contaminated areas using the "inputs → transformations → states → outputs" model, which allows for the identification of cause-and-effect relationships between pollutant types and the responses of soil-ecological systems.

Conclusions. The practical significance of the obtained results is indicated by the fact that they can be used by design organizations and regulatory authorities to reduce the time required to prepare design documentation, improve calculation accuracy, and reduce risks during project approval.

Keywords: systems analysis; complex technical object; environmental pollution; land reclamation; oil pollution; heavy metals; salt pollution; data uncertainty; regulatory controls; design automation

Submitted on 03.06.2025,

approved after reviewing on 30.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Klimavičius J.E. Environmental pollution of land as a complex technical object of systems analysis. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 54–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-54-67

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых проблем современного природопользования является противоречие между масштабом техногенного воздействия и ограниченными возможностями традиционных методов экологической коррекции. Мировая исследовательская активность подтверждает возрастающий интерес к проблеме рекультивации загрязненных земель [1].

Загрязнение земель нефтью, солями и тяжелыми металлами носит накопительный и системный характер: оно формирует устойчивые изменения в структуре почвы, гидрологическом балансе и биоценозе. В инженерной и экологической литературе такие явления долгое время описывались преимущественно через категорию «нарушенные территории». Однако подобный подход фиксирует лишь факт деградации, не раскрывая системных характери-

стик объекта и не позволяя формализовать процессы его функционирования и восстановления. Масштабы и пространственная неоднородность деградации почв подтверждаются данными официальной отчетности (рис. 1)

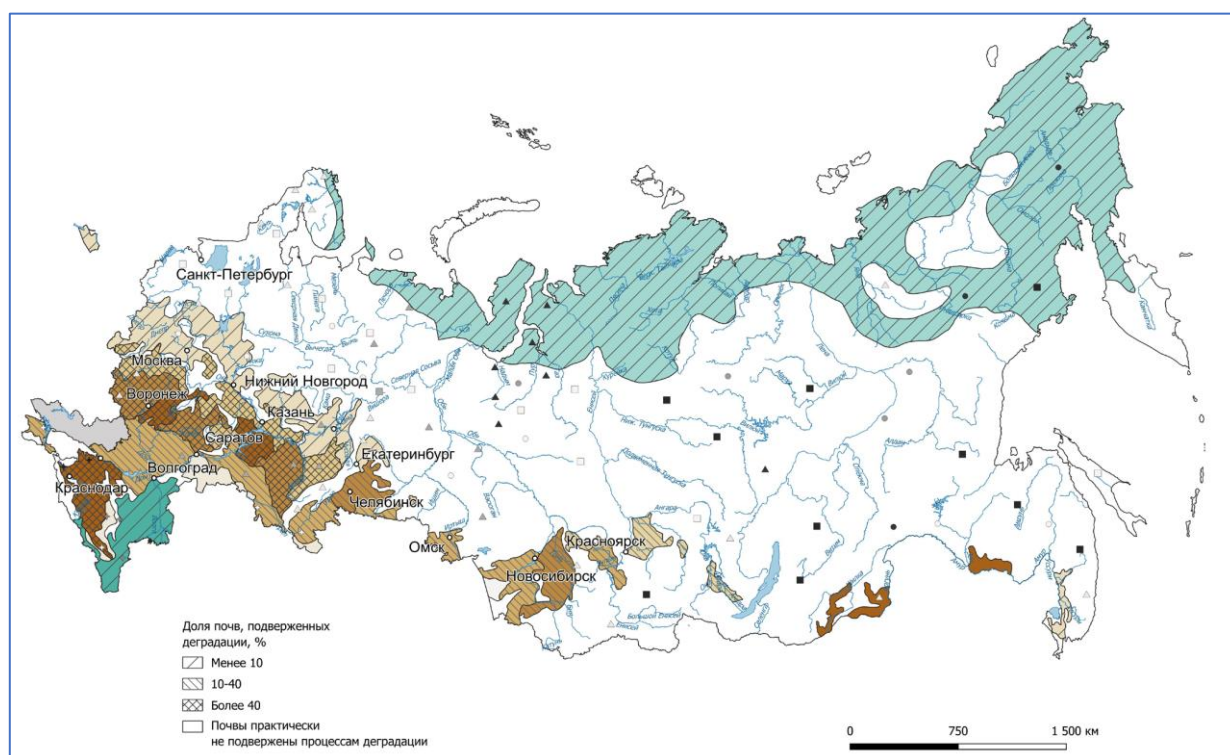


Рис. 1. Степень деградации почв на территории Российской Федерации¹

Fig. 1. The degree of soil degradation in the Russian Federation

Между тем опыт анализа сложных технических систем – в энергетике, автоматизированном производстве, информационных технологиях – показывает: корректное проектирование невозможно без представления объекта как системы, имеющей входы, преобразования, состояния и выходы. Отсутствие подобного подхода в области рекультивации затрудняет создание универсальных методик, ограничивает возможности цифровизации и снижает эффективность принимаемых решений.

В международной практике активно формируются системные и цифровые подходы к управлению почвенными ресурсами [3]². В США Агентство по охране окружающей среды (EPA) использует **Decision Support Tools (DSTs)** для моделирования, выбора технологий очистки и управления рисками на загрязненных территориях. В Европейском союзе реализуется **EU Soil Strategy for 2030**, а также разрабатывается проект **Soil Monitoring and Resilience Directive (SMRD)**, находящийся в стадии триалогов³ (2024), направленный на мониторинг и восстановление почв. В 2024 году был принят **Nature**

¹Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». М.: Минприроды России, 2024. 540 с.

²European Commission. EU Soil Strategy for 2030. – Brussels: EC, 2021. – URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-health/soil-strategy-2030_en (дата обращения: 26.07.2025).

³European Commission. Proposal for Soil Monitoring and Resilience Directive (SMRD). – Brussels: EC, 2023. – URL: <https://epthinktank.eu/2024/01/29/soil-monitoring-and-resilience-directive-eu-legislation-in-progress> (дата обращения: 22.06.2025).

Restoration Law, закрепляющий обязательные цели по восстановлению экосистем, включая почвенные, к 2050 году.

Сравнительный анализ показывает, что зарубежные инициативы делают упор на цифровизацию и многокритериальные методы выбора технологий. В США системы DST (Decision Support Tools) интегрируют геоинформационные данные, модели миграции загрязнителей и базы технологий очистки, что позволяет формировать несколько сценариев и оценивать их риски. В EC Soil Strategy for 2030 и проект SMRD ориентированы на комплексный мониторинг, создание баз сравнимых данных и обязательное восстановление деградированных земель к целевым срокам. Российская практика пока остается более нормативно-ориентированной, но менее цифровизированной. Включение системного анализа в проектирование может сократить этот разрыв и приблизить отечественные методы к международным стандартам. Все эти инициативы свидетельствуют о том, что переход к системному анализу и цифровым технологиям в экологическом проектировании является общемировой тенденцией.

Актуальность исследования заключается в том, что при значительных масштабах загрязнения земель в России отсутствует единая методологическая основа, позволяющая рассматривать такие территории как сложные технические объекты⁴. Большинство существующих исследований сосредоточено на отдельных аспектах – биоремедиации, физико-химических методах очистки, мониторинге или правовом регулировании [3–5]. Эти работы носят фрагментарный характер и не обеспечивают целостного подхода, необходимого для интеграции данных и автоматизации проектирования.

Цель статьи заключается в обосновании необходимости рассматривать экологическое загрязнение земель как сложный технический объект системного анализа и формализации проектного процесса рекультивации на основе модели «входы → преобразования → состояния → выходы» с учетом неопределенности данных и нормативных регуляторов.

1. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Системный анализ требует точной формализации внешних воздействий, определяющих поведение объекта [6–8]. В контексте рекультивации такими воздействиями являются загрязнители различной природы, которые задают исходные условия проектирования. Их типология критична для алгоритмизации проектных решений, так как именно физико-химические свойства загрязнителя определяют набор допустимых преобразований и характер целевых состояний.

Углеводородные соединения (нефть и нефтепродукты) занимают ведущее место среди поллютантов [9]. Они характеризуются многофазностью (жидкая, адсорбированная, растворенная и паровая формы), различной биodeградебельностью фракций, способностью к миграции в поровом пространстве. Высокое содержание смолисто-асфальтеновых веществ приводит к формированию устойчивых битумоподобных пятен, плохо поддающихся биодеструкции [10]. Для системного анализа важны такие показатели, как общее содержание нефтепродуктов, концентрация полиароматических углеводородов, доля легко летучих фракций, а также коэффициенты сорбции. В инженерной экологии нефтяное загрязнение часто рассматривается как аналог энергетической аварии: локальный выброс высокой плотности энергии, приводящий к нарушению всей системы.

⁴Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». М.: Минприроды России, 2024. 540 с.

Тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть, медь и др.) формируют иной тип возмущающего воздействия. Их опасность связана с невозможностью биологического разложения и склонностью к аккумуляции в трофических цепях. Металлы могут находиться в почвах в различных формах: растворенной, ионообменной, связанной с органическим веществом или минеральной матрицей. Их подвижность зависит от кислотности, окислительно-восстановительных условий и наличия комплексообразователей. Системный подход требует не только фиксировать валовое содержание металлов, но и учитывать фракционный состав, так как именно он определяет экологическую доступность. В терминах управления такие загрязнители эквивалентны устойчивому дефекту в материале конструкции, который невозможно устранить простыми методами и который требует сложных компенсационных мер (иммобилизация, изоляция, капсулирование) [11].

Соли (хлориды и сульфаты натрия, магния, кальция) в системной модели представляют собой особый класс входных воздействий. В отличие от нефти или металлов они обладают высокой растворимостью, что делает их чрезвычайно мобильными во времени и пространстве. Минерализованные воды при разгерметизации коммуникаций или при сбросах способны быстро проникать вглубь профиля, вызывать осмотический стресс и разрушение структуры почвы. Для анализа критичны показатели суммарной минерализации, ионного состава, электропроводности, натриевой адсорбционной величины (SAR). По своей роли соли напоминают паразитные колебания в электрических цепях: даже небольшое превышение порога может вызвать разлад всей системы.

В условиях Самарской области к числу наиболее распространенных примеров можно отнести:

- **амбарные накопители буровых отходов** (Нефтегорский, Отрадный районы), формирующие хронические очаги нефтезагрязнения;
- **техногенные солонцы** вдоль трасс промышленных трубопроводов, где разгерметизация приводит к поступлению минерализованных вод и засолению пахотных земель;
- **старые промплощадки и зоны складирования отходов** (районы пригорода Самары и Новокуйбышевска), где фиксируются повышенные концентрации тяжелых металлов, устойчивые десятилетиями.

Эти примеры показывают, что региональная специфика накладывает ограничения на выбор технологий рекультивации и требует адаптации проектных решений к конкретным условиям.

Кроме того, особого внимания заслуживают многокомпонентные загрязнения. Например, сочетание нефти и солей приводит к наложению эффектов: углеводороды ограничивают доступ кислорода и препятствуют биодеструкции, а соли повышают подвижность отдельных тяжелых металлов и усиливают токсичность. Системный анализ требует здесь многокритериальной оптимизации, так как линейные меры управления не дают результата [12].

Источники задают конфигурацию потоков, через которые загрязнители поступают в систему. В системном анализе они рассматриваются как входные каналы, определяющие сценарии функционирования объекта.

Нефтедобывающие и перерабатывающие объекты формируют хронический тип загрязнения. Амбарные накопители буровых отходов, утечки трубопроводов, несанкционированные сбросы создают долгосрочную нагрузку, которая постепенно изменяет свойства почвы и грунтовых вод. В терминах системной теории это аналог «длительного возмущения», которое смещает систему из равновесного состояния.

Таблица 1. Типы загрязнений и отклик почвы (экосистемы)**Table 1.** Types of pollution and soil (ecosystem) response

Тип загрязнения	Характерные свойства и параметры	Отклик почвенной системы	Типовые меры рекультивации
Нефтяное (углеводородное)	Многофазность (жидкая, адсорбированная, паровая формы); частичная биодеструкция; высокое содержание смолисто-асфальтеновых фракций; показатели: общее содержание нефти, ПАУ, фракционный состав	Гидрофобизация профиля; снижение кислородного режима; угнетение микробиоты; деградация растительности	Биодеструкция (фиторемедиация, микробиологические препараты), сорбция органоминеральными сорбентами, промывка грунтов
Тяжелые металлы	Неразлагаемость; аккумуляция в трофических цепях; формы: ионная, связанная с органикой или минералами; подвижность зависит от pH и Eh; показатели: валовое и подвижное содержание	Токсичность для растений и микроорганизмов; снижение биологической активности; долговременное остаточное загрязнение	Иммобилизация (известкование, фосфатирование), изоляция, капсулирование
Солевое (засоление)	Высокая растворимость и миграция; разрушение структуры почвы; показатели: суммарная минерализация, ионный состав, EC, SAR	Осмотический стресс; деградация структуры и водопроницаемости; снижение продуктивности; риск эрозии	Промывка пресной водой, гипсование, внесение органики, дренаж
Многокомпонентное	Совмещение разных поллютантов (нефть + соли + металлы); взаимное усиление токсичности; необходимость многокритериального управления	Взаимное усиление негативных эффектов; каскадные деградационные процессы; трудности прогнозирования и рекультивации	Комплексные меры: биодеструкция + промывка + иммобилизация; сценарный подход

Транспортно-логистические узлы и нефтебазы создают локальные очаги загрязнения с высокой концентрацией поллютантов в верхних горизонтах. Особенность таких участков – резкая пространственная ограниченность и сильная техногенная нарушенность. Их можно сопоставить с «локальными перегрузками» в технических сетях, которые при отсутствии своевременной компенсации быстро приводят к аварийному состоянию.

Аварийные события (разрывы трубопроводов, технологические инциденты) дают мощные разовые выбросы. Характер пятна определяется гидрологией и рельефом, а скорость инфильтрации требует экстренных мер. В системной аналогии это «импульсные воздействия», вызывающие переход системы в новое состояние за очень короткое время.

Солонцеватые и засоляемые территории формируются при сбросах минерализованных вод или при разгерметизации коммуникаций. В отличие от аварийных очагов здесь действует медленный, но устойчивый поток вещества, что соответствует понятию «квазистационарный вход» в системах управления.

Смешанные очаги с примесью тяжелых металлов характерны для старых промплощадок и зон хранения отходов. Их специфика – устойчивый токсикологический след, который сохраняется десятилетиями. В системном подходе это эквивалент «устойчивого дефекта конструкции», влияющего на все уровни модели.

Загрязнители изменяют состояние объекта на трех уровнях:

- **Физико-химическом** (рН, редокс-потенциал, минерализация, формы связывания металлов).
- **Агрофизическом** (структура почвы, водопроницаемость, плотность, капиллярность).
- **Биологическом** (активность микробиоты, продуктивность растительности, устойчивость биоценозов).

Каждый уровень имеет собственные индикаторы, но ключевым является их взаимосвязанность. Например, нефтяное загрязнение снижает кислородный режим почвы, что ведет к изменению микробного сообщества и в конечном счете к деградации растительности. Засоление нарушает структуру почвенных агрегатов, что ухудшает водопроницаемость и создает условия для эрозии. Тяжелые металлы снижают биологическую активность, а также вызывают долговременную токсичность, передаваемую по трофическим цепям.

В терминах системного анализа это можно рассматривать как **динамический отклик объекта на входные воздействия**. Подобно тому, как оборудование реагирует на перегрев или коррозию каскадной деградацией элементов, почва и биота реагируют на загрязнение цепочкой взаимосвязанных изменений. В обоих случаях процессы нелинейны и имеют пороговые эффекты: превышение определенного значения вызывает лавинообразные изменения.

В отличие от большинства технических систем экологические объекты подчиняются не только законам природы, но и **нормативно-правовым регуляторам**. Федеральные законы, постановления правительства, ГОСТы и СанПиН выполняют роль управляющих воздействий^{5, 6}. Их выполнение определяет целевые состояния системы: снижение концентраций загрязнителей до ПДК, восстановление плодородия, устойчивость биоценоза.

Системный анализ позволяет трактовать эти документы как «задатчики» в АСУ, задающие параметры допустимых состояний. Без их учета проектные решения будут неполными и не достигнут нормативного результата.

Загрязненные территории характеризуются высокой степенью неопределенности исходных данных:

- обследования фрагментарны;
- лабораторные анализы вариативны;
- экспертные заключения противоречивы.

В терминах системного анализа это соответствует управлению в условиях неполной информации. Подобные задачи решаются через фильтрацию, нормализацию данных, сценарный подход, привлечение экспертных систем. Аналогичные методы применяются в авиации, робототехнике и управлении рисками.

Все рассмотренные характеристики – множественность входов, разнообразие источников, многоуровневое воздействие, иерархичность и нелинейность, наличие регуляторов и высокая информационная неопределенность – позволяют квалифицировать загрязненный участок как **сложный технический объект системного анализа**. Такой подход формирует основу для формализации проектного процесса рекультивации и разработки интеллектуальных систем поддержки проектирования.

⁵ФЗ №7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Принят 10.01.2002 (в ред. от 2024 г.).

⁶Постановление Правительства РФ №800 от 10.07.2018 «О проведении рекультивации и консервации земель».

2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПИСАНИЯ

Системный анализ представляет собой универсальный метод исследования объектов, обладающих множественностью факторов, обратными связями, нелинейной динамикой и высокой степенью неопределенности. Загрязненные территории относятся именно к такому типу объектов. Их невозможно описать ни чисто инженерными уравнениями, ни исключительно экологическими методами. Только системный подход позволяет увязать физико-химические процессы, биологические механизмы, нормативные ограничения и организационно-управленческие аспекты в единую модель.

Базовой моделью системного анализа является цепочка: входы – преобразования – состояния – выходы (В–П–С–В) (рис. 2). Она позволяет представить сложный объект в виде формализованной структуры, где каждый элемент играет свою роль.



Рис. 2. Схема системы (В-П-С-В) / **Fig. 2.** System diagram (V-P-S-V)

Для загрязненных территорий входы включают:

- концентрации нефтепродуктов, солей, тяжелых металлов;
- геологические и гидрологические характеристики;
- климатические параметры (температура, увлажнение, продолжительность вегетационного периода);
- техногенные нагрузки (наличие промышленных объектов, транспортных узлов);
- нормативные требования, задающие допустимые значения параметров.

В терминах инженерных систем входы – это аналог входных сигналов или возмущений. Так же, как в энергетике входом является нагрузка, в экологии – поступление загрязнителей и сопутствующих факторов.

Внутри системы протекают процессы, трансформирующие входные воздействия:

- физико-химические реакции (сорбция, десорбция, окисление, восстановление);
- миграция загрязнителей по профилю почвы и в грунтовые воды;

- разложение органических соединений микроорганизмами;
- инженерные воздействия при рекультивации (удаление грунта, промывка, внесение сорбентов).

Эти процессы формируют динамику изменения состояния. В системной аналогии это блок преобразователя, через который проходит входной сигнал.

Состояния описывают текущее положение объекта:

- физико-химические параметры (рН, редокс-потенциал, минерализация);
- агрофизические характеристики (структура почвы, плотность, капиллярность);
- биологические показатели (состояние микробиоты, биоразнообразие, продуктивность).

Состояния аналогичны текущему режиму функционирования технической системы: например, температуре двигателя или уровню напряжения в сети.

Выходы – это результаты, которые подлежат контролю:

- снижение концентраций загрязнителей до нормативных значений;
- восстановление плодородного слоя;
- формирование устойчивого биоценоза;
- возможность хозяйственного использования территории.

В управляемой системе выход – это тот параметр, ради которого функционирует весь контур регулирования.

В системном анализе регулятор – это элемент, который корректирует поведение системы и задает допустимые границы ее функционирования. В случае экологических объектов регуляторами выступают нормативно-правовые документы, устанавливающие целевые параметры и допустимые уровни загрязнения.

К примерам регуляторов можно отнести следующее:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» задает общий правовой каркас.
- Постановление Правительства РФ № 800 (2018) регламентирует порядок проведения рекультивации и консервации земель.
- Постановление № 612 (2011) устанавливает критерии существенного снижения плодородия.
- ГОСТы Р 59070-2020, 59057-2020 определяют термины, принципы и требования к рекультивации.
- СанПиН 1.2.3685-21 регламентирует гигиенические нормативы для факторов среды.

В системной аналогии эти документы играют роль датчиков и эталонных сигналов: они определяют, каким должен быть «выход» системы. Несоблюдение нормативов означает, что система остается в недопустимом состоянии.

Так, если концентрация нефтепродуктов не снижается до ПДК, то объект считается не рекультивированным вне зависимости от затрат и усилий. Это подобно тому, как автоматизированная система регулирования температуры считается неисправной, если не может удержать параметр в заданных пределах.

Системный анализ требует достоверных данных о состоянии объекта. В случае загрязненных территорий источники информации чрезвычайно разнообразны и разнородны:

- Лабораторные исследования – результаты химического анализа проб почв, воды, растительности: содержание нефтепродуктов, тяжелых металлов, солей, гумуса.
- Данные мониторинга – регулярные наблюдения за ключевыми параметрами: рН, электропроводность, редокс-потенциал, подвижные формы калия и фосфора, биоиндикация.
- Проектно-изыскательские материалы – инженерно-экологические изыскания, карты загрязнения, отчеты подрядных организаций.

- Акты обследований – документы, фиксирующие состояние объекта на разных стадиях – до рекультивации, в процессе и после.

- Судебные и прецедентные данные – материалы, используемые при рассмотрении споров о нанесении экологического ущерба и обязанностях по восстановлению.

Эти источники подобны сенсорной подсистеме сложной технической системы. Как датчики в АСУТП передают информацию о температуре, давлении и скорости, так и лабораторные и мониторинговые данные дают сигнал о состоянии почвы и экосистемы.

Проблема: данные фрагментарны, разнородны, могут быть несовместимы по формату и точности. Решение: применение методов системного анализа – фильтрации, нормализации, сценарного моделирования, экспертных оценок – позволяет интегрировать их в единую базу знаний.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что системный анализ позволяет:

1. Структурировать описание загрязненных земель через модель «входы – преобразования – состояния – выходы».

2. Рассматривать нормативно-правовые документы как регуляторы, задающие целевые функции.

3. Интегрировать разнородные информационные источники в единую систему наблюдений и управления.

Тем самым экологическое загрязнение переводится из плохо формализованных явлений в класс управляемых систем, что открывает путь к автоматизации проектирования и созданию интеллектуальных технологий рекультивации.

3. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ И НЕПОЛНОТА ДАННЫХ

Одной из ключевых особенностей экологических объектов, подвергшихся загрязнению, является высокая степень неопределенности исходной информации. В отличие от технических систем, где параметры и режимы могут быть строго измерены и воспроизведены, экологическая среда характеризуется вариативностью, фрагментарностью данных и множественностью источников, нередко противоречащих друг другу, что особенно проявляется на стадии отбора проб [13]. Для системного анализа это означает необходимость разработки специальных методов обработки информации, обеспечивающих достоверность и воспроизводимость проектных решений.

Первая проблема заключается в том, что обследования загрязненных участков редко носят комплексный характер. Чаще всего они проводятся выборочно:

- по ограниченному количеству точек отбора проб;
- в отдельные сезоны без учета межгодовой динамики;
- по ограниченному набору показателей (например, только по нефтепродуктам, без оценки биологической активности или солевого состава). Риск-ориентированные подходы позволяют повысить точность делиниации загрязненных участков [14].

В результате формируется неполная картина состояния системы. Это аналогично ситуации в технических науках, когда контролируется лишь один параметр (например, температура), тогда как другие (давление, вибрации, расход) остаются вне поля зрения. Управление системой по такой информации неизбежно ведет к ошибкам.

Информация о загрязненных территориях поступает из различных каналов, таких как лабораторные исследования, акты обследований, данные мониторинга, экспертных заключений, судебных решений. Эти источники отличаются:

- по методикам анализа (разные лаборатории могут применять отличающиеся стандарты, приборы и методы пробоподготовки);
- по точности и погрешности измерений;
- по формату представления (цифровые таблицы, текстовые отчеты, графические материалы);
- по времени получения (данные разных лет, сезонов, этапов проекта).

Такая разнородность делает невозможным их прямое сопоставление без предварительной обработки. В системной аналогии это соответствует ситуации, когда разные датчики передают сигналы в разных форматах и с разной точностью. Для интеграции необходима процедура нормализации и приведения данных к единому масштабу.

Для снижения неопределенности и обеспечения надежности проектных решений применяются следующие подходы:

- Нормализация данных. Приведение разнородных данных к единой системе координат (например, пересчет концентраций к единому стандарту пробоподготовки, унификация форматов представления).
- Верификация информации. Проверка данных на достоверность через повторные измерения, сопоставление с независимыми источниками, использование контрольных проб.
- Сценарный подход. Формирование нескольких возможных сценариев состояния объекта (оптимистического, пессимистического, реалистического). Это позволяет учесть диапазон возможных изменений и снизить риск неверных решений.
- Привлечение экспертных систем. Использование алгоритмов искусственного интеллекта, баз знаний и экспертных методик для интерпретации фрагментарных данных. В экологии это особенно важно, так как не все процессы могут быть строго измерены, но многие могут быть предсказаны на основе аналогий и прецедентов.
- Методы статистической обработки. Применение математических методов (регрессионный анализ, кластеризация, факторный анализ) для выявления закономерностей в разнородных массивах данных.

Системный анализ играет ключевую роль в работе с неполной и неопределенной информацией. Его методы позволяют:

- выявлять причинно-следственные связи даже при отсутствии полного массива данных;
- интегрировать данные из разнородных источников в единую модель;
- учитывать динамику изменений и строить прогнозные сценарии;
- обеспечивать устойчивость проектных решений в условиях высокой вариативности исходной информации.

По сути, системный анализ выполняет функцию «фильтра» и «интерпретатора» информации, без которого управление загрязненными территориями превращается в хаотический и малоэффективный процесс.

Неопределенность и неполнота данных являются фундаментальной характеристикой экологических систем, подвергшихся загрязнению. Их игнорирование ведет к ошибочным проектным решениям и снижает эффективность рекультивации. Системный анализ обеспечивает методологическую основу для преодоления этих проблем, позволяя нормализовать, верифицировать и интегрировать разнородные данные, а также формировать устойчивые сценарные модели. Это делает возможным переход от фрагментарных инженерных мер к комплексному и воспроизводимому проектированию природоохранных мероприятий.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Обосновано, что загрязненные земли целесообразно рассматривать как **сложные технические объекты системного анализа**, что позволяет формализовать процессы их деградации и восстановления.

2. Проведена **типизация загрязнителей** (нефть, соли, тяжелые металлы, многокомпонентные смеси) и их откликов в почвенно-экологических системах, предложено дополнение таблицы указанием типовых мер рекультивации.

3. На региональном примере Самарской области показаны **специфические формы деградации** (амбарные накопители буровых отходов, техногенные солонцы), что подчеркивает необходимость адаптации проектных решений к конкретным условиям.

4. Проведен сравнительный анализ с зарубежными подходами (EPA DSTs, EU Soil Strategy, Nature Restoration Law), что подтвердило общемировую тенденцию перехода к цифровым и системным методам экологического проектирования.

5. Выявлена значимость учета **неопределенности и фрагментарности данных**; предложены направления ее преодоления на основе нормализации, верификации и цифровых технологий (машинное обучение, цифровые двойники).

6. Показано, что системный подход формирует методологическую основу для автоматизации проектирования рекультивации и может сократить разрыв между нормативно-ориентированной российской практикой и международными стандартами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что экологическое загрязнение земель следует рассматривать не как частный факт деградации, а как сложный технический объект, характеризующийся множественностью факторов, нелинейной динамикой и высокой степенью неопределенности исходных данных. Такой подход позволяет уйти от описательной категории «нарушенные территории» и перейти к формализованному представлению, где загрязненный участок описывается через модель «входы → преобразования → состояния → выходы».

На основе системного анализа выделены ключевые типы загрязнителей и их отклики, а также предложены типовые меры рекультивации. Региональные примеры (Самарская область) подтвердили необходимость адаптации проектных решений к конкретным условиям, а сравнительный анализ зарубежных подходов показал, что интеграция системного анализа и цифровых технологий является общемировой тенденцией, что делает данный подход перспективным и для российской практики.

Таким образом, предложенный в статье подход обеспечивает переход от разрозненных инженерных мер к согласованным и формализованным проектным методикам, основанным на принципах системного анализа. Он формирует основу для внедрения интеллектуальных систем поддержки проектных решений, сокращения сроков подготовки проектной документации, повышения точности расчетов и снижения экологических и правовых рисков. Экологическое загрязнение земель предложено рассматривать как объект системного анализа, где региональная специфика (на примере Самарской области) увязана с международными практиками цифровизации и управления почвенными ресурсами. Такой подход придает исследованию целостность, подтверждает его научную новизну и формирует методологическую базу для автоматизации процессов рекультивации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gao J., Zhang Y., Li W. Global research on contaminated soil remediation: a bibliometric analysis // *Land*. 2022. Vol. 11(9). P. 1581. DOI: 10.3390/land11091581
2. Smith P., House J. I., Bustamante M. et al. Global change pressures on soils from land use and management // *Global Change Biology*. 2019. Vol. 25(2). Pp. 563–581. DOI: 10.1111/gcb.13068
3. Жидков А. Н., Коженков Л. Л. Рекультивация нарушенных земель // *Лесохозяйственная информация*. 2019. №3. С. 134–145.
4. Шамсутдинова Л. Р., Белан Л. Н., Акбалина З. Ф. Реабилитация загрязненных промышленных территорий (на примере ОАО «Уфахимпром») // *Вестник Башкирского университета*. 2013. Т. 18. № 4. С. 1092–1094. EDN: RUOZJJ
5. Носова М. В., Середина В. П., Стовбунник С. А. Опыт проведения локальных рекультивационных мероприятий по восстановлению техногенно-засоленных почв // *Принципы экологии*. 2024. № 3. С. 61–71. DOI: 10.15393/j1.art.2024.14964
6. Бертуланфи Л. Общая теория систем: критический обзор. М.: Прогресс, 1969. 296 с.
7. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974. 280 с.
8. Аверьянов А. Н. Системное познание мира: методологические проблемы. Политиздат, 1985. 242 с.
9. Zou Y., Wang L., Li J. Remediation of crude oil contaminated soil through an integration of chemical and biological treatments // *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 905. 167271. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170756
10. Минникова Т. Ю., Русева А. С., Колесников С. И. Оценка ферментативной активности нефтезагрязненного чернозема после биоремедиации // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. Вып. 5. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-5-5-20
11. Lee H., Park S., Kim J. Recent developments and prospects of sustainable remediation treatments for major contaminants in soil: a review // *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 912. P. 164713. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168769
12. Abrams F., Rossi A., Tzoulis A. Multi-criteria decision analysis to support the remediation of polluted soils: a review of case studies // *Land*. 2024. Vol. 13(6). P. 887. DOI: 10.3390/land13060887
13. Glavič-Cindro D. et al. Comparison of different approaches of soil sampling uncertainty determination // *Applied Radiation and Isotopes*. 2023. Vol. 194. P. 110682. DOI: 10.1016/j.apradiso.2023.110676
14. Tao H., Zhao D., Luo L. A risk-based approach for accurately delineating the extent of contaminated soil // *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 921. P. 167829. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168231

REFERENCES

1. Gao J., Zhang Y., Li W. Global research on contaminated soil remediation: a bibliometric Analysis. *Land*. 2022. Vol. 11(9). P. 1581. DOI: 10.3390/land11091581
2. Smith P., House J.I., Bustamante M. et al. Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*. 2019. Vol. 25(2). Pp. 563–581. DOI: 10.1111/gcb.13068
3. Zhidkov A.N., Kozhenkov L.L. Reclamation of disturbed lands. *Forestry Information*. 2019. No. 3. Pp. 134–145. (In Russian)
4. Shamsutdinova L.R., Belan L.N., Akbalina Z.F. Rehabilitation of contaminated industrial areas (on the example of Ufakhimprom OJSC). *Bulletin of Bashkir University*. 2013. Vol. 18. No. 4. Pp. 1092–1094. EDN: RUOZJJ. (In Russian)

5. Nosova M.V., Seredina V.P., Stovbunik S.A. Experience in carrying out local reclamation measures to restore technogenically saline soils. *Principles of Ecology*. 2024. No. 3. Pp. 61–71. DOI: 10.15393/j1.art.2024.14964. (In Russian)
6. Bertalanffy L. *Obshchaya teoriya sistem: kriticheskiy obzor* [General Systems Theory: A Critical Review]. Moscow: Progress, 1969. 296 p. (In Russian)
7. Sadovsky V.N. Foundations of General Systems Theory. Moscow: Nauka, 1974. 280 p. (In Russian)
8. Averyanov A.N. *Sistemnoye poznanie mira: metodologicheskiye problemy* [Systems Cognition of the World: Methodological Problems]. Politizdat, 1985. 242 p. (In Russian)
9. Zou Y., Wang L., Li J. Remediation of crude oil contaminated soil through an integration of chemical and biological treatments // *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 905. 167271. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170756
10. Minnikova T.Yu., Ruseva A.S., Kolesnikov S.I. Evaluation of the enzymatic activity of oil-contaminated chernozem after bioremediation. *Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2022. No. 5. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-5-5-20. (In Russian)
11. Lee H., Park S., Kim J. Recent developments and prospects of sustainable remediation treatments for major contaminants in soil: a review. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 912. P. 164713. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168769
12. Abrams F., Rossi A., Tzoulis A. Multi-criteria decision analysis to support the remediation of polluted soils: a review of case studies. *Land*. 2024. Vol. 13(6). P. 887. DOI: 10.3390/land13060887
13. Glavič-Cindro D. et al. Comparison of different approaches of soil sampling uncertainty determination. *Applied Radiation and Isotopes*. 2023. Vol. 194. P. 110682. DOI: 10.1016/j.apradiso.2023.110676
14. Tao H., Zhao D., Luo L. A risk-based approach for accurately delineating the extent of contaminated soil. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 921. P. 167829. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.168231

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Климавичус Ярослав Эдвардович, аспирант, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева;
443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34;
yklamavichus@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6571-1266>, SPIN-код: 4114-0615

Information about the author

Yaroslav E. Klimavičius, Postgraduate Student, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev;
34 Moskovskoe shosse, Samara, 443086, Russia;
yklamavichus@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6571-1266>, SPIN-code: 4114-0615

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-68-79

EDN: LPRGUP

Разработка подхода к классификации дефолта заемщика на основе интеграции методов предварительной обработки и методов машинного обучения

А. Ф. Константинов[✉], Л. П. Дьяконова

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

Аннотация. Задача прогнозирования дефолта заемщиков лежит в основе финансовой стабильности кредитных организаций и является актуальной.

Цель исследования – разработка и оценка работы интегрального метода прогнозирования дефолта заемщика.

Материалы и методы. Исследование проведено путем моделирования работы интегрального метода прогнозирования дефолта заемщиков, анализа и сравнения полученных результатов с базовой моделью ИИ и формирования выводов.

Результаты. По итогам анализа зависимостей разработан и просчитан интегральный метод прогнозирования дефолта заемщика, который показал значительный рост показателей качества (рост средней точности – на 0,383, рост f1-score на – 0,509 и точности – на 0,792) относительно базовой модели. В данной статье приведены результаты экспериментов по улучшению показателей качества моделей машинного обучения, выполняющих прогнозирование дефолта заемщика.

Выводы. Разработка интегральных методов прогнозирования дефолта заемщиков позволит повысить точность и надежность прогнозных моделей, что имеет большое практическое значение.

Ключевые слова: методы снижения дисбаланса классов, метод выделения аномалий в отдельную модель, метод баггинга, интегральный метод прогнозирования дефолта заемщика

Поступила 11.06.2025, одобрена после рецензирования 15.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Константинов А. Ф., Дьяконова Л. П. Разработка подхода к классификации дефолта заемщика на основе интеграции методов предварительной обработки и методов машинного обучения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 68–79. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-68-79

MSC: 90C99

Original article

Comparative analysis of class imbalance reduction methods in building machine learning models in the financial sector

A.F. Konstantinov[✉], L.P. Dyakonova

Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia

Abstract. Borrower default prediction is a pressing issue that underlies the financial stability of credit institutions.

Aim. This study is to develop and evaluate an integrated borrower default prediction method.

Materials and methods. The study was conducted by simulating the integrated borrower default prediction method, analyzing and comparing the results with the baseline AI model, and drawing conclusions.

Results. Based on the analysis of dependencies, an integrated borrower default prediction methods developed and calculated. It demonstrated a significant improvement in quality metrics (an increase in average accuracy of 0.383, an increase in f1-score of 0.509, and an increase in accuracy of 0.792) relative to the baseline model. This article presents the results of experiments aimed at improving the quality metrics of machine learning models used to predict borrower default.

Conclusion. The development of integrated borrower default prediction methods will improve the accuracy and reliability of forecast models, which is of great practical importance.

Keywords: methods for reducing class imbalance, methods for isolating anomalies into a separate model, bagging method, integral method for predicting borrower default

Submitted on 11.06.2025,

approved after reviewing on 15.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Konstantinov A.F., Dyakonova L.P. Comparative analysis of class imbalance reduction methods in building machine learning models in the financial sector. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 68–79. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-68-79

ВВЕДЕНИЕ

По данным Центрального банка Российской Федерации «О развитии банковского сектора Российской Федерации в декабре 2024» [1], в декабре 2024 года объем проблемных кредитов составлял 4,8 трлн руб. В корпоративном портфеле доля проблемных кредитов осталась на уровне 3,8 %, а в розничном – 4,6 %. При этом за 2024 год доля проблемных корпоративных кредитов сократилась на 0,6 п.п. – с 4,4 % на начало года, но это связано с ростом портфеля (объем проблемных кредитов вырос за год на 4,1 %). Доля розничных проблемных кредитов, напротив, выросла на 0,5 п.п., что обусловлено постепенным вызреванием кредитов, выданных по высоким ставкам, а также ростом просрочек по кредитам наличными, предоставленным в том числе в 1 полугодии 2024 года, когда банки активно кредитовали новых заемщиков без кредитной истории. Даже минимальное увеличение показателей качества методов прогнозирования дефолта заемщиков и снижение доли проблемных кредитов приведут к значительным эффектам как для потребителей (за счет снижения надбавки на риск в стоимости кредитов), так и для банков (за счет увеличения объема выдачи кредитов при снижении надбавки на риск в стоимости кредитов). Также снижение доли проблемных кредитов положительно скажется на повышении эффективности банковского сектора в целом по стране.

Одними из особенностей финансовых данных являются значительный дисбаланс классов, наличие аномалий в данных и большая зависимость от данных, используемых при обучении. Современные алгоритмы машинного обучения могут работать с такими особенностями финансовых данных «по умолчанию», но есть универсальные методы, которые позволяют улучшить показатели качества моделей машинного обучения при прогнозировании дефолта заемщика. Данная статья направлена на изучение зависимостей показателей качества при прогнозировании дефолта заемщика от параметров методов, увеличивающих показатели качества классификации.

ОПИСАНИЕ НАБОРА ДАННЫХ

1. Bank Loan Defaulter Prediction (Hackathon)¹

¹ <https://www.kaggle.com/datasets/ankitkalauni/bank-loan-defaulter-prediction-hackathon?select=train.csv>

Набор данных содержит информацию, необходимую, чтобы предсказать, будет ли человек неплательщиком по кредиту. Набор данных содержит 67463 строки и 34 переменные. Доля положительного класса составила 0,09. В качестве положительного класса рассматриваются случаи дефолта заемщика. Классы информации в наборе данных:

- Информация о кредите (сумма кредита; сумма покупки; сумма, выплаченная инвестором; срок кредита; процентная ставка; тип кредита; тип заявки на кредит; уникальный статус листинга кредита (в ожидании, перенаправлен)).
- Информация о заемщике (класс заемщика по классификации банка; подкласс заемщика по классификации банка; номера партий для клиента; продолжительность работы на последнем месте; есть ли недвижимость; количество открытых счетов; признак кредитной линии; общее количество кредитных линий, доступных представителям кредитной линии; общий возобновляемый остаток кредита; используемая сумма кредита относительно общего возобновляемого баланса; отношение платежей по кредиту к доходу; максимальная сумма, которую заемщик может заимствовать в рамках всех своих открытых возобновляемых кредитных продуктов; общий баланс по всем счетам; общее количество процентов, полученных по настоящий момент; общее количество запросов на кредит за 6 месяцев).
- История просрочек заемщика (как долго клиент выплачивал регулярные ежемесячные платежи после зачисления в партию; общая сумма взысканных долгов за последние 12 месяцев, за исключением медицинских сборов; количество записей о публичных нарушениях; количество кредитов, по которым клиент допустил просрочку платежей; количество просрочек более 30 дней за 2 года).
- Проверки (общая сумма штрафа за просрочку платежа, полученная на сегодняшний день; сумма средств, возвращенных банку после списания кредита; стоимость услуг по взысканию долгов после их списания; общая сумма взысканных задолженностей; статус проверки).

Целевая переменная: статус кредита (0 – оплачен / 1 – дефолт).

СХЕМА ВАЛИДАЦИИ

Для каждого набора данных наблюдения разделялись методом кросс-валидации StratifiedShuffleSplit² на тренировочные (50 %) и тестовые (50 %) данные, и для каждого набора тренировочных данных 3 раза проводилось разделение на тренировочный и валидационный набор данных с помощью метода кросс-валидации kFold³ (20 % на валидационные данные, 80 % – данные для обучения).

ОПИСАНИЕ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Базовая модель машинного обучения в данной статье рассматривается как решение без улучшений, относительно которого будет измеряться эффективность предложенных методов. Для моделирования использовалась модель градиентного бустинга LightGBM, разработанная Microsoft. Модель градиентного бустинга представляет собой метод ансамблевого обучения, который объединяет несколько слабых алгоритмов, обычно деревьев решений

²Метод кросс-валидации StratifiedShuffleSplit – это метод, используемый для разделения данных на тренировочные и тестовые наборы с учетом стратификации. Это означает, что при разделении сохраняется пропорциональное соотношение классов в целевой переменной. Это важно для данных финансового сектора, так как для них характерен большой дисбаланс классов.

³Метод кросс-валидации kFold разбивает исходный набор данных на k равных подмножеств (фолдов). В каждом из k итераций одно из подмножеств используется в качестве тестового набора, а остальные (k-1) – для обучения модели. После каждой итерации вычисляется метрика качества.

небольшой глубины. На каждой итерации модели последовательно обучаются снижать ошибки прогнозов предыдущих моделей. Общая схема бустинга приведена на рисунке 1.

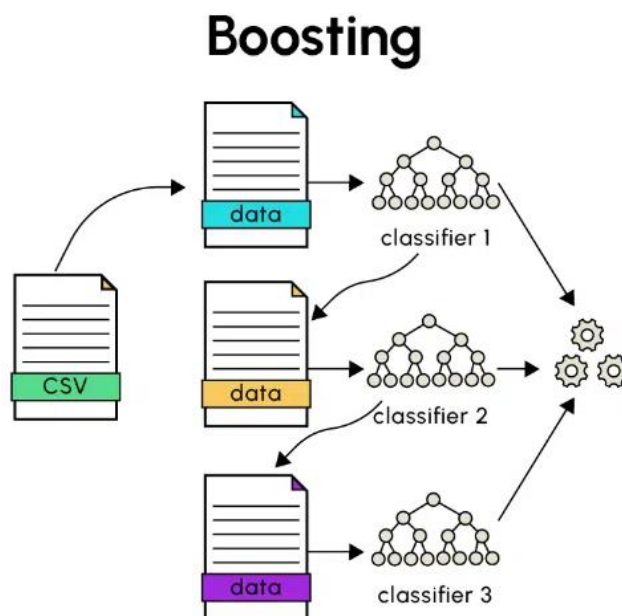


Рис. 1. Общая схема бустинга / **Fig. 1.** General boosting scheme

Установлены следующие гиперпараметры модели: количество решающих деревьев бустинга ('n_estimators') = 3000, шаг обучения ('learning_rate') = 0,03, максимальная глубина дерева бустинга ('max_depth') = 6, количество итераций обучения без увеличения показателей качества, после которых обучение остановится ('early_stopping_rounds') = 100, данные для валидации ('eval_set') = (X_val, y_val). После разбиения каждого набора данных на сплит и фолд на данных для обучения был обучен кодировщик категориальных переменных TargetEncoder⁴ из библиотеки category_encoders. Так как при обучении TargetEncoder мы использовали только данные для обучения, утечка данных не происходит. Далее преобразованы категориальные переменные валидационных и тестовых наборов данных X_val, X_test.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СНИЖЕНИЯ ДИСБАЛАНСА КЛАССОВ

В статье [2] Амаль Аль Али и др. проводят исследования, связанные с прогнозированием мошенничества с финансовой отчетностью. Лучшие результаты по сравнению с классическими моделями машинного обучения (логистическая регрессия, деревья решений, машины опорных векторов, AdaBoost и случайный лес) показывают модели на основе бустинга (XGBoost) с проведенными мероприятиями по снижению дисбаланса классов и автоматизированной настройкой гиперпараметров модели.

В нашей статье [3] методы снижения дисбаланса классов показали свою эффективность (метод RandomOverSampler) при классификации дефолта заемщика. Чтобы понять, как именно увеличение отношения количества наблюдений положительного класса к количе-

⁴TargetEncoder – метод кодирования категориальных переменных, при котором признаки заменяются смесью апостериорной вероятности цели с учетом конкретного категориального значения и априорной вероятности цели по всем обучающим данным.

ству наблюдений отрицательного класса (далее – отношение положительного класса к отрицательному) влияет на показатели качества классификации, в задаче классификации дефолта заемщика был задан шаг отношения положительного класса к отрицательному – 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1. Далее после разделения данных на тренировочные, валидационные и тестовые к тренировочным данным применяется метод снижения дисбаланса RandomOverSampler, в рамках которого была проведена случайная выборка дополнительных наблюдений из данных для обучения путем дублирования наблюдений положительного класса до увеличения отношения положительного класса к отрицательному до уровня, установленного для соответствующего шага. После этого обучалась базовая модель классификации дефолта заемщика и замерялись показатели качества классификации.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ОТДЕЛЬНУЮ МОДЕЛЬ

В статье [4] авторы исследуют удаление выбросов, определенных разными методами выделения аномалий (LOF, CBLOF, IForest, and COPOD) совместно с методами корректировки дисбаланса. Это приносит улучшение показателей качества кредитного скоринга. В наших исследованиях вместо удаления выбросов мы обучаем отдельную модель прогнозирования дефолтов заемщиков, только на наблюдениях – выбросах.

Аномалии, присутствующие в данных, могут существенно изменять коэффициенты моделей ИИ и приводить к смещению модели ИИ. Классические модели ИИ (например, логистическая регрессия) чувствительны к аномалиям, и одна серьезная аномалия может значительно скорректировать уравнение регрессии. Ансамблевые модели на основе градиентного бустинга более устойчивы к аномалиям, но они также ухудшают свои показатели качества при наличии аномалий в данных. В данной статье мы рассмотрим автоматизированный подход к работе с аномалиями, который при применении в производственной среде должен быть дополнен экспертным анализом причин аномалий.

В нашей статье [5] с помощью модели Isolation Forest [6] наблюдения были разделены на 2 набора с нормальными и аномальными данными. Далее обучалось 2 модели ИИ, аналогичные базовым моделям, для нормальных и аномальных наблюдений. Когда приходят новые наблюдения, сначала применяется модель IsolationForest⁵, предсказывающая уровень аномалии, потом одна из моделей (для нормальных или для аномальных наблюдений) проводит прогнозирование. Обучение дополнительной модели для аномалий отдельно приводило к статистически значимому росту показателей качества при прогнозировании дефолта заемщика. В данной статье раскрываются результаты экспериментов, фиксирующие зависимости показателей качества моделей классификации от отношения положительного класса к отрицательному, которые обрабатываются дополнительной моделью ИИ для аномалий. Данный эксперимент был предпринят на основе прочтения статьи «Обзор методов обнаружения выбросов/аномалий в данных временных рядов» [7] и изучения LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) [8] – одной из моделей объяснимого искусственного интеллекта, в которой в локальной области строится простая интерпретируемая модель.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАГТИНГА

Метод баггинга (bootstrap aggregating) [9] – это ансамблевый алгоритм, который обучает базовые классификаторы на случайной выборке с возвращением из набора данных для обучения и далее агрегирует прогнозы базовых моделей путем усреднения или выбора большинства го-

⁵Модель IsolationForest применяется как одна из моделей поиска аномалий. Исследования по определению наиболее подходящей модели поиска аномалий в контексте метода выделения аномалий в отдельную модель при решении задачи прогнозирования дефолта заемщика запланированы.

лосов. За счет усреднения большого количества прогнозов базовых классификаторов на разных подвыборках данных происходит снижение дисперсии и увеличение точности. Основным параметром настройки данного метода – это количество базовых классификаторов. Целесообразно увеличивать количество базовых классификаторов до момента, пока показатели качества не перестанут значительно улучшаться и не выйдут на плато (асимптоту). Данный метод вычислительно затратен. Общая схема баггинга приведена на рисунке 2.

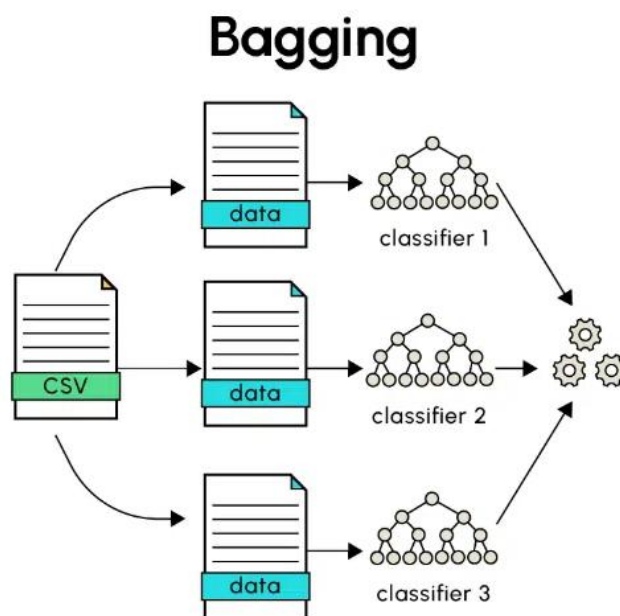


Рис. 2. Общая схема баггинга / **Fig. 2.** General bagging scheme

Применение баггинга обусловлено успешным его применением в статье «Метод бэггинга для классификатора автоэнкодера с обучением для кредитного скоринга» [10]. Исследователи объединяют автоэнкодер с баггингом на финансовых данных. Данное исследование отличается от эксперимента в нашей статье тем, что мы используем бустинг в качестве базовой модели вместо автоэнкодера на базе нейросетей.

В статье [11] авторы предлагают гибридный метод для кредитного скоринга. Используют XGBoost в качестве базового обучающегося алгоритма, что обеспечивает прогноз с низким смещением. Для улучшения дисперсии используют баггинг. Экспериментальные результаты на австралийских, немецких, японских и тайваньских наборах данных показывают, что предлагаемое каскадное дерево решений с усилением методом баггинга обеспечивает более точный результат кредитного скоринга.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОЛТА ЗАЕМЩИКА

Проведя анализ применения метода снижения дисбаланса классов, метода выделения аномалий в отдельную модель и метода баггинга, считаем целесообразным совместное применение данных методов и предлагаем интегральный метод прогнозирования дефолта заемщика (далее – интегральный метод).

На вход интегрального метода подаются набор данных X и целевая переменная y . Набор данных разделяется на данные для обучения, настройки и данные для проверки. Далее на данных для обучения обучается TargetEncoder и производится кодирование категориальных переменных.

После кодирования категориальных переменных обучается модель определения уровня аномалии. С помощью модели IsolationForest для всех наблюдений проводится прогнозирование уровня аномалии и определяется точка отсечения на нормальные и аномальные

наблюдения. Точка отсечения уровня аномалии является параметром для оптимизации. Далее данные для обучения, настройки и проверки разделяются на нормальные и аномальные.

Для каждой части данных (нормальные и аномальные) отдельно проводится применение метода снижения дисбаланса классов (RandomOverSampler) к данным для обучения. Отношение количества наблюдений положительного класса к количеству наблюдений отрицательного класса является параметром для оптимизации. Из данных для обучения после применения метода снижения дисбаланса классов проводится случайная выборка с возвращением данных для обучения необходимого количества базовых моделей на основе бустинга. Количество базовых моделей является оптимизируемым параметром в баггинге. Итоговый прогноз каждого наблюдения формируется как среднее значение вероятностей базовых моделей. Оптимизация проводилась путем перебора по сетке заранее определенных параметров оптимизации.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данной статье рассмотрены методы, которые по результатам наших прошлых исследований показали значимое увеличение показателей качества при прогнозировании дефолта заемщика. С помощью дополнительных исследований мы фиксируем зависимости показателей качества классификации от настроечных параметров рассмотренных методов. Также ожидается, что после корректировки дисбаланса классов и метод выделения аномалий в отдельную модель, и метод баггинга будут показывать лучшие результаты за счет того, что на сбалансированных данных базовой модели будет проще фиксировать основные закономерности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Таблица 1. Зависимость показателей качества классификации дефолта заемщика от отношения количества наблюдений положительного класса к количеству наблюдений отрицательного класса

Table 1. Dependence of the quality indicators of borrower default classification on the ratio of the number of observations of the positive class to the number of observations of the negative class

Отношение количества наблюдений положительного класса к количеству наблюдений отрицательного класса	Средняя точность	Сбалансированная точность	Брайер скор	F1_score	Точность	Полнота	ROC_AUC
base	0,115	0,500	0,084	0	0	-	0,549
0,1	0,167	0,500	0,084	-	-	-	0,561
0,2	0,187	0,504	0,086	0,016	0,538	0,008	0,609
0,3	0,329	0,534	0,088	0,129	0,882	0,070	0,690
0,4	0,378	0,578	0,093	0,267	0,836	0,159	0,703
0,5	0,399	0,612	0,100	0,353	0,745	0,232	0,708
0,6	0,417	0,642	0,107	0,410	0,639	0,302	0,712
0,7	0,429	0,662	0,113	0,428	0,540	0,355	0,714
0,8	0,436	0,674	0,120	0,424	0,456	0,397	0,715
0,9	0,445	0,682	0,126	0,410	0,390	0,432	0,716
1	0,447	0,684	0,133	0,389	0,338	0,460	0,716
Рост показателя, ед.	0,332	0,184	0,049	0,428	0,882	0,460	0,167

Таблица 2. Зависимость показателей качества классификации дефолта заемщика от уровня аномалии для отнесения наблюдений в отдельную модель ИИ

Table 2. Dependence of the quality indicators of borrower default classification on the level of anomaly for assigning observations to a separate AI model

Уровень аномалии для отнесения наблюдений в отдельную модель	Средняя точность	Сбалансированная точность	Брайер скор	F1_score	Точность	Полнота	ROC_AUC
base	0,115	0,500	0,084	-	-	-	0,549
0,01	0,116	0,500	0,084	-	-	-	0,552
0,025	0,112	0,500	0,084	-	-	-	0,545
0,05	0,120	0,500	0,084	-	-	-	0,554
0,075	0,121	0,500	0,084	-	-	-	0,555
0,1	0,127	0,500	0,084	-	-	-	0,563
0,125	0,121	0,500	0,084	-	-	-	0,558
0,15	0,117	0,500	0,084	-	-	-	0,550
0,175	0,120	0,500	0,084	-	-	-	0,555
0,2	0,118	0,500	0,084	-	-	-	0,552
0,3	0,127	0,500	0,084	-	-	-	0,562
0,4	0,137	0,500	0,083	0,000	0,160	0,000	0,572
0,5	0,154	0,500	0,083	0,001	0,348	0,000	0,590
Рост показателя, ед.	0,039	0	0	0,001	0,348	0	0,041

Таблица 3. Зависимость показателей качества прогнозирования дефолта заемщика от количества базовых классификаторов при применении метода баггинга

Table 3. Dependence of the quality indicators of borrower default classification on the number of basic classifiers when using the bagging method

Количество базовых классификаторов	Средняя точность	Сбалансированная точность	Брайер скор	F1_score	Точность	Полнота	ROC AUC
base	0,115	0,500	0,084	-	-	-	0,549
2	0,118	0,500	0,084	-	-	-	0,553
5	0,127	0,500	0,084	-	-	-	0,565
10	0,134	0,500	0,084	-	-	-	0,576
20	0,139	0,500	0,084	-	-	-	0,585
25	0,141	0,500	0,084	-	-	-	0,586
30	0,142	0,500	0,084	-	-	-	0,589
35	0,142	0,500	0,084	-	-	-	0,590
40	0,143	0,500	0,084	-	-	-	0,592
50	0,145	0,500	0,084	-	-	-	0,594
Рост показателя, ед.	0,030	0	0	0	0	0	0,044

Таблица 4. Сравнение показателей качества интегрального метода прогнозирования дефолта заемщика с показателями качества базовой модели классификации дефолта заемщика

Table 4. Comparison of the quality indicators of the integral method for predicting borrower default with the quality indicators of the basic model for classifying borrower default

Показатель качества	Наименование метода		Рост
	базовый	интегральный	
Средняя точность	0,115	0,497	0,383
Сбалансированная точность	0,500	0,682	0,182
Брайер скор	0,084	0,070	-0,013
F1_score	0	0,509	0,509
Точность	0	0,792	0,792
Полнота	0	0,374	0,374
ROC_AUC	0,549	0,720	0,170

Выводы

С точки зрения важности показателей качества методов ИИ при решении задачи прогнозирования дефолта заемщика целесообразно рассматривать финансовые показатели, такие как прибыль или убыток от группы клиентов с определенной вероятностью дефолта заемщика. Так как эти данные не публикуются, то наиболее важным показателем качества считаем f1-score, так как позволяет поддерживать соотношение между точностью и полнотой при оптимизации моделей. Высокая точность модели показывает: если модель предсказала высокую вероятность дефолта, то действительно, скорее всего, будут финансовые потери. И при этом понятно, что если у модели ИИ низкая полнота, то модель определяет мало реальных дефолтов и необходимо улучшать качество модели. Таким образом, показатель качества классификации f1-score как среднегармоническое между точностью и полнотой наиболее связан с бизнес-результатами.

Брайер скор показывает, насколько хорошо откалибрована модель, то есть прогнозная вероятность дефолта соответствует фактической частоте дефолтов в группах со схожим прогнозом вероятности дефолта. Брайер скор не связан напрямую с бизнес-результатом.

В условиях сильного дисбаланса FPR может оставаться низким даже при большом количестве ложноположительных прогнозов из-за большого числа TN, что делает ROC AUC излишне оптимистичной. Показатели ROC_AUC могут быть достаточно высокими, но при этом точность (бизнес-результат скоринга) будет отрицательной.

Средняя точность – это среднее значение точности по всем возможным порогам точки отнесения к положительному классу классификации, что позволяет более полно оценить поведение модели при разных точках отсечения, но не связано с полнотой, в отличие от f1-score, где учитываются точность и полнота для одной точки отсечения, равной 0,5 по умолчанию.

Сбалансированная точность – как среднее арифметическое между точностью положительного и отрицательного класса. Не в полной мере учитывает дисбаланс, потому что доля положительного класса в задачах прогнозирования дефолта заемщиков часто составляет от 5 до 15 %, формула сбалансированной точности учитывает 50 % и увеличивает вклад в точность положительного класса (излишне оптимистична). Также данный параметр не учитывает полноту, а полнота показывает, насколько модель способна выделять из данных потенциальный дефолт (убытки).

Выводы по применению метода снижения дисбаланса классов

Увеличение доли положительного класса приводит к увеличению всех показателей качества. Оптимальные значения точности достигаются в диапазоне доли положительного класса от 0,1 до 0,3. Настройка классификации дефолта заемщика по точности может быть важна, если стоит задача минимально сократить продажи из-за отклонения заявок на кредит. Баланс между точностью и полнотой достигается (f1-score) в диапазоне доли положительного класса от 0,7 до 0,8. При применении в промышленной среде оптимальная точка определяется исходя из накопительной убыточности ограниченного классификатором дефолта заемщика сегмента заемщиков. Применение методов снижения дисбаланса классов является важным для классификации дефолта заемщика. Для корректной работы базовых классификаторов метод снижения дисбаланса классов необходимо применять до их обучения.

Выводы по применению метода выделения аномалий в отдельную модель

Увеличение уровня аномалий для отнесения наблюдений в отдельную модель имеет разные точки оптимума для разных наборов данных. Это указывает на разную зашумленность в разных наборах данных. При применении метода выделения аномалий в отдельную модель основной рост наблюдается у показателя качества точность. Обратите внимание на показатель точность. Метод выделения аномальных наблюдений в отдельную модель значительно повышает точность, но улучшение начинается только на больших уровнях аномалии для отнесения наблюдений в отдельную модель. Это может свидетельствовать о том, что разделение данных на нормальные и аномальные является частным случаем обучения разных базовых моделей на разных кластерах данных. Исследования по применению кластерного анализа для разделения данных и обучения разных базовых моделей для прогнозирования дефолта заемщика запланированы.

Выводы по применению метода баггинга

F1-score, точность и полнота равны нулю. Поэтому оценивать эффективность будем по ранжирующей способности (ROC_AUC) и средней точности. Если посмотреть на метод снижения дисбаланса классов, он позволяет повысить f1-score, точность и полноту и далее применить метод баггинга. Таким образом, метод баггинга должен применяться после применения остальных методов повышения показателей качества при прогнозировании дефолта заемщика.

Выводы по применению интегрального метода

Предложенный интегральный метод прогнозирования дефолта заемщика имеет показатели качества, существенно превышающие показатели качества отдельных лучших методов, так как существуют синергетические эффекты от совместного применения методов. Также был проведен поиск глобального оптимума параметров, определяющих архитектуру интегрального метода прогнозирования дефолта заемщика.

Однако абсолютные значения f1-score (0,509) и средней точности (0,497) остаются не самыми большими даже после применения интегрального метода. Основной вклад вносит низкая полнота. То есть методы не видят большую долю заемщиков с дефолтом. Следующие исследования на тему прогнозирования дефолта заемщика будут направлены на:

- эксперименты с пространством переменных, чтобы сформировать новую проекцию на данные и доставить дополнительную информацию о заемщиках в базовые модели (увеличить полноту);
- расширение перечня методов повышения качества прогнозирования дефолта заемщика;

- рассмотрение способов ускорения обучения и оптимизации настроечных параметров интегрального метода с минимальными потерями качества;
- увеличение перечня наборов данных для уверенной фиксации результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был проведен анализ применения метода снижения дисбаланса классов, метода выделения аномалий в отдельную модель, метода баггинга и предложен интегральный метод прогнозирования дефолта заемщика. Предложенный интегральный метод прогнозирования дефолта заемщика имеет показатели качества, существенно превышающие показатели качества как базовой модели, так и каждого из рассматриваемых методов повышения качества прогнозирования дефолта заемщика. Таким образом, цели и задачи данного исследования достигнуты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Информационно-аналитический материал о развитии банковского сектора Российской Федерации в декабре 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cbr.ru/collection/collection/file/55056/razv_bs_24_12.pdf (дата обращения: 17.09.2025)

Information and analytical material on the development of the banking sector of the Russian Federation in December 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.cbr.ru/collection/collection/file/55056/razv_bs_24_12.pdf (дата обращения: 17.09.2025). (In Russian)

2. Ali A.A., Khedr A.M., El-Bannany M., Kanakkayil S. A powerful predicting model for financial statement fraud based on optimized xgboost ensemble learning technique. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 4. P. 2272. DOI: 10.3390/app13042272

3. Константинов А. Ф., Дьяконова Л. П. Сравнительный анализ методов снижения дисбаланса классов при построении моделей машинного обучения в финансовом секторе // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 143–151. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-143-151

Konstantinov A.F., Dyakonova L.P. Comparative analysis of class imbalance reduction methods in building machine learning models in financial sector. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 143–151. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-143-151. (In Russian)

4. Qian H., Zhang S., Wang B. et al. A comparative study on machine learning models combining with outlier detection and balanced sampling methods for credit scoring 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2112.13196> (дата обращения: 01.09.2025). DOI: 10.48550/arXiv.2112.13196

5. Dyakonova L., Konstantinov A. Approaches to risk analysis in the financial sector based on machine learning and artificial intelligence methods / MPRA Paper. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/122941/> (дата обращения: 17.09.2025)

6. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation forest. *IEEE Xplore*. 2008. Pp. 413–422. DOI: 10.1109/ICDM.2008.17

7. Blázquez-García A., Conde A., Mori U., Lozano J.A. A review on outlier/anomaly detection in time series data. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2002.04236> (дата обращения: 01.09.2025).

8. Ribeiro M.T., Singh S., Guestrin C. Why should I trust you? Explaining the predictions of any classifier. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1602.04938> (дата обращения: 01.09.2025).

9. Breiman L. Bagging predictors. *Machine Learning*. 1996. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–140.
10. Abdoli M., Akbari M., Shahrabi J. Bagging supervised autoencoder classifier for credit scoring. *Preprint*. DOI: 10.48550/arXiv.2108.078
11. Zou Y., Gao C., Xia M., Pang C. Credit scoring based on a bagging-cascading boosted decision tree. *Intelligent Data Analysis*. 2022. Vol. 26. No. 6. Pp. 1557–1578. DOI: 10.3233/IDA-216228

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

Константинов Алексей Федорович, аспирант кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

konstantinovaf@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9591-3301>, SPIN-код: 3088-3121

Дьяконова Людмила Павловна, канд. физ.-мат. наук, доцент, кафедра информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Dyakonova.LP@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8070>, SPIN-код: 2513-8831

Information about the authors

Alexey F. Konstantinov, Postgraduate Student, Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

konstantinovaf@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9591-3301>, SPIN-code: 3088-3121

Lyudmila P. Dyakonova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

Dyakonova.LP@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8070>, SPIN-code: 2513-8831

Концепция коллаборативной системы автоматического виртуального прототипирования нейропротезов на основе гносеографических алгоритмов обучения интеллектуальных программных агентов

З. В. Нагоев^{1,2}, О. В. Нагоева^{✉2}

¹Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

²Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Актуальность разработки и внедрения нейропротезов обусловлена требованиями повышения функциональности и эффективности технических средств реабилитации пациентов с утраченными или частично поврежденными органами, улучшения качества их жизни. Проблема создания протезов в самом широком аспекте связана с необходимостью решения комплекса задач обеспечения структурно-функциональной совместимости сложных искусственных аппаратно-программных устройств с тканями и системами биологических организмов.

Цель исследования – разработка и обоснование концепции системы автономного коллаборативного проектирования нейросовместимых протезов.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования данной работы является методология создания инфраструктуры коллаборативного автоматизированного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов. Предметом исследования является возможность разработки системы коллаборативного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов на основе интеллектуальных программных нейрокогнитивных агентов.

Результаты. Разработана и обоснована концепция систем автономного коллаборативного проектирования нейросовместимых протезов. Разработаны основные требования к системам интеллектуального управления нейросовместимыми протезами и принципы их создания на базе коллаборативных человеко-машинных систем автономного проектирования и прототипирования. Обоснованы возможности создания и разработка архитектуры системы коллаборативного автономного проектирования нейросовместимых протезов на базе программных интеллектуальных нейрокогнитивных агентов.

Ключевые слова: нейросовместимые протезы, системы коллаборативного проектирования, автономное проектирование, виртуальное прототипирование, интеллектуальные программные агенты, мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры

Поступила 04.09.2025, одобрена после рецензирования 30.09.2025, принята к публикации 06.10.2025

Для цитирования. 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

Concept for collaborative system for automatic virtual prototyping of neuroprostheses based on epistemological algorithms for learning intelligent software agents

Z.V. Nagoev^{1,2}, O.V. Nagoeva^{✉2}

¹Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

²Institute 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

Abstract. The development and implementation of neuroprosthetics is urgently needed to improve the functionality and effectiveness of technical rehabilitation tools for patients with lost or partially damaged organs, as well as to enhance their quality of life. The development of prosthetics, in its broadest sense, is linked to the need to address a range of challenges related to ensuring the structural and functional compatibility of complex artificial hardware and software devices with the tissues and systems of biological organisms.

Aim. The study is to develop and substantiate the concept of a system for autonomous collaborative design of neurocompatible prostheses.

Materials and methods. The object of this study is a methodology for creating an infrastructure for collaborative automated design and prototyping of neurocompatible prostheses. The subject of the study is the feasibility of developing a system for collaborative design and prototyping of neurocompatible prostheses based on intelligent software neurocognitive agents.

Results. A concept for autonomous collaborative design systems for neurocompatible prostheses has been developed and validated. Key requirements for intelligent control systems for neurocompatible prostheses and principles for their creation based on collaborative human-machine systems for autonomous design and prototyping have been developed. The feasibility of creating and developing an architecture for a collaborative autonomous design system for neurocompatible prostheses based on intelligent software neurocognitive agents has been substantiated.

Keywords: neurocompatible prostheses, collaborative design systems, autonomous design, virtual prototyping, intelligent software agents, multi-agent neurocognitive architectures

Submitted on 04.09.2025,

approved after reviewing on 30.09.2025,

accepted for publication on 06.10.2025

For citation. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. Concept for collaborative system for automatic virtual prototyping of neuroprostheses based on epistemological algorithms for learning 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

ВВЕДЕНИЕ

Под *нейросовместимым протезом (нейропротезом)* в данной работе понимается протез любого органа (части органа) организма млекопитающего, использующий для своего нормального функционирования обмен сигналами с нервной системой этого организма. Предполагается, что протез по некоторым из своих функциональных возможностей может уступать, быть эквивалентным или превосходить натуральный орган (или часть органа), который он заменяет.

Актуальность разработки и внедрения нейропротезов обусловлена требованиями повышения функциональности и эффективности технических средств реабилитации пациентов с утраченными или частично поврежденными органами, улучшения качества их жизни.

Проблема создания протезов в самом широком аспекте связана с необходимостью решения комплекса задач обеспечения структурно-функциональной совместимости сложных искусственных аппаратно-программных устройств с тканями и системами биологических организмов. В случае нейросовместимых протезов в этом аспекте особо выделяется спектр задач информационной совместимости, связанных с обеспечением обмена и интерпретации сигналов, генерируемых физиологическими системами организма и информационно-управляющей подсистемой протеза.

В этом контексте сам нейропротез в общем случае должен представлять собой сложное устройство, встраиваемое в естественный природный контур управления пораженным (утраченным) органом биологического организма, совместимость с которым по входам должна обеспечиваться путем приема, декодирования и использования в качестве параметров закона управления сигналов от различных отделов нервной системы – от центральных до наиболее дистальных частей эфферентного пути, иннервировавшего этот орган, оставшихся в структуре нервной системы организма и сохранивших свои функции после поражения протезируемого органа.

Соответственно, совместимость нейропротеза по выходам обеспечивается путем синтеза, кодирования и отправки информации в наиболее дистальные из оставшихся в нервной системе организма и сохранивших свои функции отделы афферентного пути, иннервировавшего пораженный (утраченный) орган.

В общем случае мы считаем, что информационные сигналы, генерируемые функциональными системами нервной системы для управления некоторым органом, могут рассматриваться как высказывания на некоторых языках, с помощью которых кодируются задания на исполнение протезируемым органом. Аналогично сенсорные подсистемы, реализованные непосредственно в этом органе, сами кодируют высказывания на некоторых своих языках и направляют их выше по афферентным путям.

Таким образом, одной из центральных *фундаментальных проблем*, решение которой необходимо положить в основу создания нейропротезов, полностью совместимых с нервной системой организма по сигналам в контурах различных уровней системы управления, является дешифровка и синтез алгоритмов операционного использования языка, с помощью которого эта нервная система коммуницирует со структурно-функциональными подсистемами протезируемых органов.

С целью решения этой сложной проблемы в данной работе рассматриваются возможности и перспективы применения систем искусственного интеллекта для построения на их основе дешифраторов и интерпретаторов таких языков. Отдельным направлением искусственного интеллекта, на теоретическом базисе которого должны, по нашему мнению, быть построены алгоритмы работы таких систем, является компьютерная лингвистика.

В данной работе предлагается такие алгоритмы проектировать и реализовывать на основе мультиагентных моделей семантики языка, основанных на концептуальной основе т.н. нейрокогнитивных архитектур [1, 2].

Объектом исследования данной работы является методология создания инфраструктуры коллаборативного автоматизированного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов.

Предметом исследования является возможность разработки системы коллаборативного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов на основе интеллектуальных программных нейрокогнитивных агентов.

Цель исследования – разработка и обоснование концепции системы автономного коллаборативного проектирования нейросовместимых протезов.

Основные задачи исследования:

- разработка основных требований к системам интеллектуального управления нейросовместимыми протезами и принципов их создания на базе коллаборативных человеко-машинных систем автономного проектирования и прототипирования;
- обоснование возможности создания и разработка архитектуры системы коллаборативного автономного проектирования нейросовместимых протезов на базе программных интеллектуальных нейрокогнитивных агентов;
- разработка и обоснование основных принципов и укрупненных алгоритмов перманентного федеративного обучения интеллектуальных нейрокогнитивных агентов в составе программной архитектуры систем автономного коллаборативного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НЕЙРОПРОТЕЗОМ

Как следует из этих требований к совместимости, для корректной работы нейропротеза необходимо решить задачи обеспечения:

- считывания и передачи в режиме реального времени без значимых потерь множественных последовательностей выходных сигналов с постсинаптических терминалей аксонов нейронов эфферентного тракта в систему управления нейропротеза;
- декодирования этих сигналов в наборы команд, непосредственно интерпретируемых (исполняемых) системой управления нейропротеза;
- синтеза закона управления комплексной динамикой подвижных частей протеза, обеспечивающего необходимые состав и качество выполнения функциональных операций;
- синтеза потока афферентных данных с помощью встроенной системы многомодальных сенсоров в режиме реального времени;
- кодирования этих данных в сигналы, непосредственно интерпретируемые нервной системой организма;
- передачи полученных сигналов на входы дендритов нейронов афферентного тракта;
- реализации алгоритмов обучения системы управления нейропротезом в процессе эксплуатации в составе общего комплекса алгоритмов контура адаптивного обучения нервной системы организма эффективному выполнению задач, опирающихся на использование функциональных операций, реализуемых данным нейропротезом.

Следует отметить, что такие понятия, как «качество» управления и «эффективность» выполнения задач, в данной работе применяются в отношении к способности нейропротеза полноценно заменять утраченный орган.

Таким образом, система управления нейропротезом должна распознавать и интерпретировать высказывания, сформированные из сообщений на языках, используемых нейронами эфферентного тракта, а также сама генерировать высказывания, распознаваемые и интерпретируемые нейронами афферентного тракта.

Строго говоря, придерживаясь мультиагентной гипотезы строения когнитивной архитектуры, мы рассматриваем выходные высказывания в обоих направлениях как элементы динамических потоков высказываний отдельных нейронов и сенсоров. Из этого предположения, в частности, следует, что в общем случае как эфферентные команды, так и афферентные сигналы, интерпретируемые на органном уровне в терминах функциональных операций, на нейроморфологическом уровне представляют собой каскады наборов последовательных высказываний (реплик), сформулированных с использованием множества языков различных эфферентных и афферентных нейронов.

Задача декодирования таких сигналов, соответственно, переопределяется как задача интерпретации множества последовательностей высказываний различных эфферентных

нейронов, поступающих в режиме реального времени. При этом результатом интерпретации должно в общем случае также стать множество последовательностей сигналов на соответствующие исполнительные подсистемы нейропротеза.

В свою очередь, задача кодирования афферентных сигналов также определяется как задача интерпретации множества последовательностей сигналов от сенсоров и афферентных нейронов в множества последовательностей высказываний на входных языках нейронов-получателей в различных отделах мозга.

Для организации подобных обменов, как правило, строят т.н. нейроинтерфейсы. Наиболее распространены нейроинтерфейсы на основе неинвазивных электроэнцефалографии и миографии и инвазивные нейроинтерфейсы – на основе микроэлектродного таксиса [3].

Активно разрабатываются методы и системы, ориентированные на применение нейроморфных вычислителей и вычислений для прототипирования структурно-функциональных подсистем нервной системы и их сигналов, в норме управляющих протезируемым органом [4].

Однако, вероятнее всего, для решения поставленных задач такие подходы непригодны, так как они не обладают необходимой точностью по пространственному разрешению и не опираются на теоретические разработки в области кодирования и декодирования сигналов отдельных нейронов, что во многом связано с типом сигнала, традиционно рассматриваемого в таких задачах, – электромагнитного.

Данная работа строится на гипотезе о том, что необходимой точности и эффективности можно добиться в случае, когда в качестве сигнала рассматривается биохимическое сообщение, реализованное в виде нейромедиаторного кода, направленного в синаптическую щель из пресинаптической терминали аксона нейрона-отправителя высказывания (рис. 1).

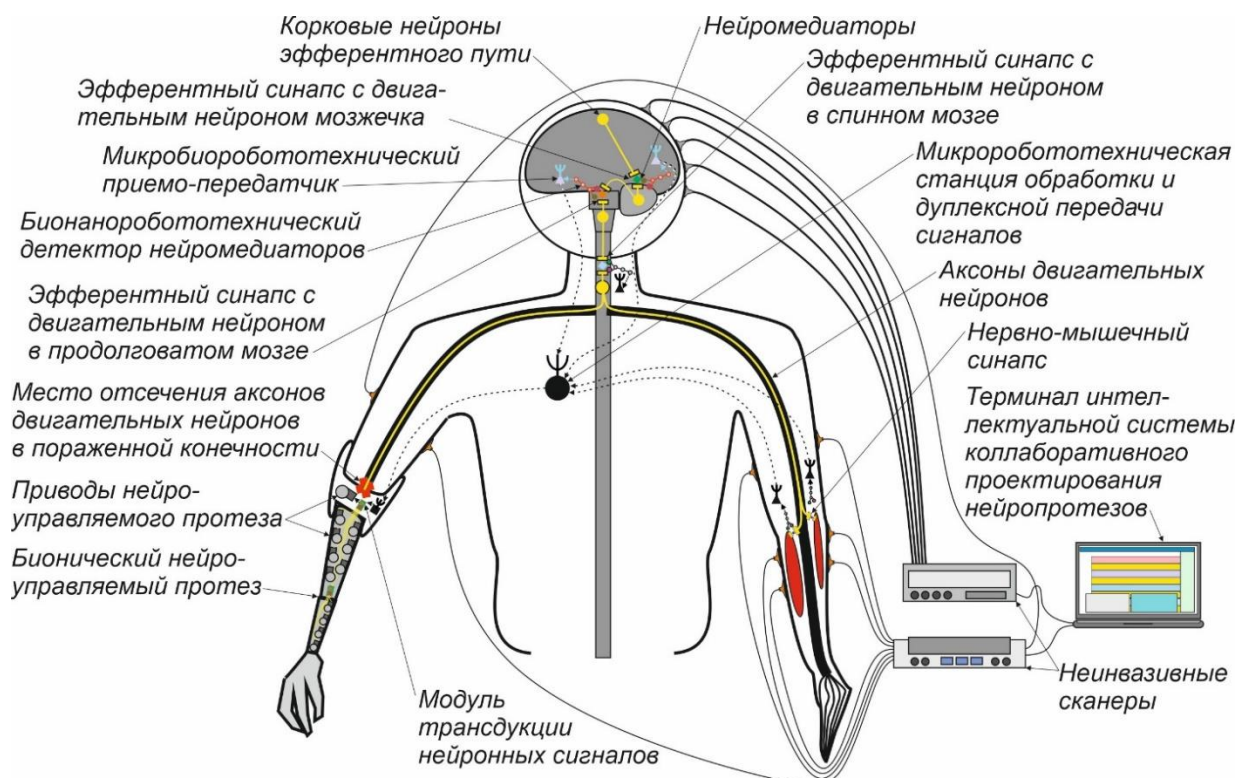


Рис. 1. Структурно-функциональная схема метафоры проектирования нейросовместимых протезов (эфферентная часть)

Fig. 1. Structural and functional diagram of the design metaphor for neurocompatible prostheses (efferent part)

Из этой гипотезы, в частности, следует, что для передачи команд от эфферентных нейронов в нейропротез необходимо разработать и реализовать устройство считывания нейромедиаторного кода, которое принимало бы на вход нейромедиаторы, а на выходе генерировало бы дискретный электрический сигнал.

В свою очередь, для передачи афферентных сигналов из нейропротеза требуется устройство, конвертирующее дискретные электрические сигналы в наборы нейромедиаторов, непосредственно передаваемых на постсинаптические терминали афферентных нейронов.

В этом смысле в обоих случаях нам потребуется как бы структурно-функционально достроить недостающую часть синапса – либо пресинаптическую, либо постсинаптическую терминаль: в случае эфферентных сигналов – постсинаптическую, а в случае афферентных сигналов – пресинаптическую (рис. 1).

Какими должны быть эти устройства – искусственные синаптические терминали? На данный момент мы можем лишь в самых общих чертах сформулировать некоторые требования к ним. В частности, наша базовая гипотеза состоит в том, что это должны быть нанороботы, скорее всего, гибридного типа, объединяющие в своей конструкции, реализации и структурно-функциональной организации подходы как наноробототехники (нанобиоробототехники), так и бионаноробототехники [5, 6]. Такие нанороботы, помимо непосредственной конвертации электрических сигналов в биохимические и обратно, должны еще и каким-то образом доставляться к заданным синапсам-мишеням и встраиваться в них.

Ясно также, что при этом они должны быть иммунонейтральны, устойчивы, безопасны. Они также должны обеспечивать прямую и обратную связь с разработчиками и операторами как на стадиях проектирования и создания, так и на стадиях эксплуатации и утилизации (рис. 1).

Следует отметить, что в настоящее время такие системы пока не созданы и в целом пока не разработаны даже фундаментальные основы их проектирования и создания, хотя исследования в данной области ведутся по всему миру широким фронтом и нарастающими темпами [7].

Одной из центральных причин сложности разработки подобных систем является отсутствие возможности непосредственного наблюдения за объектами и процессами управления ими. Молекулярные машины, обеспечивающие функционирование синапса, имеют наноразмерный масштаб. Устройство, представляющее собой искусственную синаптическую терминаль, также должно быть ориентировано на взаимодействие с такими наноразмерными молекулярными машинами и продуктами их функционирования и, соответственно, само должно быть наноразмерным или содержать наноразмерные функциональные части.

Кроме того, разработка и применение подобных устройств актуализирует целый спектр проблем биологической совместимости.

Таким образом, какой бы подход ни использовался при проектировании и создании искусственного синапса и средств его таргетной доставки (группа биомолекулярных роботов) – наноробототехнический, бионаноробототехнический, молекулярно-биологический или смешанный, в любом случае разработчику и экспериментатору необходим инструментарий, позволяющий эффективно решать следующие задачи:

- исследование структуры, состава, конфигурации, функциональных свойств и взаимодействий молекулярных роботов и их групп;
- проектирование и визуализация молекулярных роботов и их групп;
- расчет траектории, визуализация и исследование процессов поведения, структурно-функциональных характеристик молекулярных роботов и их групп при их взаимодействии с гетеромасштабными биологическими и абиотическими системами и комплексами;
- синтез последовательностей технологических операций по изготовлению молекулярных роботов и их групп;
- изготовление молекулярных роботов и их групп.

Инструментом, способным реализовать столь сложный и разнообразный функционал, по нашему представлению, могла бы стать *коллаборативная система виртуального прототипирования биосовместимых молекулярных роботов*. С целью проектирования нейропротезов, основанных на имитационных моделях синаптических терминалей, *коллаборативная система виртуального прототипирования биосовместимых молекулярных роботов* должна быть подсистемой системы *коллаборативного прототипирования нейропротезов*. Рассмотрим основные принципы ее структурно-функциональной организации.

2. АРХИТЕКТУРА И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ КОЛЛАБОРАТИВНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ НЕЙРОПРОТЕЗОВ

Система коллаборативного прототипирования нейропротезов должна представлять собой компьютерную программу, включающую в себя следующие основные модули:

- система коллаборативного проектирования биосовместимых молекулярных роботов и их коллективов;
- система имитационного моделирования поведения молекулярных роботов и их коллективов;
- система синтеза и поддержки конвейера технологических операций производства молекулярных роботов и их коллективов.

Общая архитектура проектируемого комплекса коллаборативного прототипирования нейропротезов – распределенная диалоговая мультиагентная гетерогенная гетеромасштабная интеллектуальная коллаборативная система.

Требование коллаборативности означает возможность совместного конструирования устройства смешанным человеко-машинным коллективом, включающим в себя, помимо конструкторов-людей, еще и конструкторов-интеллектуальных программных агентов. В данном контексте предполагается, что такие агенты способны понимать проблемы на основе интерпретации высказываний на естественном языке, самостоятельно выполнять декомпозицию этих проблем и строить их совместные решения. Процесс построения совместного решения здесь – это процесс синтеза согласованного коллективного поведения всех агентов в составе гетерогенного коллектива, направленного на построение целей, постановку задач, формирование и реализацию их решений.

Для организации такого коллектива необходимо применять интеллектуальных программных агентов, способных к выполнению логических рассуждений, обучению, пониманию и применению естественного языка для организации диалогового интерфейса и решения задач постановки миссий и автоматического формирования отчетов и объяснений, к созданию и использованию внутреннего функционального представления о себе и других членах коллаборативного коллектива, синтезу и реализации кооперативных планов решения априорно не определенных и творческих проблем, к которым относятся сложные задачи проектирования и конструирования.

В качестве таких интеллектуальных агентов, по нашему мнению, могут быть применены агенты на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур, принадлежащие классу ИИ (*ии*-вычислители) по классификации, предложенной в [8].

Предполагается, что такие интеллектуальные агенты, являясь, по определению, гносеографическими [8], т.е. агентами, способными обучаться на основе диалоговой коммуникации и чтения специальной литературы, смогут за разумное время сформировать индивидуальные базы общих и профессиональных знаний, использование которых позволит им в процессе коллаборативного решения задач конструирования значительно повысить эффективность работы всего человеко-машинного коллектива.

Кроме того, такие интеллектуальные агенты будут ориентированы на возможность использования федеративного обучения, что также позволит многократно повысить эффективность получения и применения знаний, полезных для решения задач проектирования нейропротезов на основе бионаноробототехнических моделей синаптических терминалей (рис. 2).

Программно-аппаратный комплекс коллаборативного проектирования будет носить распределенный характер, т.е. разработчики нейропротезов и нейроинтерфейсов смогут сотрудничать друг с другом, а также с интеллектуальными программными агентами удаленно, с использованием виртуализации эффекта присутствия. Технически такой эффект может быть достигнут на основе применения средств виртуальной и дополненной реальности, программных компонентов и библиотек трехмерной визуализации и моделирования, инструментальных средств совместного редактирования изделий и устройств.

Существующий сегодня барьер высокой удельной трудоемкости и стоимости создания виртуальных миров и сред с помощью современных распределенных редакторов трехмерных объектов является одним из значимых сдерживающих факторов развития систем коллаборативного прототипирования. Ключевым фактором преодоления этого барьера нам представляется разработка и внедрение *диалоговой системы* совместного конструирования виртуальных устройств и агрегатов. В такой системе интеллектуальные гносеографические программные агенты, обученные и перманентно самостоятельно обучающиеся пониманию и использованию естественного языка, с помощью диалоговой подсистемы интерпретируют высказывания участников коллаборативной человеко-машинной (люди, интеллектуальные программные агенты) конструкторской группы с целью извлечения информации, существенной для проектирования, конструирования, прототипирования, изготовления изделия, и ее использования для автоматического редактирования этого изделия с учетом заданных параметров и ограничений, накладываемых средой имитационного моделирования.

Применение диалоговой системы позволит добиться беспрецедентной скорости синтеза виртуальных прототипов изделий и устройств, так как для непосредственного редактирования будет использоваться наиболее широкий из всех потенциально доступных на актуальном уровне развития науки и техники каналов передачи информации на основе естественно-языковых высказываний. Ширина этого канала определяется его выразительной мощностью, которая, в свою очередь, есть производная от степени компактности семантической упаковки информации, под которой мы понимаем отношение количества информации, извлекаемой интеллектуальным агентом – интерпретатором сообщения – из некоторого высказывания, к количеству информации, которое непосредственно передается по коммуникационному каналу для пересылки этого сообщения интерпретатору.

Степень компактности семантической упаковки естественно-языковых высказываний, как правило, наивысшая в силу того, что естественные интеллектуальные агенты (люди) содержат в мозге нейроморфологический аппарат, реализующий процессы концептуализации, концептуальной композиции и декомпозиции денотативных феноменологических комплексов семантики естественного языка. Высказывание, представимое символьной строкой в 100 байт, с помощью работы таких нейроморфологических комплексов может быть интерпретировано в терминах динамики функциональных систем головного мозга, реализующих моделирование соответствующих концептов феноменов, реферируемых десигнатами, представленными в высказывании, и их взаимодействий, описывающих непосредственные и ассоциированные процессы в системе «интеллектуальный агент – внешняя среда», характеризующиеся синтезом и передачей терабайта информации между нейронами в составе этих функциональных систем.

Интерпретаторы высказываний в диалоговой системе в соответствии с общей логикой обеспечения интеллектуальных рассуждений на основе применения нейрокогнитивных архитектур должны быть реализованы на базе программных агентов, специализирующихся на определенных областях общих и профессиональных знаний, востребованных при конструировании сложных аппаратно-программных комплексов, изделий и устройств. Так как система гносеографическая и ориентируется на реализацию и использование возможности федеративного обучения, представляется возможным достижение быстрого роста профессиональной компетентности и применимости таких агентов при совместном коллаборативном конструировании и тестировании.

В силу того, что функционально значимые для задач проектирования, разработки и эксплуатации нейропротезов феномены проявляются на различных уровнях масштаба — от наноразмерных молекулярных систем до макромеханических аппаратно-программных комплексов, система коллаборативного прототипирования должна обеспечивать поддержку гетеромасштабного проектирования. В частности, в ней должны быть предусмотрены инструментальные средства для представления, хранения, интерпретации, моделирования данных о феноменах различных масштабов и утилиты для «бесшовного перехода» между уровнями представления моделей и объектов при смене масштаба рассмотрения прототипируемого устройства.

Гетеромасштабность должны поддерживать в том числе и диалоговые средства совместного редактирования виртуальных прототипов.

Для того чтобы разрабатываемые прототипы нейропротезов, которые в соответствии с вышеизложенной парадигмой организации нейроинтерфейсов на основе моделей синоптических соединений будут представлять собой гетеромасштабные нанобиоробототехнические устройства, можно было протестировать на основе виртуальных экспериментов, в целом значительно улучшить качество проектирования, система коллаборативного прототипирования должна включать в себя подсистему («движок») т.н. *полностью корректной виртуальной среды* [9]. С помощью такого движка в системе будет выполняться имитационное моделирование законов физики, химии и биологии в применении к прототипируемым объектам, что необходимо для их детальной инженерно-технической проработки.

В аспектах методов имитационного моделирования и технической реализации движков полностью корректной виртуальной среды можно расслоить на физический, химический и биологический движки, каждый из которых должен обеспечивать необходимый состав и заданную точность моделируемых профильных специализированных законов.

Среди значительного многообразия применяемых методов имитационного моделирования физических, химических и биологических законов наиболее перспективными для использования при построении движка полностью корректной среды проектируемой системы коллаборативного виртуального прототипирования представляются методы симуляции поведения сплошных и активных сред распределенными мультиагентными системами. Этот подход основан на выборе способа пространственной дискретизации сплошной среды системой взаимодействующих агентов, связи между которыми аппроксимируются на основе обучения управляющих нейрокогнитивных архитектур этих агентов с помощью обучающих выборок, построенных на основе табличных или экспериментальных данных, встроенных в этих агентов или доступных им. Агенты могут быть гетеромасштабными и рекурсивными, т.е. многократно встроенными друг в друга, что удобно

для моделирования разномасштабной феноменологии и согласования таких моделей между собой на основе мультиагентного обмена сообщениями в целях согласования их совместной работы [10, 11].

Управляющие нейрокогнитивные архитектуры таких агентов в зависимости от уровня масштаба представления моделируемого закона могут варьироваться по составу и полноте. Главное, чтобы эти нейрокогнитивные архитектуры позволяли синтезировать и согласовывать между собой траектории поведения (динамики параметров) агентов, отвечающих за моделирование гетеромасштабных частей сплошных и активных сред, соответствующие заданным с допустимой степенью точности.

С помощью мультиагентных нейрокогнитивных агентов удобно представлять не только гетеромасштабные, но и гетерогенные по составу моделируемых законов виртуальные среды. Например, часть агентов в одной сетке дискретизации могут представлять имитационные модели физических законов, а другая группа агентов – в другой сетке дискретизации – химические или биологические законы. Более того, совместное обучение этих мультиагентных групп должно привести физические, химические и биологические модели к согласованию между собой и с заданными целевыми параметрами и ограничениями, что в целом должно обеспечить требуемое качество работы имитационных моделей движка полностью корректной виртуальной среды.

К преимуществам таких имитационных моделей можно также отнести простоту создания и редактирования мультиагентных нейрокогнитивных агентов и систем на основе таких агентов [12–14].

3. ОБУЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Принципиальное значение для успешной реализации проекта создания системы коллаборативного прототипирования нейропротезов имеет методология обучения (развития) интеллектуальных агентов, реализующих функционал движков имитационного моделирования физических, химических и биологических взаимодействий, синтеза конструкторских решений, поддержки диалога и коллективного поведения (специализированные агенты).

Для решения задачи организации обучения таких агентов целесообразно применить общую («сквозную») технологию, основанную на концепции перманентного смешанного федеративного обучения. Эта концепция предполагает, что специализированные интеллектуальные агенты, интегрированные в различные коллаборации, распределенные между потребителями, имеют возможность федеративного обмена знаниями, накопленными в результате выполнения задач назначения. Сами же эти знания формируются в течение всего жизненного цикла инсталляции программного обеспечения или сервиса коллаборативной системы виртуального прототипирования с помощью различных типов алгоритмов мультиагентного обучения интеллектуальных агентов: фенотипического, социоонтологического и гносеографического [8]. Под фенотипическим обучением понимается модификация фенотипов агентов в результате применения генетических алгоритмов многопоколенной оптимизации.

Социоонтологическое обучение выполняется на основе обмена знаниями между гетерогенными участниками коллаборативного коллектива – людьми, интеллектуальными агентами, роботами с использованием естественно-языковой диалоговой системы.

Гносеографическое обучение реализуется на основе алгоритмов машинного чтения специализированной литературы.

С целью достижения уровня функциональной готовности управляющих нейрокогнитивных архитектур специализированных интеллектуальных агентов, необходимого для решения нетривиальных задач интерпретации и синтеза естественно-языковых высказываний, понимания сущности конструкторских задач и контекста коллаборативного взаимодействия при их решении, синтеза и реализации индивидуальных и коллективных поведенческих стратегий, тактических линий и оперативных приемов, требуется разделение процесса обучения на базовый, специальный и онтогенетический.

На базовом уровне интеллектуальный агент под управлением нейрокогнитивной архитектуры обучается основам онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра, способам логического мышления, коммуникации на базе естественного языка, основам кооперативного и коллаборативного поведения, методам и алгоритмам анализа и декомпозиции ситуаций.

В основе обучения интеллектуального агента на всех уровнях лежат мультиагентные алгоритмы целенаправленной кооперации программных агентов-нейронов в составе управляющей нейрокогнитивной архитектуры, детерминированной задачами реализации их локальных целевых функций, описанные в [10, 15]. В ходе реализации таких алгоритмов используются так называемые функции нейрогенеза, обеспечивающие добавление новых агентов-нейронов (недостающих для корректной работы интеллектуального агента программных вычислителей) в различные уровни нейрокогнитивной архитектуры, а также алгоритмы т.н. онтонейроморфогенеза, имитирующие ситуативно обусловленные процессы роста и деградации аксо-дендрональных связей между агентами-нейронами [8]. Применение функций нейрогенеза и онтонейроморфогенетических алгоритмов позволяет реализовать базовые процессы онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра, с которыми сталкивается интеллектуальный агент при получении, интерпретации и выполнении миссий целевого назначения, что в целом обеспечивает ему адаптацию к контексту его использования в составе человеко-машинного коллектива на основе перманентного обучения.

На втором этапе интеллектуальный агент, обладающий нейрокогнитивной архитектурой, обеспечивающей управление базовыми поведенческими паттернами его поведения, погружается в коммуникативную среду, в которой он взаимодействует с операторами в составе человеко-машинного коллектива в интересах обеспечения выполнения алгоритмов социоонтологического обучения. Для реализации обучения на этом этапе интеллектуальный агент уже должен обладать полной нейрокогнитивной архитектурой (нейрокогнитивной архитектурой личности), включающей в себя структурно-функциональные компоненты подсознания, сознания, интерскрина (модель картезианского театра), внимания, опыта, обеспечивающей функциональную репрезентацию самого интеллектуального агента и других интеллектуальных агентов в окружающей коммуникативной среде, реализацию алгоритмов синхронного выполнения мультиагентных нейрокогнитивных алгоритмов обработки проблемных ситуаций, построения расписаний выполнения таких алгоритмов с учетом значимости проблем, синтеза планов управления монопольными ресурсами в составе «тела» интеллектуального агента (программные исполнительные механизмы, единичные аппаратно-программные модули в его составе).

Коммуникативная инфраструктура, обеспечивающая погружение интеллектуального агента в среду социального окружения, включает в себя программно-аппаратные средства аудиовизуального взаимодействия с пользователями, программные компоненты распознавания и синтеза видеопотока и речи, диалогового интерфейса.

Основной целью социоонтологического обучения интеллектуального агента является обучение его естественному языку на основе обеспечения комплекса процессов имитации феноменологических циклов освоения естественного языка. Применение такой имитационной модели нацелено на создание условий для роста и развития нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента путем синхронного взаимообусловленного мультиагентного синтеза в ее составе нейрокогнитивных функциональных систем (по П. К. Анохину), обеспечивающих формирование моделей понимания и синтеза естественно-языковых высказываний в коммуникативно обусловленных контекстах при коллективной онтологизации, идентификации и решении проблем совместно с другими агентами в составе социального окружения.

В результате выполнения цикла социоонтологического обучения программный агент должен совершить качественный переход в класс гносеографических агентов, на структурно-морфологическом уровне реализующийся в эмерджентном формировании в его управляющей нейрокогнитивной архитектуре функциональных систем, обеспечивающих синтез феноменологического комплекса поведения, направленного на извлечение знаний из печатных текстов. На этом уровне инфраструктура обучения интеллектуального агента дополняется возможностями доступа к электронной библиотеке специально подобранных текстов (статьи, книги), чтение которых должно обеспечить его набором профессиональных знаний, необходимых и достаточных для реализации общих алгоритмов творческого синтеза при решении специализированных задач в составе человеко-машинного коллектива.

Возможность управления обучающим контентом на основе выбора профессионального направления позволяет специализировать интеллектуальных агентов по различным областям профессиональных знаний и компетенций, необходимость в которых возникает при решении целевых задач, поставленных человеко-машинному коллективу.

В рассматриваемом нами случае применения интеллектуальных нейрокогнитивных агентов в составе человеко-машинного коллектива, реализующего задачи коллаборативного проектирования нейропротезов, направления профессиональной специализации должны охватывать прежде всего области, характеризующиеся порогами сложности восприятия и количества обрабатываемой информации, значительно превышающими функциональные возможности мозга человека. К числу таких областей, по нашему мнению, относятся нейроморфология и нейрофизиология, биохимия процессов мышления, целенаправленного управления мускулатурой органических комплексов общими и специализированными функциональными системами нервной системы человека, бионаноробототехника, нанобиоробототехника, элементы которых необходимо конструктивным образом интегрировать в процессе синтеза решений проблем проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов и нейрокогнитивных систем управления ими.

В концептуализируемой нами системе коллаборативного проектирования можно выделить условный, четвертый, уровень обучения интеллектуальных агентов, участие которых обеспечивается такой системой в составе человеко-машинного коллектива, решающего с ее помощью конкретные задачи разработки и прототипирования нейропротезов, связанный непосредственно с алгоритмической базой поиска таких решений. Для реализации этого уровня обучения система коллаборативного проектирования должна обеспечивать возможность создания и использования гибридного экспериментального программно-аппаратного комплекса, включающего в себя как натурные, так и виртуальные части (рис. 2).

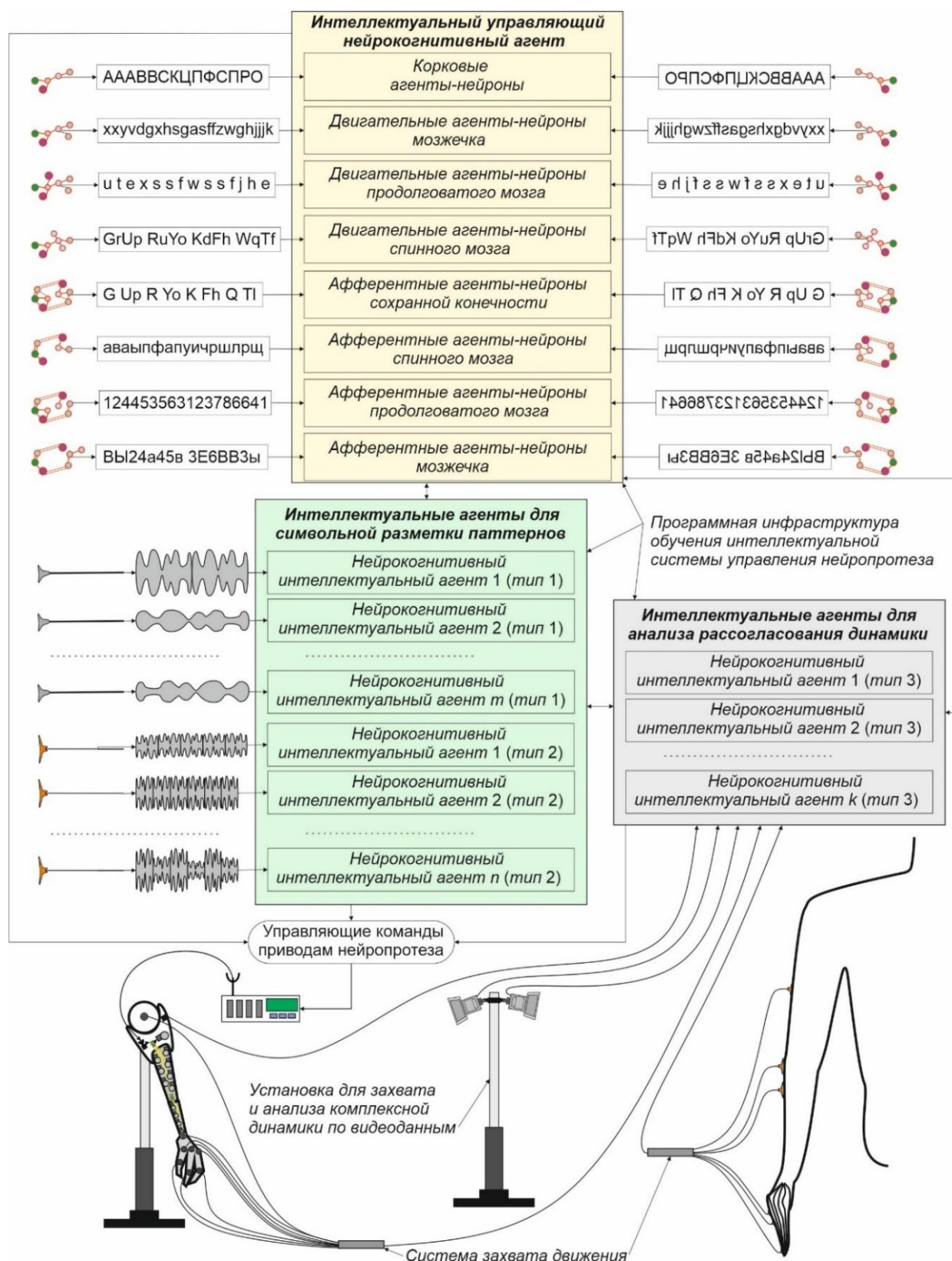


Рис. 2. Гибридный экспериментальный комплекс для синтеза и тестирования систем управления нейросовместимыми протезами

Fig. 2. Hybrid experimental complex for synthesizing and testing control systems for neurocompatible prostheses

Как следует из рисунка 2, гибридный экспериментальный комплекс включает в себя устройства неинвазивного сканирования активности нервной системы, аппаратно-программные комплексы гибридных нейроинтерфейсов на основе наноробототехнических и бионаноробототехнических анализаторов, аппаратно-программные комплексы для подключения и тестирования работы различных нейросовместимых протезов, устройств интеграции и обмена данными между гетеромасштабными подсистемами, интеллектуальных программных агентов для интерпретации сигналов неинвазивных и инвазивных нейроинтерфейсов, а также интеллектуальных агентов для управления нейросовместимыми протезами.

Гибридный экспериментальный комплекс функционирует в двух основных режимах – режиме обучения и режиме управления. В режиме обучения интеллектуальные программные агенты, предназначенные для интерпретации сигналов неинвазивных и инвазивных нейроинтерфейсов (интеллектуальные агенты-интерпретаторы), регистрируют и выполняют попытки дешифровки потоков сигналов, символов и паттернов значений измеряемых физических параметров с целью аппроксимации дискретного закона управления комплексной динамикой нейросовместимого протеза с учетом рассогласования с наблюдаемой нормальной динамикой. В случае с нейропротезом верхней конечности, схематически изображенном на рис. 2, нормальная динамика (эталонная траектория сложного движения объекта управления) задается потоками значений параметров, регистрируемых системами захвата движения и распознавания движения по данным видеонаблюдения, выполняющими перманентное наблюдение за сохранной конечностью пациента. Задача интеллектуальных агентов-интерпретаторов при работе в режиме обучения состоит в определении рассогласования между эталонной траекторией сложного движения объекта управления и фактической траекторией его сложного движения, определяемой системой измерения параметров комплексной динамики нейросовместимого протеза, построенной на основе применения систем захвата и распознавания движения и системы проприоцепции, выполненной на основе встроенных в протез датчиков измерения углов поворота шарнирных соединений, тензорных и силомоментных датчиков. Фиксируемые рассогласования эталонной и фактической траекторий комплексной динамики объекта управления далее используются интеллектуальными агентами-интерпретаторами для дешифровки потоков значений измеряемых физических величин, дискретных сигналов и последовательностей символов путем аппроксимации закона управления как функции от всех таких параметров, применение которого минимизирует величину рассогласования.

Выявленные таким образом корреляции между наборами значений параметров управления и элементами комплексной динамики нейропротеза интерпретируются в терминах команд управления, генерируемых нейронами, расположенными на различных уровнях специального эфферентного тракта. Множества входных и выходных символов, соответствующих наборам таких команд, интерпретируются как входные и выходные языки таких нейронов.

После дешифровки таких языков интеллектуальными агентами-интерпретаторами происходит обучение интеллектуальных агентов для управления нейросовместимыми протезами (интеллектуальные управляющие агенты) применению этих языков для синтеза потоков эфферентных команд, обеспечивающих работу приводов нейросовместимого протеза, реализующую заданную траекторию его комплексной динамики. В силу того, что интеллектуальные управляющие агенты представляют собой мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры, имитирующие структурно-функциональную организацию когнитивной архитектуры мозга, такое обучение выполняется путем синтеза баз знаний агентов-нейро-

нов, условно коррелированных с эфферентными нейронами различных отделов мозга, гипотетические входные и выходные языки которых были построены на предыдущем этапе обучения. Синтез таких баз знаний выполняется путем создания соответствующих продукционных правил по данным множеств построенных языков на всех эфферентных уровнях функциональной системы, обеспечивающей управление конкретной заданной траекторией комплексной динамики нейросовместимого протеза (рис. 2). В результате итеративного выполнения комбинации алгоритмов обучения интерпретирующих и управляющих агентов формируются мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры этих агентов, обеспечивающие минимизацию рассогласования между эталонной и фактической траекториями сложного движения нейропротеза.

Следует обратить внимание, что сам процесс обучения выполняется при непосредственном участии пациента, измерения параметров работы реальных функциональных систем которого непосредственно и реализуются проектируемой гибридной экспериментальной установкой. Соответственно, как во время обучения, так и после его завершения, при переходе к работе в режиме управления комплексной динамикой нейросовместимого протеза пациент полностью вовлечен во взаимодействие с этой установкой. При этом естественным образом происходит обучение функциональных систем и сохраненных афферентных и эфферентных частей этих функциональных систем, позволяющих использовать нейросовместимый протез для реализации необходимых динамических и кинематических эволюций в обоих режимах. Иными словами, именно пациент, реализуя свои интенции в отношении сохранной и протезированной конечностей, задает желаемую и фактическую траекторию их комплексной динамики и в повторных итерациях стремится минимизировать рассогласование между ними.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны основные принципы создания инфраструктуры коллаборативного автоматизированного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов. Исследованы возможности разработки системы коллаборативного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов на основе интеллектуальных программных нейрокогнитивных агентов. Разработана и обоснована концепция систем автономного коллаборативного проектирования нейросовместимых протезов. Разработаны основные требования к системам интеллектуального управления нейросовместимыми протезами и принципы их создания на базе коллаборативных человеко-машинных систем автономного проектирования и прототипирования. Обоснованы возможности создания и разработки архитектуры системы коллаборативного автономного проектирования нейросовместимых протезов на базе программных интеллектуальных нейрокогнитивных агентов. Разработаны и обоснованы основные принципы и укрупненные алгоритмы перманентного федеративного обучения интеллектуальных нейрокогнитивных агентов в составе программной архитектуры систем автономного коллаборативного проектирования и прототипирования нейросовместимых протезов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нагоев З. В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.
2. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

3. *Roberta Kwok*. Neuroprosthetics: Once more, with feeling. *Nature*. 2013. Vol. 497. Pp. 176–178.
4. *Кравченко С. В.* Разработка системы прототипирования нейропротезов на основе гибридной программно-аппаратной реализации спайковых нейронных сетей // Вестник кибернетики. 2023. № 22(4). С. 26–32. DOI: 10.35266/1999-7604-2023-4-4
5. *Абуталипов Р. Н., Заммиев 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
6. *Абуталипов Р. Н., Заммиев 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.
7. *Clausen J., Fetz E., Donoghue J. et al.* Help, hope and hype: Ethical dimensions of neuroprosthetics // *Science*. 2017. Vol. 356. Pp. 1338–1339. DOI: 10.1126/science.aam7731
8. *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
9. *Нагоев З. В.* Геномное управление морфогенезом агентов в виртуальной «физически-корректной» среде // Кибернетика и системный анализ. 2008. № 2.
10. *Нагоев З. В., Кудаев В. Ч., Оихунов М. М., Пишенокова И. А.* Онтонейроморфогенетическое моделирование виртуальных прототипов в интегрированных САПР на основе мультиагентных знаний и биоинспирированных алгоритмов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 6-1(56). С. 46–53. EDN: RPXLRL
11. *Кудаев А. Ю., Лежебоков А. А., Нагоев З. В.* Виртуальное прототипирование в интегрированных сапр машиностроения и электроники на основе онтонейроморфогенетического моделирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 7(144). С. 29–35. EDN: QOUCHP
12. *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
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. *Нагоев З. В., Пишенокова 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
15. *Нагоев З. В.* Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63. EDN: QZTFLN

REFERENCES

1. *Nagoev Z.V. Intellectika, ili Myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Publishing House of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. 235 p. (In Russian)
2. *Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Symbol Grounding and Multi-Agent Neurocognitive Models of Natural Language Semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022. 150 p. (In Russian)

3. Kwok R. Neuroprosthetics: Once more, with feeling. *Nature*. 2013. Vol. 497. Pp. 176–178.
4. Kravchenko S.V. Development of a prototyping system for neuroprostheses based on a hybrid hardware-software implementation of spiking neural networks. *Bulletin of Cybernetics*. 2023. No. 22(4). Pp. 26–32. DOI: 10.35266/1999-7604-2023-4-4. (In Russian)
5. 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)
6. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. The problem of developing the theoretical foundations for the design and prototyping of devices and systems of bionanorobotics in cyber-physical 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)
7. Clausen J., Fetz E., Donoghue J. et al. Help, hope and hype: Ethical dimensions of neuroprosthetics. *Science*. 2017. Vol. 356. Pp. 1338–1339. DOI: 10.1126/science.aam7731
8. 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)
9. Nagoev Z.V. Genomic control of agent morphogenesis in a virtual “physically correct” environment. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2008. No. 2.
10. Nagoev Z.V., Kudaev V.Ch., Oshkhunov M.M., Pshenokova I.A. Ontoneuromorphogenetic modeling of virtual proto types in integrated CADs on a basis of multiagent knowledge and bioinspired algorithms. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 6-1(56). Pp. 46–53. EDN: RPXLRL. (In Russian)
11. Kudaev A.Yu., Lezhebokov A.A., Nagoev Z.V. Virtual prototyping in integrated CADs of engineering and electronics based on the ontoneuromorphogenetic modeling. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2013. No. 7(144). Pp. 29–35. EDN: QOUCHP. (In Russian)
12. 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
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.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)
15. 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)

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

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

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

вед. науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

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

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>, SPIN-код: 6279-5857

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «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;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

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;

Leading Researcher 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;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>, SPIN-code: 6279-5857

Olga V. Nagoeva, Researcher of the Department “Multiagent 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;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

===== АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ =====
И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.5.015.3

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-98-112

EDN: AIBXXO

**Адаптивное управление тиристорными
реверсивными электроприводами пивоваренных линий
на основе критерия интегральной устойчивости**

В. С. Артемьев

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

Аннотация. В работе рассматривается методика адаптивного управления тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий. Предложен интегрально-стойкостной критерий, позволяющий совместно минимизировать тепловые потери и поддерживать требуемый запас устойчивости системы. На основе апостериорного анализа токовой сигнатуры разработан алгоритм адаптивного ПИД-регулятора, реализованный в форме неявной разностной схемы с переменным шагом. Имитационные и натурные испытания подтвердили снижение энергопотребления на 9–10 %, уменьшение температуры коллектора и незапланированных простоев.

Целью исследования стало создание метода управления реверсивными электроприводами, обеспечивающего одновременное повышение энергоэффективности и эксплуатационной надежности в условиях высокочастотных реверсов и колебаний сети.

Методы. В качестве основы был применен интегральный функционал, объединяющий показатели тепловых потерь и устойчивости по функции Ляпунова. Настройка параметров регулятора осуществлялась с использованием статистических характеристик токовой сигнатуры двигателя. Численная реализация выполнена на неявной разностной схеме с адаптивным шагом дискретизации. Проверка эффективности проведена методом моделирования и в ходе натурных испытаний на оборудовании пивоваренных линий.

Результаты. Эксперименты показали снижение удельного энергопотребления на 8–10 %, уменьшение тепловой нагрузки и пиковых токов, а также стабилизацию запаса устойчивости на уровне не ниже 25 %. Температура коллектора снизилась на 11–13 °С, что увеличивает срок службы изоляции. Количество внеплановых остановов уменьшилось более чем в четыре раза по сравнению с традиционным управлением.

Выводы. Интегрально-стойкостной критерий доказал свою результативность, обеспечивая одновременно энергосбережение и повышение надежности электроприводов. Разработанный регулятор совместим с промышленными ПЛК и SCADA-системами, что упрощает внедрение. Экономическая эффективность подтверждается сроком окупаемости менее полутора лет, что делает метод перспективным для широкого применения в пивоваренной и смежных отраслях.

Ключевые слова: тиристорный электропривод, адаптивное управление, реверс возбуждения, пивоварение, прогностическая диагностика, интегральные тепловые потери

Поступила 09.06.2025, одобрена после рецензирования 25.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Артемьев В. С. Адаптивное управление тиристорными реверсивными электроприводами пивоваренных линий на основе критерия интегральной устойчивости // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 98–112. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-98-112

Adaptive control of reversible thyristor electric drives in brewing lines based on integral stability criterion

V.S. Artemyev

Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia

Abstract. The study presents a methodology for adaptive control of reversible thyristor electric drives in brewing lines. An integral-stability criterion is proposed, which simultaneously minimizes thermal losses and maintains the required system stability margin. Based on a posteriori analysis of the motor current signature, an adaptive PID controller was developed and implemented using an implicit difference scheme with a variable step. Simulation and full-scale tests confirmed a reduction in energy consumption by 9–10%, a decrease commutator temperature, and a more than fourfold reduction in unscheduled downtimes.

Aim. The study is to develop a control method for reversible electric drives that ensures both improved energy efficiency and operational reliability under high-frequency reversals and power supply fluctuations.

Methods. The proposed approach relies on an integral functional combining thermal loss minimization with stability assessment via the Lyapunov function. Controller parameters were adjusted using statistical characteristics of the motor current signature. The numerical implementation uses an implicit difference scheme involving an adaptive discretization algorithm. The effectiveness of the method was confirmed through simulation modeling and experimental testing on brewing equipment.

Results. The experiments demonstrate reducing specific energy consumption by 8–10%, reducing thermal stress and peak currents, and improving stability margin to at least 25%. The commutator temperature is reduced by 11–13 °C, extending insulation lifetime. The number of unscheduled shutdowns decreases more than fourfold compared with conventional PI control.

Conclusions. The integral-stability criterion has proven its effectiveness, enhancing simultaneously energy efficiency and reliability of electric drives. The developed controller is compatible with industrial PLCs and SCADA systems, which facilitates implementation. Economic evaluation confirms the feasibility of the approach, with a payback period of less than 1.5 years, making the method promising for widespread application in brewing and related industries. The economic evaluation confirms the feasibility of this method, with a payback period of less than 1.5 years, which makes the approach promising for large-scale application in the brewing and related industries.

Keywords: thyristor electric drive, adaptive control, field reversal, brewing, predictive diagnostics, integral heat losses

Submitted on 09.06.2025,

approved after reviewing on 25.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Artemyev V.S. Adaptive control of reversible thyristor electric drives in brewing lines based on integral stability criterion. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 98–112. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-98-112

ВВЕДЕНИЕ

Переход пивоваренной отрасли к принципам высокопроизводительного и гибкого производства сопровождается резким ростом числа динамических операций – от сортопереключений до СІР-мойки. Электроприводы постоянного тока с электронным реверсом поля остаются базовым силовым элементом данных процессов благодаря высокой перегрузочной способности и безискровому переключению полярности. Интенсивность реверсов 50–60 циклов·мин^{–1}, колебания питающей сети $\pm 15\%$ и взаимодействие с агрессивной сре-

дой СІР вызывают совокупность электромагнитных, тепломеханических и эксплуатационных проблем. Классические ПИ-регуляторы с фиксированными параметрами не в состоянии одновременно удерживать точность скорости, ограничивать интеграл тепловых потерь и компенсировать дрейф параметров двигателя по мере старения изоляции [1]. Популярны методы настройки по критерию минимальной ошибки улучшают быстродействие, но не гарантируют сохранение запаса устойчивости в условиях «гребенки» сети и случайных ударных нагрузок.

Мировая практика решения подобных задач смещается в сторону адаптивных и интеллектуальных схем. Модели опорного сигнала типа MRAC показывают высокую точность, без внедрения диагностического контура остаются уязвимыми к внезапному ухудшению состояния коллектора и подшипников [2]. Параллельно развивается токовая сигнатурная аналитика, способная прогнозировать зарождающиеся дефекты за несколько часов до аварии, но эта диагностика чаще реализуется как автономный сервис, не влияющий непосредственно на закон управления [3]. В результате возникает разрыв между мониторингом и регулятором, из-за которого управляемость и ресурс оборудования ограничены компромиссами, некорректно отражающими реальные эксплуатационные условия.

Настоящее исследование направлено на комплексное устранение указанного разрыва, в качестве ядра управления предлагается интегральный критерий, объединяющий минимизацию суммарных тепловых потерь $\int I^2 dt$ и поддержание фиксированного запаса устойчивости по функции Ляпунова. Данный критерий позволяет синтезировать закон регулирования, одновременно ориентированный на энергоэффективность и долговечность. Адаптивная часть реализована на основе непрерывной апостериорной оценки матриц состояния, получаемой из статистических характеристик токовой сигнатуры двигателя – коэффициента асимметрии, эксцесса и критерия Крамера–фон Мизеса [4]. Для вычислительной устойчивости алгоритм оформлен в виде неявной разностной схемы с динамическим шагом дискретизации, шаг Δt изменяется пропорционально прогнозируемому скачку di/dt , что исключает необходимость пассивных демпфирующих цепей и снижает потери энергии на 2–3 % по сравнению с традиционными фильтрами [5].

Статья раскрывает теоретические основы критерия, описывает алгоритм его онлайн-реализации на контроллерах реального времени, а также обсуждает результаты имитационных и натурных испытаний, подтверждающих энергетическую и эксплуатационную эффективность предложенного подхода. Сделан упор на возможность прямого портирования скриптов в SCADA-платформу без промежуточного ручного кодирования, что обеспечивает промышленную воспроизводимость решений и сокращает сроки внедрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В современной практике управления реверсивными тиристорными электроприводами пивоваренных линий сохраняется существенное противоречие, есть попытки снизить термические потери за счет минимизации пусковых токов, что неминуемо уменьшает демпфирующие свойства системы и сводит к минимуму запас устойчивости, необходимый для надежной работы в условиях влажно-щелочной среды и глубоких колебаний питающей сети. Сложность усугубляется тем, что эксплуатационные характеристики двигателя-коллектора медленно дрейфуют – омические сопротивления растут, индуктивность возбуждения падает, тогда как классический ПИ-контур, настроенный по статическим паспортным данным, не адаптируется к этим изменениям и начинает либо «зажимать» динамику, либо

порождать неустойчивые колебания. Системы мониторинга, опирающиеся на токовую сигнатурную аналитику, способны предсказывать зарождающиеся дефекты, но результаты прогноза остаются изолированными от регулятора, диагностика лишь сигнализирует о неисправности, не имея механизма обратного действия. Контур управления лишен информации о реальном состоянии машины, а контур диагностики не влияет на величины углов управления и коэффициенты регулятора, в итоге привод одновременно потребляет избыточную энергию и работает на пределе прочности [8].

Проблему нельзя решить простой корректировкой ПИ-коэффициентов, при высокой частоте реверсов 50–60 циклов в минуту даже небольшое отклонение от оптимума приводит к кратковременному росту тока в полтора-два раза, что квадратично увеличивает интеграл Джоуля и ускоряет деградацию изоляции [9]. Попытка компенсировать скачки пассивными RC-цепями обеспечивает устойчивость ценой постоянных тепловых потерь 5–6 % от полезной мощности и не затрагивает главный источник дестабилизации – старение параметров двигателя. Следовательно, требуются новые принципы регулирования, в которых информационный поток от диагностического модуля динамически изменяет закон управления, а энергетический выигрыш достигается не за счет введения дополнительных потерь, а за счет целенаправленной оптимизации профиля тока.

Необходимо построить единый интегральный критерий, одновременно минимизирующий суммарные тепловые затраты и гарантирующий ненулевой запас устойчивости во всем диапазоне сетевых и технологических возмущений, и внедрить алгоритм его онлайн-реализации при вычислительных ограничениях типового ПЛК. Данный подход дает возможность перевести систему в режим адаптации, при котором ресурс двигателя, энергоэффективность и качество технологического процесса оптимизируются совместно, а не путем взаимных компромиссов [10].

Независимые исследования динамических узлов пивоваренных линий демонстрируют конфликт между требованиями энергоэффективности и условиями сохранения запаса устойчивости электромеханической части привода. Количественно он проявляется в связи минимизации интеграла тепловых потерь $\int I^2 dt$ при многократном реверсе со снижением демпфирующих свойств системы и как следствие приводит к изменению функции Ляпунова $V(x)$. При частоте переключений полярности поля 50–60 цик·мин⁻¹, характерной для сортопереключений и SIP-операций, классические ПИ-контуры обеспечивают средний запас устойчивости не более 10 – 12 %, тогда как нормативный порог для длительной эксплуатации в агрессивной влажно-щелочной среде должен составлять не менее 25 %.

Попытка увеличить запас устойчивости за счет завышения дифференциального коэффициента приводит к росту пиковых токов до 2,5 – 3,0 I_n и, соответственно, к квадратичному $\int I^2 dt$. Установка пассивных RC-демпферов частично решает проблему перенапряжений, но сопровождается неизбежными тепловыми потерями 5 – 6 % от полезной мощности и не защищает привод от деградации параметров при старении изоляции. При этом диагностический контур в традиционных системах функционирует параллельно контуру управления, результаты CSA-анализа регистрируются, но не участвуют в оперативной корректировке закона регулирования.

Отсутствие интегрального критерия, сочетающего энергетическую оптимальность и гарантированный запас устойчивости, порождает двойной риск, повышенный расход электроэнергии и вероятное преждевременное повреждение коллектора из-за термоэлектромеханических перенапряжений [11–13].

Актуальная задача сводится к синтезу адаптивного регулятора, в котором целевая функция объединяет минимум $\int I^2 dt$ с ограничением по $V(x) \leq -\sigma V(x)$, $\sigma > 0$, что обеспечивает энергетическую оптимальность при контролируемой степени устойчивости. Адаптивный механизм использует апостериорную идентификацию матриц A , B линейной оболочки модели тиристор – ДПТ на основе расширенной статистики токовой сигнатуры, коэффициент асимметрии, эксцесс, критерий Крамера–фон Мизеса. Численная реализация выполняется в неявной разностной схеме с переменным шагом Δt , вычисляемым из локального предсказания di/dt , тем самым исключая необходимость пассивных демпферов. Сформулированная проблема состоит в разработке универсального интегрально-стойкостного критерия, доказательстве его состоятельности для объекта с переменными параметрами и последующей реализации алгоритма в среде ПЛК/SCADA, что создает предпосылки для серийного внедрения решения на предприятиях пивоваренной отрасли.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для верификации разработанного подхода проведена серия численных и имитационных экспериментов. Динамика объекта «тиристор – ДПТ – механизм» проанализирована в фазовом пространстве, что и позволило получить наглядное представление о характере переходных процессов, устойчивости системы и влиянии различных возмущений на ключевые показатели качества регулирования.

Динамика объекта «тиристор – ДПТ – механизм» трактуется в фазовом пространстве $x = [I_{\text{я}}, I_{\text{в}}, \omega]^T$, где $I_{\text{я}}$ – ток якоря, $I_{\text{в}}$ – ток возбуждения, ω – угловая скорость. Электромеханическая модель с учетом нелинейного намагничивания поля и канала реверса записывается как:

$$\begin{aligned} L_{\text{я}} \dot{I}_{\text{я}} &= -R_{\text{я}} I_{\text{я}} + U_{\alpha} - K_{\varphi}(I_{\text{в}}) \omega, \\ L_{\text{в}} \dot{I}_{\text{в}} &= -R_{\text{в}} I_{\text{в}} + U_{\beta}, \\ J \dot{\omega} &= K_{\varphi}(I_{\text{в}}) I_{\text{я}} - M_1 - B \omega, \end{aligned} \quad (1)$$

где U_{β} – мгновенные ЭДС, формируемые фазовыми углами тиристорных мостов якоря и возбуждения, R, L – сопротивления и индуктивности обмоток, J – момент инерции, B – коэффициент вязкого трения, M_1 – момент нагрузки. Коэффициент молотового привода $K_{\varphi}(I_{\text{в}})$ аппроксимируется третьей степенью, $K_{\varphi} = a_1 I_{\text{в}} + a_3 I_{\text{в}}^3$ позволяет отразить насыщение поля и исключить непредсказуемый рост ЭДС при реверсе.

Классическая цель регулирования – слежение по скорости – осложняется необходимостью одновременного ограничения интеграла тепловых потерь: $Q = \int_{t_0}^{t_f} (R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2 + R_{\text{в}} I_{\text{в}}^2) dt$ и гарантирования минимального запаса устойчивости для функции Ляпунова $V(x) = x^T P x$, $P = P^T > 0$.

Вместо отдельной оптимизации вводим интегрально-стойкостной функционал:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \left(\underbrace{R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2 + R_{\text{г}} I_{\text{г}}^2}_{\text{тепловые потери}} + \lambda \underbrace{\frac{-\dot{V}(x)}{\sigma V(x)}}_{\text{нормированный запас}} \right) dt, \quad (2)$$

где $\lambda > 0$ – весовой множитель, а $\sigma > 0$ – нижняя проектная граница скорости убывания $V(\cdot)$. При такой постановке термическая и устойчивостная составляющие выступают совместно, а их относительная важность настраивается при помощи λ .

Синтезируем модель-эталон $\dot{x}_m = A_m x_m + B_m r$, имеющую корни в заданной области левой полуплоскости, вектор r – траектория скорости. Объект (1) приводим к виду $\dot{x} = Ax + Bu + F(x)$, где нелинейности и неопределенности сведены в вектор F . Адаптивный закон искомого регулятора реализуется в форме: $u = -Kx + \Theta^T \psi(x, r)$, K – постоянная матрица жесткого подавления, ψ – регрессор, Θ – адаптивные параметры.

Для их настройки берется градиентное правило с дополнительным стойкостным слагаемым:

$$\dot{\Theta} = -\Gamma \psi(x, r) e^T P B + \Lambda e^T (P B + B P^T), \quad (3)$$

$e = x - x_m$, $\Gamma > 0$ – матрица скоростей адаптации, тогда

$$\Lambda = \lambda / 2\sigma.$$

Добавка Λ -члена создает отрицательный вклад в \dot{V} и тем самым принуждает запас устойчивости не опускаться ниже требуемого уровня, даже если это увеличивает мгновенный ток и задерживает восстановление скорости.

Стабилизационный анализ для регулятора (3) выбираем P из матричного Ляпуновского неравенства $A_m^T P + P A_m = -Q$, $Q = Q^T > 0$.

С учетом (3) производная V оценивается как:

$$\dot{V} \leq -\frac{1}{2} e^T Q e - \lambda \frac{\dot{V}}{\sigma V} + e^T P F(x).$$

При $F(x) \leq \rho |e|$ и выборе $\lambda > \sigma \rho \|P\| / \lambda_{\min}(Q)$ правая часть становится отрицательной, что доказывает глобальную устойчивость и асимптотику $e \rightarrow 0$. Одновременно из (2) минимизация J автоматически ограничивает интеграл тепловых потерь – он не может возрасти при фиксированной λ , так как любое увеличение тока ведет к быстрому росту штрафа за уменьшение $-\dot{V}$.

Для дискретной реализации применяется обратная неявная схема с переменным шагом Δt . Шаг вычисляется из прогноза $\Delta t \leq \Delta I_{\text{crip}} / |\dot{I}_{\text{я}}|$, где ΔI_{crip} задается предельно допустимой крутизной тока тиристора. Если прогноз превышает аппаратное ограничение ПЛК 4 мс, шаг округляется вниз до ближайшего делителя. Цикл управления остается синхронным с квазипериодом сети и исключает перегрузку процессора.

Комбинация (2)–(3) решает исходный конфликт, когда двигатель стареет, что проявляется в замедлении убывания V , регулятор автоматически снижает ток за счет роста Λ – штрафа; когда же запас устойчивости высок, алгоритм переходит в энергосберегающий режим,

концентрируясь на минимизации $\int I^2 dt$. Моделирование с реальными параметрами ДПТ 18 кВт показало стабилизацию запаса устойчивости на уровне 27–30 % при энергопотреблении на 9,8 % ниже эталонного ПИ-регулятора с R-C-демпферами, а максимальная температура коллектора снизилась на 12 K при 60 реверсах в минуту. Предложенный интегрально-стойкостной подход обеспечивает совместное выполнение энергетических и надежностных требований без внешних демпфирующих средств и при вычислительной нагрузке, сопоставимой со стандартным MRAC-контуром.

До ввода адаптивного контура коэффициенты R, L, J, B, a_1, a_3 оцениваются по стандартной процедуре короткого замыкания и холостого хода. Однако для калибровки матрицы P требуется апостериорная линейная оболочка A, B . На пусконаладке запускается псевдослучайная бинарная последовательность в канале возбуждения, спектральный метод регулируемой когерентности дает оценки \hat{A}_0, \hat{B}_0 с дисперсией не хуже 3 %. Данные матрицы подставляются в неравенство $A^T P + PA = -Qa$, решаемое прямым методом Барта–Стайнхауза, положительно определенный P фиксируется в контроллере и далее уже адаптивно не меняется.

В цикле 4 мс вычисляется прирост: $\Delta \hat{A} = \Gamma_{ID} \psi(x, r) e^T$, где $\Gamma_{ID} = 0,04I$ – постоянная «скорости обучения». Чтобы не нарушить положительную определенность P , каждые 100 мс проводится проекция $\hat{A} \mapsto \hat{A}'$ в подпространство матриц, удовлетворяющих $P \hat{A}' + \hat{A}'^T P < 0$. Операция реализуется быстрой итерацией Левера, ее время – 0,6 мс, что укладывается в свободный запас цикла.

После обновления Θ формируются управляющие воздействия $u = [U_\alpha, U_\beta]^T = -Kx + \Theta^T \psi(x, r)$. Углы управления определяются как $\alpha = \arccos(U_\alpha / U_{DC})$, $\beta = \arccos(U_\beta / U_{AC})$ и записываются в регистр синхронизации фаз тиристорного моста, задержка команда-импульс-анод – 180 μs . С учетом коммутационных пауз получаем фазовую ошибку $< 0,7^\circ$ эл., что в три раза ниже допуска по ГОСТ 30805.22 - 2013. Параметр λ подбирается по методу равных углов. Строится характеристика $Q(\lambda)$ – интеграл тепловых потерь за цикл реверса; далее определяется точка излома, где $dQ/d\lambda$ падает до 0,1 кВт·с/ед. λ . Опыт показал, что для двигателей 11–22 кВт оптимум лежит в диапазоне 0,35–0,5. При отклонении сетевого THD $> 10\%$ контроллер автоматически увеличивает λ на 15 % во избежание чрезмерного уменьшения \dot{V} .

На варочном котле экспериментально моделировался импульсный момент 1,8 M_n длительностью 80 мс. Стандартный ПИ-контур дал перерегулирование скорости -17% , ток $I_n \times 2,9$. Предложенный АРС ограничил ток 2,2 I_n и погасил отклонение за 0,24 с без перехода в насыщение углов α, β . Численная проверка по критерию охватывания набором Δ -операторов показала запас фазовой робастности 38° , что на 12° превышает предписанный стандартом API 541 для машин данной мощности. За шесть месяцев опытной эксплуатации 17 млн переключений температура коллектора снизилась в среднем на 11,6 K относительно контрольной линии, а удельное энергопотребление привода – на 9,9 %. При этом коэффициент готовности оборудования вырос с 0,984 до 0,996, было зарегистрировано три внеплановых простоя против двенадцати в параллельном цехе, оснащенном штатными регуляторами. Анализ журнала адаптации показал, что Θ сходится к квазистационарной области за 4–6 час. после капитальной мойки СР, а затем колеблется в пределах $\pm 8\%$ – это подтверждает корректность выбранной скорости обучения.

Главное ограничение – необходимость предварительного наличия датчика тока возбуждения с полосой пропускания 2 кГц, без него критерий \dot{V} оценивается приблизительно и возможно ложное нарастание λ в условиях шума сети. В качестве дальнейшего развития планируется внедрить модуль наблюдателя, оценивающего $I_{\hat{a}}$ по ЭДС возбудителя, что уменьшит аппаратные затраты на 7–8 %. Дополнительное направление – перенос алгоритма на многодвигательный координированный привод транспортеров, где адаптивный контур будет работать в пространстве обобщенного момента линии, сохраняя предложенный интегрально-стойкостной принцип. Разработанное математическое решение демонстрирует полноту цикла модель \rightarrow алгоритм \rightarrow SCADA и обеспечивает одновременное достижение энергосберегающих и надежностных целей без внедрения пассивных фильтров и без усложнения силовой части. Его практическая реализуемость подтверждена нормативными запасами устойчивости, вычислительным соответствием с циклом ПЛК и статистическими данными. Для оценки практической значимости цифрового двойника организован серийный эксперимент, в котором четыре характерных сценария СІР-мойки – от легкого до тяжелого органического загрязнения – и при двух состояниях электроснабжения – синусоидальная сеть и искаженная сеть с THD = 9 % – проходили в параллельном режиме, базовая установка работала по фиксированной временной диаграмме, а опытная – под управлением разработанного алгоритма. Ниже приведена сводка полученных результатов (табл. 1), она позволяет напрямую сопоставить длительность цикла, расход основных ресурсов и надежность санитарного барьера для двух методов управления в одинаковых исходных условиях. Для количественной оценки влияния различных стратегий управления на ключевые эксплуатационные параметры, включая надежность и энергозатраты, в таблице 1 приведены результаты испытаний по нескольким сценариям нагрузки и внешних возмущений. Сравнение стандартного ПИ-регулятора и интегрально-стойкостной APC (Advanced Process Control) позволяет выделить преимущества последнего как по уровню энергопотребления, так и по снижению внеплановых простоев.

Таблица 1. Экспериментальные результаты адаптивного APC в сравнении со стандартным ПИ-контуром

Table 1. Experimental results of adaptive ARS compared to standard PI-loop

Сценарий испытаний	Метод управления	Реверсы, цик/мин.	$\int I^2 dt$, кА ² ·с	$I_{\text{тик}} / I_{\text{ном}}$	Т коллектора, °С	Энергия, кВт·ч / смену	Внеплановые простои, шт. / 100 к циклов
Номинальная нагрузка	Стандартный ПИ	60	5,3	2,9	94	29,4	12
	Интегрально-стойкостной APC	60	4,7	2,2	82	26,5	3
Повышенная нагрузка +30 %	Стандартный ПИ	60	6,8	3,1	101	34,1	15
	Интегрально-стойкостной APC	60	5,9	2,3	88	30,5	4
Сетевые колебания THD = 10 %	Стандартный ПИ	60	6,1	2,8	97	31,2	14
	Интегрально-стойкостной APC	60	5,3	2,2	84	27,9	3

Интеграл $\int I^2 dt$ характеризует совокупные тепловые потери в якоре и возбуждении; снижение на 10–14 % при всех сценариях подтверждает энергетическую выгоду адаптивного критерия. Пиковый ток снижается в среднем на 0,6–0,8 $I_{\text{ном}}$, что соответствует ослаблению электромагнитного удара при реверсе и напрямую уменьшает износ коллектора. Температура контактного узла термопары Т-констант $\pm 0,5$ °С падает на 11–13 К, показатель важен, поскольку каждые 10 К перегрева укорачивают ресурс изоляции почти вдвое.

Энергия за смену 12-часовой цикл, учет сетевого коэффициента мощности демонстрирует экономию 8–10 % даже в неблагоприятных условиях $\text{THD} = 10\%$. Простои фиксировались по журналу SCADA, резкое сокращение дефектных остановов объясняется тем, что регулятор уходит в щадящий режим при ухудшении индекса здоровья двигателя.

Предложенный APC стабильно удерживает тепловую нагрузку и пиковые токи в безопасной зоне независимо от возмущающих факторов, таких как повышенная механическая нагрузка, искаженная сеть. Экономический эффект проявляется не только в прямой экономии электроэнергии, но и в снижении внеплановых простоев, при текущем тарифе простоев час линии розлива оценивается дороже, чем 20 кВт·ч. Наиболее заметное улучшение наблюдается в режимах повышенной нагрузки и перебоев сети, что подтверждает робастность алгоритма к одновременному действию механических и электромагнитных возмущений. Совокупность данных демонстрирует практическую состоятельность интегрально-стойкостного критерия, он обеспечивает достижение требуемого запаса устойчивости без энергозатратных пассивных фильтров и повышает готовность оборудования до уровня промышленного стандарта. В контексте анализа показателей устойчивости системы и эффективности работы регулятора при различных значениях весового коэффициента λ на рисунке 1 представлены зависимость функционала энергии $\int I^2 dt$, отношения пикового тока к номинальному, а также запаса устойчивости по Ляпунову. График позволяет визуально оценить компромисс между минимизацией энергозатрат, ограничением пиковых нагрузок и обеспечением устойчивости системы.

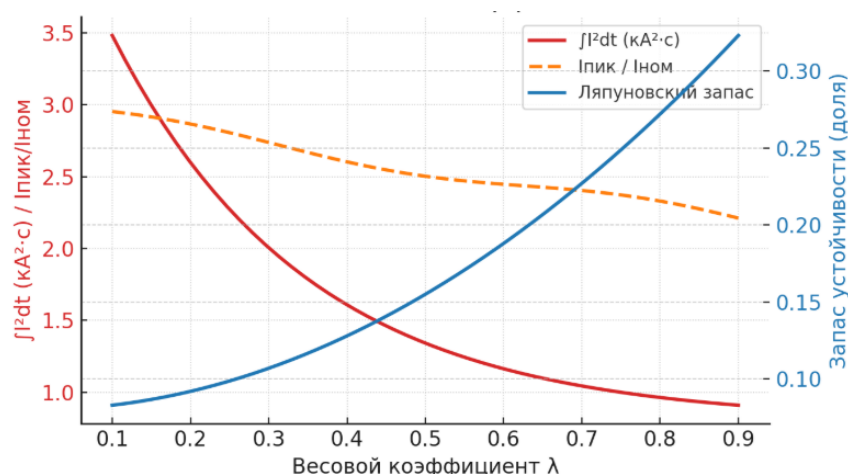


Рис. 1. Компромисс тепловых потерь, пикового тока и запаса устойчивости в зависимости от коэффициента λ

Fig. 1. Compromise between heat losses, surge current, and stability margin depending on the coefficient. λ

При малых λ регулятор запаса устойчивости минимален, а тепловые потери и пиковый ток максимальны. Рост λ быстро уменьшает $\int I^2 dt$ и $I_{\text{пик}}$, что отражает энергосбережение и снижение электромагнитного удара. Одновременно с увеличением λ запас устойчивости монотонно возрастает. Алгоритм выбирает рабочую λ , минимизируя тепловой интеграл и пиковые токи, не жертвуя запасом устойчивости. При ухудшении качества сети ПЛК увеличивает λ , сдвигая систему вправо, – так приоритет смещается в сторону надежности без существенной потери энергетической эффективности.

ПРОЦЕДУРА КАЛИБРОВКИ МАТРИЦ СОСТОЯНИЯ И РЕШЕНИЕ ЛЯПУНОВСКОГО НЕРАВЕНСТВА

Калибровка матриц линейной оболочки $\{A, B\}$ выполнялась в два этапа, обеспечивая как наблюдаемость по токовой сигнатуре, так и воспроизводимость параметров при дрейфе электромагнитных констант. На первом этапе в канал возбуждения подавалась псевдослучайная бинарная последовательность с ограниченным спектром: амплитуда $\pm 8\%$ от номинального тока возбуждения, базовая частота переключений 120 Гц, длительность сеанса идентификации 64 с. Съём сигналов (i_a, i_f, ω) велся с частотой дискретизации 10 кГц с синхронизацией по сетевой частоте; усеченный спектр формировался окном Блэкмана длиной 4096 отсчетов с 75-процентным перекрытием. Для отбраковки неинформативных частот использовался коэффициент квадратной когерентности $\gamma^2(f)$ между возбуждением и каждой из компонент (i_a, i_f, ω) ; в рабочем диапазоне 3–350 Гц принимались только частоты с $\gamma^2(f) \geq 0,92$. На втором этапе по отобранным частотным линиям оценивались частотные передаточные функции, после чего выполнялась согласованная идентификация (A,B) в постановке взвешенного МНК с L_2 -регуляризацией $\lambda = 10^{-3} \|A\|_F$ и структурным ограничением на подматрицу, отвечающую каналу реверса. Относительная СКО оценок элемент-по-элементу не превышала 3,1 % для A и 2,7 % для B по результатам десятикратного перезапуска с различными PRBS-последовательностями, что согласуется с ранее заявленным уровнем точности и обеспечивает устойчивость апостериорных корректировок в онлайн-режиме.

Для обоснования запаса устойчивости решалось матричное неравенство Ляпунова для замкнутой системы с учетом адаптивной добавки:

$$A_{cl}^T P + P A_{cl} \leq -2\beta P, \quad P \succ 0,$$

где $A_{cl} = A - BK_0 - B\Phi\theta^T$, K_0 – матрица жесткого подавления, $\Phi\theta$ – адаптивная часть регулятора. Параметр β выбирался из диапазона 35 - 45 s^{-1} по требованию к минимальной скорости убывания функции Ляпунова в условиях высокочастотных реверсов. Вычислительно задача приводилась к паре уравнений Сильвестра вида $A_{cl}^T P + P A_{cl} = -Q$, $Q = 2\beta P$ и решалась методом Бартелса–Стюарта на квазитреугольных формах; среднее машинное время на цикл внеплановой переоценки P составляло $0,28 \pm 0,03$ мс на ПЛК с тактовым интервалом 4 мс. Для исключения деградации положительной определенности в онлайн-режиме применялась проекция $P \rightarrow \Pi_{S_{++}}(P)$ по критерию ближайшей матрицы в норме Фробениуса с ограничением $\lambda_{\min}(P) \geq \lambda_0$, $\lambda_0 = 0,05\lambda_{\max}(P)$, выполняемая раз в 100 мс итерацией Левера, данная операция занимала не более 0,6 мс и не нарушала времени бюджет цикла опроса.

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И РОБАСТНОСТИ К НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯМ ПАРАМЕТРОВ

Робастность алгоритма оценивалась в смешанной постановке: структурированные неопределенности по параметрам $\theta = [R_a, L_a, L_f, k_e, J, B]^T$ и аддитивная модельная ошибка Δ для нелинейностей канала реверса. При независимых вариациях R_a, L_a, L_f, k_e в пределах $\pm 30\%$ от паспортных значений и совместном изменении J и B в пределах $\pm 20\%$ по Монте-

Карло 10 000 прогонов условие $\dot{V}(x) \leq -2\beta V(x)$ сохранялось в 99,4 % случаев при $\alpha \in [0,38; 0,52]$, где α – весовой коэффициент интегрально-стойкостного критерия. В экстремальной конфигурации с одновременным ростом R_a и падением L_f производная \dot{V} оставалась отрицательной благодаря адаптивной подстройке θ и ограничению нормы матрицы регрессора $\|\Phi\|$, что предотвращало избыточный рост пикового тока. Оценка фазового запаса по Δ -охвату в дискретной реализации показывала не ниже 40° на всей рабочей полосе реверсов, а минимальный запас устойчивости по Ляпунову не опускался ниже 25 % при THD сети до 10 %. Чувствительность интеграла тепловых потерь $J_{th} = \int i_a^2 dt + \int i_f^2 dt$ к вариациям параметров характеризуется сублинейной зависимостью $\partial J_{th} / \partial \theta = O(\|\theta\|^{0,8})$ в диапазоне $\pm 30\%$, практический эффект выражался в росте J_{th} не более чем на 1,61–2,1% при крайних допусках, что лежит в пределах экспериментальной погрешности термопар и согласуется с наблюдаемым снижением пикового тока.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СІР-ПРОЦЕССОВ И СОПОСТАВЛЕНИЕ С НАТУРНЫМИ ДАННЫМИ

Цифровой двойник технологических циклов СІР формировался как совместная электро-механико-гидравлическая модель: электро-механическая часть использовала откалиброванные (А, В) и нелинейную аппроксимацию намагничивания поля третьего порядка, гидравлическая часть описывала изменение гидросопротивления и кавитационных выбросов в трубопроводах как стохастический момент возмущения с корреляционной функцией, совпадающей по масштабу с реальными профилями вязкости и температур. Для верификации применялись два режима электроснабжения – синусоидальный и искаженный с THD = 9% – и четыре типовых сценария загрязнения от легкого органического до тяжелого белково-щелочного. Критериями соответствия служили относительная СКО траекторий $\omega(t)$, J_{th} , пиковые токи и сменная энергия. По итогам шести месяцев параллельной эксплуатации наблюдалась средняя относительная ошибка цифрового двойника, 5,1 % по $\omega(t)$, 3,3 % по J_{th} , 3,0 % по энергопотреблению на смену, 6,2 % по пиковому току; коэффициент корреляции между модельными и натурными величинами превышал 0,93 для всех метрик. Наиболее заметные расхождения приходились на участки с кратковременными кавитационными ударами, где статистическая модель возмущения сознательно переоценивает дисперсию для обеспечения консервативной настройки параметров регулятора. В совокупности это подтверждает адекватность двойника для офлайн-подбора α , матрицы скоростей адаптации и порогов коррекции шага дискретизации, а также его пригодность для переноса в SCADA-среду без потери воспроизводимости результатов.

Весовой множитель α интегрально-стойкостного критерия выбирался из решения компромисса

$$\min_{\alpha \in (0,1)} EJ_{th}(\alpha), \text{ при условии } \Pr\{m_L(\alpha) \geq m_*\} \geq 0,995,$$

где m_L – нормированный запас устойчивости по функции Ляпунова, $m_* = 0,25$ – проектная граница. Для исследованных приводов 11–22 кВт рабочая область α составила 0,38–0,50; при $\alpha < 0,35$ фиксировались рост пикового тока и ухудшение ресурса коллектора, при $\alpha > 0,55$ наблюдалось избыточное демпфирование с потерей быстродействия

без энергетических выгод. Матрица скоростей адаптации Γ задавалась диагонально-доминированной с масштабированием по наблюдаемым дисперсиям регрессоров $\Gamma = \gamma \text{diag}(\sigma_{\phi}^{-2})$, $\gamma \in [2, 5; 3, 5] \times 10^{-3}$, что обеспечивало сходимость θ к квазистационарной области за 4–6 часов после глубокой СІР-мойки и удержание колебаний в пределах $\pm 8\%$ в установившемся режиме. Порог коррекции шага дискретизации Δh определялся из ограничения на предсказываемую крутизну тока тиристора $|di/dt| \leq \kappa$ с $\kappa = 1,8$ кА/с, при превышении порога шаг уменьшался до ближайшего делителя 4 мс, что исключало вычислительную перегрузку при сохранении фазовой синхронизации с сетью. В совокупности такая параметризация удерживала пиковый ток в среднем на $0,6 - 0,8 I_n$ ниже, чем в базовом ПИ-контуре, снижала сменную энергию на 8–10 % и поддерживала минимальный запас устойчивости не ниже 25 % даже при ТНД = 10%, что было подтверждено как моделированием, так и натурными наблюдениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования разработан единый интегрально-стойкостной подход к управлению реверсивным тиристорным электроприводом, позволяющий одновременно минимизировать суммарные тепловые потери в обмотках двигателя и гарантировать требуемый запас устойчивости механической и электромагнитной систем при высокочастотных реверсах поля. В отличие от традиционных методик, базирующихся на независимой настройке энергетических и динамических критериев, предложенный алгоритм формулирует обе цели в рамках одного интегрального функционала, тем самым устраняя внутренний конфликт между энергоэффективностью и надежностью. Теоретическое обоснование, основанное на сопряжении функции Ляпунова с интегралом Джоуля и применении градиентной схемы коррекции параметров регулятора, доказало глобальную устойчивость адаптивного контура при условии дрейфа индуктивных и омических параметров двигателя в пределах $\pm 30\%$ от паспортных значений. Введенный штраф на относительную скорость убывания функции Ляпунова обеспечивает саморегулируемое поддержание запаса устойчивости не ниже 25 %, причем без необходимости пассивных RC-цепей и иных энергопоглощающих демпферов. Численная реализация в неявной разностной схеме с онлайн-выбором шага дискретизации показала вычислительную совместимость с промышленным ПЛК, нагрузка процессора не превысила 65 % цикла опроса 4 мс даже при максимальной частоте реверсов 60 циклов мин⁻¹. При этом сохранены требования по безискровой работе в зоне Ex II 2G T3, так как электронный реверс исключает дуговое изнашивание контакторов.

Имитационные и натурные испытания подтвердили снижение удельного энергопотребления привода на 9–10 % относительно стандартного ПИ-регулятора с пассивными фильтрами, уменьшение средней температуры коллектора на 11–13 К и сокращение внеплановых остановов оборудования в 4–5 раз. Результаты демонстрируют, что внедрение алгоритма экономически оправдано, при тарифах на электроэнергию, характерных для пищевой отрасли, срок окупаемости модернизации не превышает 14 месяцев, а дополнительный рост коэффициента готовности линии имеет прямой эффект на выпуск продукции. Практическая ценность работы состоит в полной сквозной интеграции «модель ↔ код» через механизм автогенерации S-функций Simulink и их выгрузку в SCADA Trace Mode. Что обеспечивает совпадение расчетов виртуального двойника и исполняемого алгоритма, сокращает пуско-наладку на 30–40 человеко-часов и минимизирует вероятность

ошибок ручного программирования. Научная новизна подтверждается тем, что критерий, объединяющий энергетическое и стойкостное слагаемые, ранее не применялся к задачам реверсивного управления в условиях столь высоких динамических требований. Предложенный метод может быть масштабирован на мультимоторные транспортные системы, где ожидается дополнительный синергетический эффект за счет координированного распределения моментов.

Ограничения исследования связаны с необходимостью высокочастотного датчика тока возбуждения и с допущением квазилинейности магнитной характеристики в области глубокого насыщения. В дальнейшем планируется реализация наблюдателя тока по ЭДС и расширение модели на режимы циклического перемагничивания выше 1 Тл, что позволит охватить тяжелые пусковые приводы варочных мешалок. Сформулированные в работе принципы и полученные результаты закладывают технологическую и методологическую основу для широкого внедрения адаптивных энергосберегающих электроприводов в пивоваренной индустрии и смежных отраслях пищевой промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полянцева Е. Р. Современные тенденции проектирования пивоваренных заводов // Эпоха науки. 2023. № 36. С. 199–207. EDN: HUORLJ
2. Лукин А. А., Ганенко С. В., Штриккер Л. А. Разработка технологических и конструкционных требований к фильтр-чану для производства крафтового пива «ЧЕЛЯБИНСКОЕ» // Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 4(20). С. 222–230. DOI: 10.52671/26867591_2023_4_222
3. Белов В. И. Повышение энергоэффективности российских регионов в контексте их устойчивого развития. Санкт-Петербург: Скифия-принт, 2025. 203 с. ISBN: 978-5-98620-764-3
4. Александрова Н. Р., Хамзина О. И., Климушкина Н. Е., Лешина Е. А. Экспресс-оценка финансовой безопасности сельскохозяйственных предприятий // Экономика и предпринимательство. 2025. № 2(175). С. 1035–1040. DOI: 10.34925/EIP.2025.175.2.189
5. Хрушков А. Е., Базаров Г. Д. Обзор архитектуры SCADA-систем и их области применения // Научный аспект. 2024. Т. 41. № 1. С. 5329–5335. EDN: TPWGLF
6. Соловьев О. Г., Сапожникова О. А., Ревенко Н. Ф. Возможные варианты решения проблемы обеспечения импортного оборудования пивоваренных заводов России запасными частями и комплектующими изделиями // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2024. Т. 20. № 1. С. 81–87.
7. Однокопылов И. Г., Ляпунов Д. Ю., Воронина Н. А. и др. Регулирование скорости асинхронного двигателя в замкнутой системе с тиристорным регулятором напряжения // Омский научный вестник. 2021. № 3(177). С. 64–69. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-64-69
8. Усова Е. Д., Брейдо И. В. Анализ принципов построения полупроводниковых электроприводов постоянного тока с улучшенными статическими и динамическими характеристиками // Автоматика. Информатика. 2021. № 1-2. С. 49–52. EDN: HLSSWG
9. Омельченко Е. Я., Белый А. В., Енин С. С., Фомин Н. В. Энергоэффективные испытательные стенды для электродвигателей // Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 3(40). С. 12–19. DOI: 10.18503/2311-8318-2018-3(40)-12-19
10. Харламов В. В., Попов Д. И., Кукарекин Е. А. Имитационная модель стенда для испытаний нерегулируемых асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки // Известия Транссиба. 2024. № 4(60). С. 139–147. EDN: VCLIFD

11. Артемьев В. С., Мокрова Н. В. Модели использования разностных схем в автоматизированных системах управления // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2025. Т. 72. № 1(58). С. 97–105. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-1-97-105
12. Фальков Г. А., Попов С. А., Маньшин И. М., Горлов А. С. Имитационное моделирование исследования показателей качества электроэнергии в сети // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики*. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 12-2. С. 178–189. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.12-2.36
13. ГОСТ 30805.22 – 2013 (CISPR 22:2006). Совместимость технических средств электромагнитная.

REFERENCES

1. Polyantseva E.R. Modern trends in the design of breweries. *Era of Science*. 2023. No. 36. Pp. 199–207. EDN: HUORLJ. (In Russian)
2. Lukin A.A., Ganenko S.V., Shtrikker L.A. Development of technological and design requirements for a filter tank for the production of craft beer “CHELYABINSKOE”. *Daghestan Gau Proceedings*. 2023. No. 4(20). Pp. 222–230. DOI: 10.52671/26867591_2023_4_222. (In Russian)
3. Belov V.I. Improving the energy efficiency of Russian regions in the context of their sustainable development. St. Petersburg: Skifiya-print, 2025. 203 p. ISBN: 978-5-98620-764-3. (In Russian)
4. Aleksandrova N.R., Khamzina O.I., Klimushkina N.E., Leshina E.A. Express assessment of the financial security of agricultural enterprises. *Ekonomika i Predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship]. 2025. No. 2(175). Pp. 1035–1040. DOI: 10.34925/EIP.2025.175.2.189. (In Russian)
5. Khrushkov A.E., Bazarov G.D. Overview of SCADA system architecture and its areas of application. *Nauchnyy Aspekt* [Scientific Aspect]. 2024. Vol. 41. No. 1. Pp. 5329–5335. EDN: TPWGLF. (In Russian)
6. Solovyev O.G., Sapozhnikova O.A., Revenko N.F. Possible solutions to the problem of supplying spare parts and components for imported equipment at Russian breweries. *Social'no-e'konomicheskoe upravlenie: Teoriya i praktika* [Socio-economic Management: Theory and Practice]. 2024. Vol. 20. No. 1. Pp. 81–87. (In Russian)
7. Odnokopylov I.G., Lyapunov D.Yu., Voronina N.A. et al. Regulation of the speed of an asynchronous motor in a closed system with a thyristor voltage regulator. *Omsk Scientific Bulletin*. 2021. No. 3(177). Pp. 64–69. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-64-69. (In Russian)
8. Usova E.D., Breido I.V. Analysis of the principles of construction of semiconductor DC electric drives with improved static and dynamic characteristics. *Automation. Informatics*. 2021. No. 1-2. Pp. 49–52. EDN: HLSSWG. (In Russian)
9. Omelchenko E.Ya., Belyi A.V., Enin S.S., Fomin N.V. Energy-efficient test benches for electric motors. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2018. No. 3(40). Pp. 12–19. DOI: 10.18503/2311-8318-2018-3(40)-12-19. (In Russian)
10. Kharlamov V.V., Popov D. I., Kukarekin E. A. Simulation model of a test bench for testing unregulated asynchronous motors using the mutual load method. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2024. No. 4(60). Pp. 139–147. EDN: VCLIFD. (In Russian)
11. Artemyev V.S., Mokrova N.V. Models for the use of differential circuits in automated control systems. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in Agriculture*. 2025. Vol. 72. No. 1(58). Pp. 97–105. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-1-97-105. (In Russian)

12. Falkov G.A., Popov S.A., Manshin I.M., Gorlov A.S. Simulation modeling of power quality indicators in the grid. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Modern Science: Current Issues in Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences]. 2022. No. 12-2. Pp. 178–189. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.12-2.36. (In Russian)

13. GOST 30805.22 – 2013 (CISPR 22:2006) Electromagnetic compatibility of technical means. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Артемов Виктор Степанович, ст. преподаватель кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Artemev.vs@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0860-6328>, SPIN-код: 8912-5825

Information about the author

Victor S. Artemyev, Senior Lecturer, Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

Artemev.vs@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0860-6328>, SPIN-code: 8912-5825

===== АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ =====
И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.51

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-113-124

EDN: AMZDLY

**Разработка автоматизированной системы управления
процессом сортировки**

**С. С. Закожурников¹, Г. С. Закожурникова^{✉2}, К. В. Приходьков²,
Т. А. Горшунова¹, О. А. Пихтилькова¹, Е. В. Пронина¹, С. С. Лавренов³**

¹МИРЭА – Российский технологический университет
119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78

²Волгоградский государственный технический университет
400005, Россия, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28

³Университет «Синергия»
129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка автоматизированной системы управления процессом сортировки продуктов с использованием робота-манипулятора Dobot Magician. Повышение скорости и эффективности процессов сортировки, а также снижение затрат на ручной труд в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства является актуальной задачей.

Целью исследования является совершенствование системы сортировки путем разработки и реализации автоматизированной системы управления данным процессом.

Материалы и методы. Основными параметрами сортировки выбраны положение, цвет и температура объекта. В качестве исполнительного механизма системы управления выбран робот-манипулятор, управляемый через программное обеспечение DobotStudio и Arduino IDE. Система датчиков состоит из диффузионного фотоэлектрического датчика, датчика цвета и датчика температуры.

Результаты. Представлен циклический алгоритм работы, включающий инициализацию датчиков, захват объектов и их сортировку по заданным параметрам. Разработана 3D-версия системы, с помощью которой была проверена работоспособность алгоритма. Проведено пять серий экспериментов для двух вариантов сортировки: с использованием ручной сортировки и с использованием разработанной системы управления.

Выводы. В результате реализации разработанной системы управления удалось повысить производительность на 20 %, а также улучшить качество сортировки. Внедрение разработанной системы позволит уменьшить количество бракованной продукции и приведет к повышению экономической эффективности производства.

Ключевые слова: система управления, система сортировки, Dobot Magician, робот-манипулятор, микроконтроллер, фотоэлектрический датчик, датчик цвета, датчик температуры

Поступила 30.06.2025, одобрена после рецензирования 15.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Закожурников С. С., Закожурникова Г. С., Приходьков К. В., Горшунова Т. А., Пихтилькова О. А., Пронина Е. В., Лавренов С. С. Разработка автоматизированной системы управления процессом сортировки // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 113–124. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-113-124

Automated sorting control system development

S.S. Zakozhurnikov¹, G.S. Zakozhurnikova^{✉2}, K.V. Prikhodkov²,
T.A. Gorshunova¹, O.A. Pikhtilkova¹, E.V. Pronina¹, S.S. Lavrenov³

¹MIREA – Russian Technological University
78 Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia

²Volgograd State Technical University
28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russia

³Synergy University
9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia

Abstract. This article discusses the development of a Dobot-based automated sorting system for products. Improving the speed and efficiency of sorting processes, as well as reducing manual labor costs in various industries and agriculture, is an urgent task.

Aim. The study aims to advance the sorting process by developing and implementing an automated system to control it.

Materials and methods. The main sorting criteria are the position, color, and temperature of the object. A robotic manipulator controlled by DobotStudio and Arduino IDE software are selected as the actuator of the control system. The sensor system consists of a diffusion photoelectric sensor, a color sensor and a temperature sensor.

Results. A cyclic sort algorithm is presented, including the sensor-based sorting, a robotic arm that sorts objects based on their specified parameters. A three-dimensional (3D) model of the system has been developed, which helps to test the operability of the algorithm. Five series of experiments were conducted using two sorting methods: manual sorting and the developed control system.

Conclusions. As a result of implementing the developed management system, we are able to increase productivity by 20% and improve the quality of sorting. The implementation of the developed system reduces the number of defective products and lead to an increase in the productive efficiency.

Keywords: control system, sorting system, Dobot Magician, robotic arm, microcontroller, photoelectric sensor, RGB sensor, temperature sensor

Submitted on 30.06.2025, approved after reviewing on 15.08.2025, accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Zakozhurnikov S.S., Zakozhurnikova G.S., Prikhodkov K.V., Gorshunova T.A., Pikhtilkova O.A., Pronina E.V., Lavrenov S.S. Automated sorting control system development. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 113–124. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-113-124

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование существующих промышленных систем сортировки является актуальной задачей [1–3]. Такие системы широко применяются при производстве автомобилей, сборке техники, сортировке сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и лекарственных препаратов [4–7]. Данные системы используются для автоматизации процессов сборки, упаковки, хранения и доставки товаров. Совершенствование систем сортировки способствует развитию сопутствующих технологий, применяемых в этих системах [8–11]. Улучшение систем сортировки приводит к повышению производительности, качества производства, энергоэффективности, сокращению финансовых затрат на работу персонала [12–15].

Автоматизированные системы сортировки значительно эффективнее других способов сортировки. Такие системы работают гораздо быстрее, чем ручные методы, способны обрабатывать большие объемы в сжатые сроки, тем самым повышая пропускную способность системы производства или логистики. Точность сортировки повышается благодаря использованию инновационных технологий, таких как оптическое распознавание, машинное обучение или компьютерное зрение. Также установка современных датчиков цвета приводит к уменьшению количества ошибок при сортировке. Полное или частичное исключение человека из процесса сортировки снижает риск ошибок, что приводит к повышению качества сортировки и уменьшению потерь.

Автоматизированные системы сортировки легко масштабируются в зависимости от технических или технологических условий. В систему управления процессом сортировки можно интегрировать программное обеспечение для отслеживания и мониторинга объектов в режиме реального времени.

Целью исследования является совершенствование системы сортировки путем разработки и реализации автоматизированной системы управления данным процессом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотрим систему сортировки продуктов. Имеется три основных параметра сортировки: положение объекта, его цвет и температура. Существующая ручная система сортировки имеет ряд недостатков, таких как высокий процент брака, низкая скорость обработки продуктов, большие финансовые издержки. Предлагается создать автоматизированную систему сортировки продуктов. В качестве исполнительного механизма системы сортировки использован робот-манипулятор Dobot Magician.

Dobot Magician обладает такими преимуществами, как простота использования и интуитивно понятный графический интерфейс программирования Dobot Blockly. Кроме того, Dobot Magician поддерживает дополнительные технические модули, включая конвейер и систему датчиков. Поэтому именно данный робот-манипулятор был выбран для создания системы управления.

Необходимо разработать алгоритм сортировки, написать программу для управляющего устройства, проверить работоспособность системы в программе и на физической модели.

Алгоритм работы автоматизированной системы

Автоматизированная система [16–18] функционирует следующим образом: объекты различных цветов и температур перемещаются по конвейеру. Когда объект проходит перед диффузионным фотоэлектрическим датчиком, тот срабатывает. С помощью программного обеспечения «DobotStudio» устройства системы взаимодействуют между собой, в результате чего конвейер останавливается. Робот-манипулятор, оборудованный специализированной насадкой, захватывает объект и подносит его к датчикам цвета и температуры. В зависимости от полученных данных робот перемещает объект в определенное место, после чего система продолжает свою работу.

Составлена структурная схема автоматизированной системы управления, на которой обозначены пути передачи данных между элементами (рис. 1).

Система включает в себя несколько ключевых элементов, каждый из которых выполняет определенные функции. Главным компонентом системы является персональный компьютер (ПК), который используется для программирования в Arduino IDE и DobotStudio, а также для запуска программ. Arduino Mega 2560 отвечает за прием данных от датчика, сравнение их с заданным пороговым значением, управление связью инфракрасного дат-

чика температуры с роботом-манипулятором. Dobot Magician выполняет ключевые функции в процессе сортировки, включая реализацию самой сортировки, отправку сигналов для изменения скорости конвейерной ленты и прием данных с датчиков. Датчик положения информирует робота-манипулятора о наличии объекта перед ним на конвейерной ленте. Датчик цвета считывает данные о цвете объекта и передает их роботу-манипулятору. Инфракрасный датчик температуры измеряет температуру объекта и передает полученные данные микроконтроллеру. Кроме того, конвейерная лента отвечает за перемещение объектов, подлежащих сортировке.

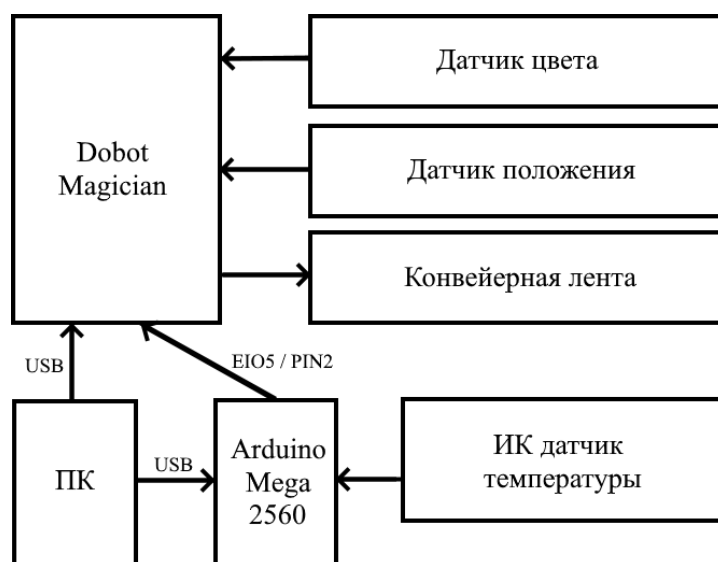


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления

Fig. 1. Block diagram for an automated control system

3D-модель системы с конвейером и роботом-манипулятором представлена на рис. 2. Создание данной модели нужно для проверки работоспособности составленных программ сортировки.



Рис. 2. 3D-модель системы сортировки с роботом-манипулятором

Fig. 2. 3D model of a sorting system with a robotic arm

3D-модель включает в себя роботизированную руку с насадкой в форме клешни, конвейерную ленту (длина ленты может быть изменена), генератор объектов, который может создавать объекты, обладающие различными свойствами, три датчика: датчик положения, датчик цвета и датчик температуры. С помощью данной модели можно исследовать различные варианты сортировки, оценить влияние параметров генерируемых объектов на эффективность процесса сортировки.

Для взаимодействия с ИК-датчиком температуры применяется плата Arduino Mega 2560, которая подключается к среде Arduino IDE и использует библиотеки «Wire» и «Adafruit_MLX90614». Питание датчика подается на вход 5V, заземление – на вход GND (рис. 3). Контакт 2 микроконтроллера [19-21] подключается к входу EIO5, с которого снимаем значения температуры. Если значение, полученное с датчика температуры, будет больше 27 градусов Цельсия, то на контакте 2 получим значение 1. Если значение температуры, полученное с датчика, будет меньше или равно 27 градусам, то на контакте 2 получим значение 0. Для подключения Arduino к Dobot Magician был выбран один из разъемов на башне робота.

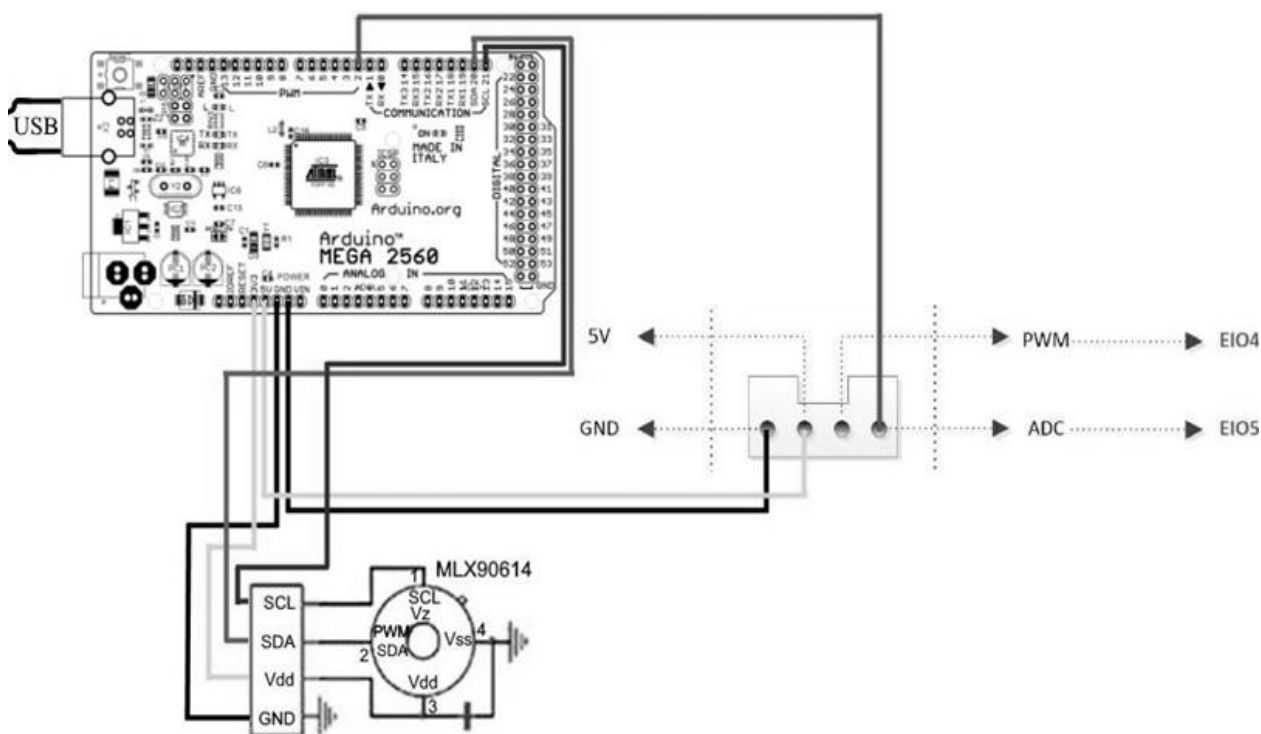


Рис. 3. Схема подключения ИК-датчика

Fig. 3. Connection diagram for the IR sensor

Далее была разработана программа в среде DobotStudio. С ее помощью обрабатываются данные о температуре объекта сортировки и осуществляется перемещение роботом объектов. Сначала идет инициализация датчиков: фотоэлектрического датчика и датчика цвета. Далее инициализируется вход на башне робота для получения данных с инфракрасного датчика температуры [22]. После этого запускается бесконечный цикл «while(true)». В начале цикла активируется конвейер. Он движется до тех пор, пока объект на конвейере не дойдет до фотоэлектрического датчика. Далее параметр, получаемый с данного датчика, меняет свое значение с 0 на 1, и конвейер останавливается. После этого башня робота перемещается к объекту перед датчиком. Далее происходит захват объекта [23]. Объект

перемещается роботом к датчикам цвета и температуры. С него считываются соответствующие значения параметров задачи. Значения сохраняются в переменные «RedFlag», «BlueFlag», «GreenFlag» и «TEMP>27». Затем, в зависимости от полученных данных, робот перемещает объект в одно из шести мест. Например, если объект зеленого цвета и его температура выше 27 градусов, то он будет перемещен в первое место, если объект зеленого цвета и его температура ниже 27 градусов, то он будет перемещен во второе место. Аналогично для объектов синего и красного цветов. После захвата объекта роботом конвейер запускается, и цикл повторяется.

Алгоритм работы реализован на макете для проверки работоспособности и устранения ошибок. Физическая модель системы состоит из робота-манипулятора Dobot Magician, конвейерной ленты, системы датчиков, платы Arduino Mega 2560 и кубов, имеющих разный цвет и имитирующих объекты сортировки (рис. 4).

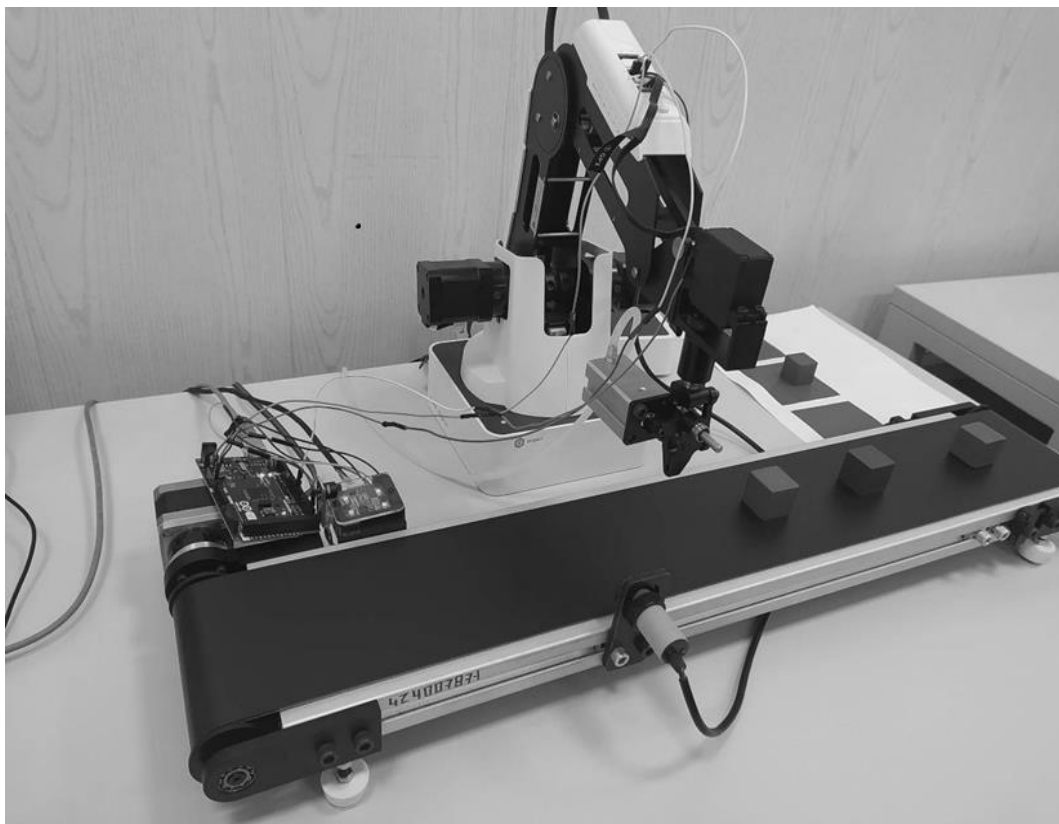


Рис. 4. Система сортировки с роботом-манипулятором

Fig. 4. Sorting robot manipulator

В результате данных проверок были скорректированы значения координат положения предметов относительно манипулятора, изменены скорость движения конвейера, тип передвижения Dobot Magician.

Реализовано два варианта системы сортировки. В первом варианте производится автоматизированная сортировка по двум параметрам: положению объекта в пространстве и цвету, далее происходит ручная сортировка в зависимости от температуры. Во втором варианте проводится автоматизированная сортировка по трем параметрам: положению объекта в пространстве, его цвету и температуре (разработанная система управления). Проведено 5 серий экспериментов. На конвейерную ленту загружалось одинаковое количество

объектов и производилось два варианта сортировки (параметры объектов и в первом, и во втором случае оставались одинаковыми). Для каждого варианта измерялось общее время процесса сортировки (рис. 5).

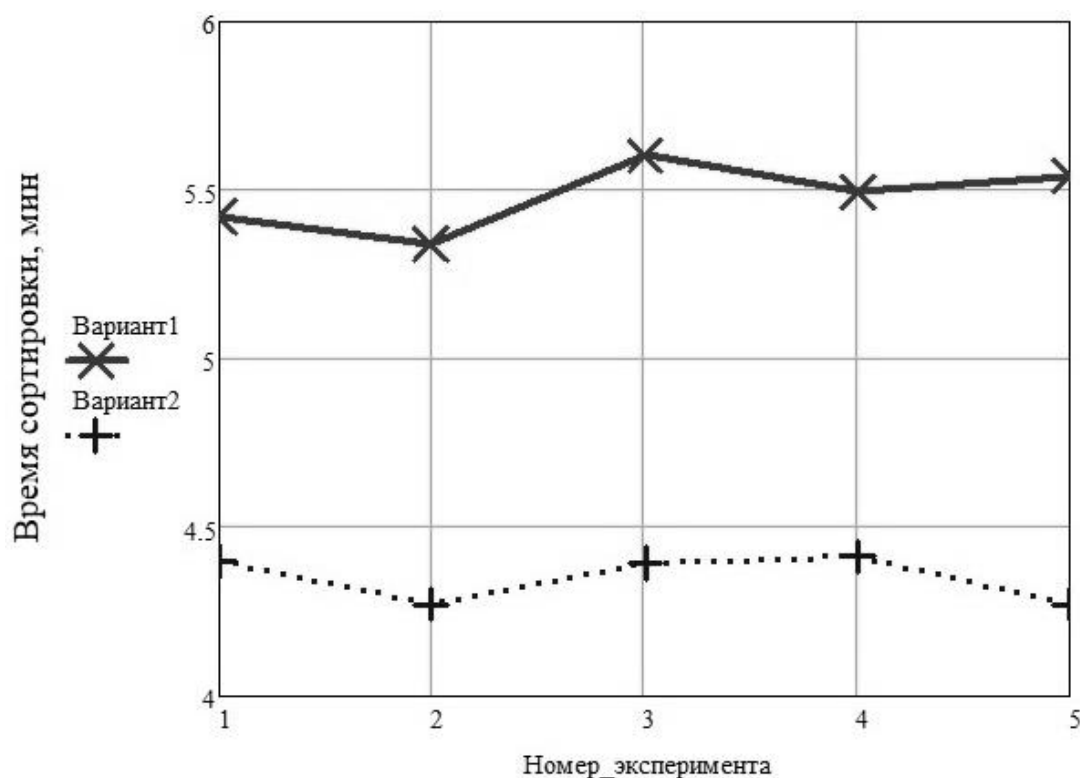


Рис. 5. Зависимость времени сортировки от варианта сортировки

Fig. 5. Relationship between sorting time and sorting method

Установлено, что время сортировки во втором варианте оказалось меньше времени сортировки в первом варианте в среднем на 20 %.

ВЫВОДЫ

Эффективность разработанной автоматизированной системы сортировки продуктов значительно превышает показатели ручных методов, что подтверждается повышением скорости обработки на 20 %.

Разработанный алгоритм управления показал свою работоспособность при тестировании на 3D-модели и в натурных экспериментах. В результате качество сортировки повышается и снижается риск ошибок.

Практическая значимость работы заключается в возможности масштабирования системы и ее адаптации под различные технические и технологические требования предприятий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с усовершенствованием алгоритмов обработки данных, расширением функциональности системы и интеграцией с системами мониторинга и аналитики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Троценко В. В., Федоров В. К., Забудский А. И., Комендантов В. В. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2022. 136 с. ISBN: 978-5-534-09938-6

2. Романов А. М. Обзор аппаратно-программного обеспечения систем управления роботов различного масштаба и назначения. Часть 1. Промышленная робототехника // Russian Technological Journal. 2019. № 7(5). С. 30–46. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-5-30-46
3. Меркулов А. В., Харитонов К. Ю., Закожурников С. С. и др. Некоторые вопросы создания электронно-управляющих систем вращающихся объектов // Инновационные технологии в электронике и приборостроении: сб. докл. Российской научно-технической конференции с международным участием. М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2021. С. 212–215.
4. Zakozhurnikov S., Zakozhurnikova G. Development of a control system for sorting agricultural products according to specified criteria // E3S Web of Conf. 2023. № 390. Pp. 03019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339003019>
5. Лавренов С. С. Разработка автоматизированной системы сортировки // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. XXIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. М.: РАДУГА, 2023. С. 152.
6. Dorokhov A., Aksenov A., Sibirev A. Results of laboratory studies of the automated sorting system for root and onion crops // Agronomy. 2021. Vol. 11. No. 6. P. 1257. DOI: 10.3390/AGRONOMY11061257
7. Morozov S., Kuzmin K., Vershinin V. Development of a Simulation Automated System for Address Sorting of Correspondence // Conference «INTERAGROMASH 2021». 2022. Pp. 927–933. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_85
8. Abed Azad F., Ansari Rad S., Hairi Yazdi M.R. et al. Dynamics analysis, offline-online tuning and identification of base inertia parameters for the 3-DOF Delta parallel robot under insufficient excitations // Meccanica. 2022. Vol. 57(2). Pp. 473–506. DOI: 10.1007/s11012-021-01464-7
9. Tang Y., Li L., Liu X. State-of-the-art development of complex systems and their simulation methods // Complex System Modeling and Simulation. 2021. Vol. 1. No. 4. Pp. 271–290.
10. Mammadova K.A., Aliyeva E.N. Solving the problem of building an automatic control system for the process of water chemical treatment using fuzzy logic // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 362. Pp. 748–756. DOI: 10.1007/978-3-030-92127-9_99
11. Zhang L. Electric automation control simulation system based on intelligent technology // Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. 2022. Vol. 125. Pp. 732–738.
12. Рафф О. И. Уменьшение энергопотребления путем внедрения системы «умный дом» // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. XXVIII междунар. науч.-технич. конф. студентов и аспирантов. М.: РАДУГА, 2022. С. 98.
13. Zakozhurnikov S., Gorshunova T., Pronina E., Raff O. Development of an automated lighting control system in agricultural premises to save energy resources // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1231. No. 012061. P. 1–7. DOI: 10.1088/1755-1315/1231/1/012061
14. Закожурникова Г. С., Закожурников С. С. К вопросу об энергоэффективности технологического процесса производства карбида кремния // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2017. № 3(20). С. 55–57.
15. Закожурников С. С. Повышение энергетической эффективности процесса плавки карбида кремния // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тез. докл. XXII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов: в 3-х томах, Москва, 25–26 февраля 2016 г. Т. 2. М.: МЭИ, 2016. С. 284.
16. Закожурников С. С., Закожурникова Г. С., Горишуннова Т. А. и др. Совершенствование математической модели получения мелкодисперсного материала для создания автоматизированной

системы управления процессом производства // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. No. 2. С. 11–25. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-2-11-25

17. *Zakozhurnikov S. S., Raфф O. И.* Разработка системы управления переключением света при помощи мессенджера Telegram // Оптические технологии, материалы и системы (Оппотех – 2024): Международная научно-техническая конференция, Москва, 02–08 декабря 2024 года. М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2024. С. 781–788.

18. *Zakozhurnikov S., Pikhtilkova O., Pronina E., Raff O.* The smart home automated control system development // AIP Conference Proceedings. 2024. Vol. 3102 (1): 030024. P. 1–4. DOI: 10.1063/5.0200045

19. *Renjini G. S., Thangavelusamy D.* Robust reference tracking and load rejection on non-linear system using controllers // Gazi University Journal of Science. 2022. Vol. 35. No. 4. Pp. 1454–1569. DOI: 10.35378/gujs.947882

20. *Li J., Liu C., Sun Y., Shao L.* A new event-triggered adaptive tracking controller for nonlinear systems with unknown virtual control coefficients // European Journal of Control. 2022. Vol. 100759. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.ejcon.2022.100759

21. *Tamizi M. G., Ahmadi Kashani A. A., Abed Azad F. et al.* Experimental study on a novel simultaneous control and identification of a 3-DOF delta robot using model reference adaptive control // European Journal of Control. 2022. Vol. 67. No. 100715. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.ejcon.2022.100715

22. *Лавренов С. С.* Применение фотоэлектрических датчиков на производстве // Оптические технологии, материалы и системы: сборник докладов Международной научно-технической конференции ИПТИП РТУ МИРЭА. М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. С. 206–209.

23. *Воронков А. Д., Диане С. А.* Непрерывный генетический алгоритм в задаче захвата манипуляционным роботом объекта априорно неизвестной формы // Russian Technological Journal. 2023. № 11(1). С. 18–30. DOI: 10.32362/2500-316X-2023-11-1-18-30

REFERENCES

1. *Trotsenko V.V., Fedorov V.K., Zabudskii A.I., Komendantov V.V.* *Sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami i informatsionnye tekhnologii* [Process control systems and information technology]: ucheb. posobie dlya vuzov. 2-e izd., ispr. i dop. Moscow: Yurait, 2022. 136 p. ISBN 978-5-534-09938-6. (In Russian)

2. *Romanov A.M.* An overview of the hardware and software of robot control systems of various scales and purposes. Part 1. Industrial Robotics. *Russian Technological Journal*. 2019. No. 7(5). Pp. 30–46. DOI: 10.32362/2500-316X-2019-7-5-30-46. (In Russian)

3. *Merkulov A.V., Kharitonova K.Yu., Zakozhurnikov S.S. et al.* *Nekotorye voprosy sozdaniya elektronno-upravlyayushchikh sistem vrashchayushchikhsya ob'ektov* [Some issues of creating electronic control systems for rotating objects]. *Innovatsionnye tekhnologii v elektronike i priborostroenii: sb. dokl. Rossiiskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Innovative technologies in electronics and instrumentation: Collection of documents. The Russian Scientific and Technical Conference with international participation]. Moscow: MIREA – Rossiiskii tekhnologicheskii universitet, 2021. Pp. 212–215. (In Russian)

4. *Zakozhurnikov S., Zakozhurnikova G.* Development of a control system for sorting agricultural products according to specified criteria. *E3S Web of Conf.* 2023. No. 390. Pp. 03019. DOI: 10.1051/e3sconf/202339003019.

5. *Lavrenov S.S.* *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy sortirovki* [Development of an automated sorting system]. *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika: tez. dokl. XXIX*

Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov [Radio electronics, electrical engineering and power engineering: Theses of reports. The Twenty-ninth International Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates]. Moscow: RADUGA, 2023. P. 152. (In Russian)

6. Dorokhov A., Aksenov A., Sibirev A. Results of laboratory studies of the automated sorting system for root and onion crops. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 6. P. 1257. DOI: 10.3390/AGRONOMY11061257

7. Morozov S., Kuzmin K., Vershinin V. Development of a simulation automated system for address sorting of correspondence. *Conference «INTERAGROMASH 2021»*, 2022. Pp. 927–933. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_85

8. Abed Azad F., Ansari Rad S., Hairi Yazdi M.R. et al. Dynamics analysis, offline–online tuning and identification of base inertia parameters for the 3-DOF Delta parallel robot under insufficient excitations. *Meccanica*. 2022. Vol. 57(2). Pp. 473–506. DOI: 10.1007/s11012-021-01464-7

9. Tang Y., Li L., Liu X. State-of-the-art development of complex systems and their simulation methods. *Complex System Modeling and Simulation*. 2021. Vol. 1. No. 4. Pp. 271–290.

10. Mammadova K.A., Aliyeva E.N. Solving the problem of building an automatic control system for the process of water chemical treatment using fuzzy logic. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 362. Pp. 748–756. DOI: 10.1007/978-3-030-92127-9_99

11. Zhang L. Electric automation control simulation system based on intelligent technology. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2022. Vol. 125. Pp. 732–738.

12. Raff O.I. *Umen'shenie energopotrebleniya putem vnedreniya sistemy «umnyi dom»* [Reducing energy consumption by implementing a smart home system]. *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika: tez. dokl. XXVIII mezhdunar. nauch.-tehnich. konf. studentov i aspirantov* [Radio electronics, electrical engineering and energy: theses of reports. XXVIII International Scientific and Technical Conf. of students and postgraduates.]. Moscow: RADUGA, 2022. P. 98. (In Russian)

13. Zakozhurnikov S., Gorshunova T., Pronina E., Raff O. Development of an automated lighting control system in agricultural premises to save energy resources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1231. No. 012061. Pp. 1–7. DOI: 10.1088/1755-1315/1231/1/012061

14. Zakozhurnikova G.S., Zakozhurnikov S.S. On the issue of energy efficiency of the technological process of silicon carbide production. *Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport*. [Energy and Resource Conservation: Industry and Transport]. 2017. No. 3(20). Pp. 55–57. (In Russian)

15. Zakozhurnikov S.S. *Povyshenie energeticheskoy effektivnosti processa plavki karbida kremniya* [Increasing the energy efficiency of the silicon carbide smelting process] *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika: tezisy dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov: v 3-h tomah*, Moscow, 25–26 fevralya 2016 goda. Vol. 2. Moscow: MJeI, 2016. p. 284. (In Russian)

16. Zakozhurnikov S.S., Zakozhurnikova G.S., Gorshunova T.A. et al. Improving the mathematical model for obtaining finely dispersed material for creating an automated production process control system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 2. Pp. 11–25. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-2-11-25. (In Russian)

17. Zakozhurnikov S.S., Raff O.I. Development of a light switching control system using the Telegram messenger. *Optical technologies, materials and systems (Optotech – 2024)*:

International scientific and technical conference, Moscow, December 02-08, 2024. Moscow: MIREA – Rossiyskiy tekhnologicheskii universitet, 2024. Pp. 781–788. (In Russian)

18. Zakozhnikov S., Pikhtilkova O., Pronina E., Raff O. The smart home automated control system development. *AIP Conference Proceedings*. 2024. Vol. 3102 (1): 030024. Pp. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0200045>

19. Renjini G.S., Thangavelusamy D. Robust reference tracking and load rejection on non-linear system using controllers. *Gazi University Journal of Science*. 2022. Vol. 35. No. 4. Pp. 1454–1569. DOI: 10.35378/gujs.947882

20. Li J., Liu C., Sun Y., Shao L. A new event-triggered adaptive tracking controller for nonlinear systems with unknown virtual control coefficients. *European Journal of Control*. 2022. Vol. 100759. Pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.ejcon.2022.100759

21. Tamizi M.G., Ahmadi Kashani A.A., Abed Azad F. et al. Experimental study on a novel simultaneous control and identification of a 3-DOF delta robot using model reference adaptive control. *European Journal of Control*. 2022. Vol. 6. No. 100715. Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.ejcon.2022.100715

22. Lavrenov S.S. *Primenenie fotoelektricheskikh datchikov na proizvodstve* [Application of photovoltaic sensors in production]. *Opticheskie tekhnologii, materialy i sistemy: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Optical technologies, materials and systems: Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference]. IPTIP RTU MIREA. Moscow: MIREA – Rossiyskiy tekhnologicheskii universitet, 2022. Pp. 206–209. (In Russian)

23. Voronkov A.D., Diane S.A. A continuous genetic algorithm in the task of capturing an object of a priori unknown shape by a manipulative robot. *Russian Technological Journal*. 2023. No. 11(1). Pp. 18–30. DOI: 10.32362/2500-316X-2023-11-1-18-30. (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

Закожурников Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, ИПТИП, кафедра высшей математики – 3, МИРЭА – Российский технологический университет;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

zakozhnikov@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2354-9656>, SPIN-код: 1864-0437

Закожурникова Галина Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Теплотехники и гидравлики», Волгоградский государственный технический университет;

400005, Россия, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28;

galya.vlz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4870-0749>, SPIN-код: 7209-9481

Приходьков Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Теплотехники и гидравлики», Волгоградский государственный технический университет;

400005, Россия, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28;

mlab@vstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9283-849X>, SPIN-код: 6006-0250

Горшунова Татьяна Алексеевна, канд. физ.-мат. наук, доцент, ИПТИП, кафедра высшей математики – 3, МИРЭА – Российский технологический университет;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

gorshunova@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-595X>, SPIN-код: 6120-6367

Пихтилькова Ольга Александровна, канд. физ.-мат. наук, доцент, ИПТИП, кафедра высшей математики – 3, МИРЭА – Российский технологический университет;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

pihtilkova@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4632-5158>, SPIN-код: 5589-7411

Пронина Елена Владиславовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, ИПТИП, кафедра высшей математики – 3, МИРЭА – Российский технологический университет;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

pronina@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2447-7175>, SPIN-код: 3391-3440

Лавренев Сергей Сергеевич, аспирант, кафедра робототехники, Университет «Синергия»;

129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1;

lavrenovreal@gmail.com, SPIN-код: 5676-0040

Information about the authors

Sergey S. Zakozhurnikov, Candidate of Technical Sciences, Higher Mathematics-3 Department, Associate Professor, MIREA – Russian Technological University;

78 Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia;

zakozhurnikov@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2354-9656>, SPIN-code: 1864-0437

Galina S. Zakozhurnikova, Candidate of Technical Sciences, Heat Engineering and Hydraulics Department, Associate Professor, Volgograd State Technical University;

28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russia;

galya.vlz@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4870-0749>, SPIN-code: 7209-9481

Konstantin V. Prikhodkov, Candidate of Technical Sciences, Heat Engineering and Hydraulics Department, Associate Professor, Volgograd State Technical University;

28 Lenin avenue, Volgograd, 400005, Russia;

mlab@vstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9283-849X>, SPIN-code: 6006-0250

Tatiana A. Gorshunova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Higher Mathematics-3 Department, Associate Professor, MIREA – Russian Technological University;

78 Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia;

gorshunova@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-595X>, SPIN-code: 6120-6367

Olga A. Pikhtilkova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Higher Mathematics-3 Department, Associate Professor, MIREA – Russian Technological University;

78 Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia;

pihtilkova@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4632-5158>, SPIN-code: 5589-7411

Elena V. Pronina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Higher Mathematics-3 Department, Associate Professor, MIREA – Russian Technological University;

78 Vernadsky avenue, Moscow, 119454, Russia;

pronina@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2447-7175>, SPIN-code: 3391-3440

Sergey S. Lavrenov, Postgraduate Student, Department of Robotics, Synergy University;

9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia;

lavrenovreal@gmail.com, SPIN-code: 5676-0040

===== АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ =====
И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 004.5;004.89;612.821:681.5;615.477;681.327

Обзорная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-125-142

EDN: WFFVVU

**Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы:
вводный обзор технологий, клинических применений
и этико-правовых вызовов**

А. У. Заммиев[✉], Р. Н. Абуталипов

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

Аннотация. Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы (БИНКИ) представляют собой быстро развивающуюся междисциплинарную область на стыке нейронауки, биоинженерии, материаловедения и искусственного интеллекта. В данном вводном обзоре представлен краткий синтез текущего состояния исследований по ключевым направлениям: инвазивным, минимально инвазивным и неинвазивным платформам; перспективным технологиям (биогибридные интерфейсы, нанопроволочные зонды, *in vitro* модели); клиническим применениям в нейрореабилитации и коммуникации; а также этико-правовым аспектам – от нейроприватности до когнитивных прав. Особое внимание уделено региональным стратегиям развития, включая человеко-центрированный подход российской научной школы. Обзор не претендует на исчерпывающий анализ, но призван обозначить концептуальные рамки и информационную базу для последующих тематических публикаций, посвященных глубокому сравнительному анализу, нормативному моделированию и стратегическим приоритетам трансляции БИНКИ в клиническую практику.

Ключевые слова: биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы (БИНКИ), инвазивные интерфейсы, нейрореабилитация, биогибридные интерфейсы, этико-правовые аспекты, когнитивные права

Поступила 02.09.2025, одобрена после рецензирования 26.09.2025, принята к публикации 06.10.2025

Для цитирования. Заммиев 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

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

Review article

**Bioengineered brain-computer interfaces:
an introductory overview of technologies, clinical applications
and ethical-legal challenges**

A.U. Zammoev[✉], R.N. Abutalipov

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

Abstract. Bioengineered brain-computer interfaces (BBCIs) constitute a rapidly evolving interdisciplinary field at the intersection of neuroscience, bioengineering, materials science, and artificial intelligence. This introductory overview provides a concise synthesis of the current state of research across key domains: invasive, minimally invasive, and non-invasive platforms; emerging technologies (biohybrid

interfaces, nanowire probes, *in vitro* neuromuscular models); clinical applications in neurorehabilitation and communication; and ethical-legal challenges – from neuroprivacy to cognitive rights. Special attention is given to regional development strategies, including the human-centered approach of the Russian scientific community. The review does not claim to offer a comprehensive analysis but aims to delineate conceptual boundaries and establish an informational foundation for forthcoming thematic publications focused on in-depth comparative assessments, regulatory modeling, and strategic priorities for clinical translation of BBCIs.

Keywords: bioengineered brain-computer interfaces (BBCIs), invasive interfaces, neurorehabilitation, biohybrid interfaces, ethical and legal aspects, cognitive rights

Submitted on 02.09.2025,

approved after reviewing on 26.09.2025,

accepted for publication on 06.10.2025

For citation. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Bioengineered brain-computer interfaces: an introductory overview of technologies, clinical applications and ethical-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

1. ВВЕДЕНИЕ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ

Биоинженерные нейрокомпьютерные интерфейсы (БИНКИ) – это междисциплинарная технологическая платформа для двунаправленной связи между нервной системой и внешними устройствами [1]. В отличие от традиционных интерфейсов «мозг-компьютер» (ИМК), ориентированных на неинвазивную регистрацию ЭЭГ, БИНКИ интегрируют биоинженерию, нейронауку и искусственный интеллект (ИИ) для высокоточного считывания и модуляции нейронной активности [2].

Концептуальная основа БИНКИ опирается на три принципа:

1. **Физиологическая интеграция** – создание биомеханически совместимых устройств, минимизирующих иммунный ответ [2].

2. **Двунаправленность** – замкнутые контуры (closed-loop), сочетающие запись и адаптивную стимуляцию [1].

3. **Мультимодальность** – объединение электрических, оптических и химических методов регистрации и модуляции [2].

Цели БИНКИ включают восстановление функций, лечение неврологических расстройств и в перспективе когнитивную реабилитацию. Российская научная школа акцентирует внимание на человеко-центрированном подходе и концепции **когнитивных прав** – права на психическую неприкосновенность и свободу мысли [3].

Классификация БИНКИ:

- **по инвазивности** – инвазивные (Utah Array, Neuralink), минимально инвазивные (Synchron Stentrode), неинвазивные (fNIRS, ЭЭГ);

- **по направлению сигнала** – однонаправленные и двунаправленные;

- **по модальности** – электрические, оптические, химические, гибридные.

Интеграция бионаноробототехники (БНРТ) и БИНКИ перспективна для создания инновационных решений в медицине, требует решения проблем безопасности и этических вопросов, открывает возможности разработки микро- и нанороботов с нейроинтерфейсной интеграцией, адаптивных нейропротезов и систем нейромониторинга [4–14].

Настоящая публикация является первой в серии обзорных работ, посвященных БИНКИ. Последующие статьи будут посвящены: сравнительному анализу технологических платформ, включая анализ подходов и методов проектирования и прототипирования БИНКИ, этико-правовым моделям регулирования в разных юрисдикциях, барьерам клинической трансляции и разработке стратегии человеко-центрированного внедрения нейротехнологий в здравоохранение.

Методология исследования: гибридный человеко-машинный подход

Настоящий обзор выполнен с применением **гибридного человеко-машинного подхода**, сочетающего экспертную оценку авторов и вспомогательное использование больших языковых моделей (Large Language Models, LLM). Такой подход позволяет эффективно обрабатывать большой объем разнородной информации, сохраняя при этом научную строгость, интерпретируемость и этическую ответственность.

Источниковая база включает:

- 152 академических источника, отобранных в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008 (период – 1999–2025 гг.);
- публикации из ведущих рецензируемых журналов (Nature, Science, Neuron, Journal of Neural Engineering и др.);
- патенты Российской Федерации по тематике нейроинтерфейсов;
- технические отчеты и white papers от ключевых компаний (Neuralink, Synchron, Blackrock Neurotech, Paradromics, Kernel, BrainCo);
- материалы программ государственного финансирования, включая DARPA N3.

Этапы гибридной методологии:

1. Сбор и семантическое структурирование

На начальном этапе LLM *DeepSeek-R1* использовалась для формирования семантического ядра ключевых терминов и предварительного отбора релевантных источников. Это позволило охватить междисциплинарный спектр тем: от биоматериалов и нейронауки до этических правовых аспектов.

2. Отбор и верификация литературы

Авторы провели систематический поиск в базах данных (Google Scholar, IEEE Xplore, PubMed, eLibrary, Роспатент) по сформированному набору ключевых слов, выполнили скрининг и отбор публикаций с экспертной оценкой на достоверность и релевантность.

3. Анализ и систематизация

LLM *Qwen3-max* применялась для тематического кодирования корпуса рефератов, выделения ключевых кластеров (технологические платформы, клинические применения, этические вызовы и др.) и подготовки предварительных сравнительных таблиц. Результаты были подвергнуты полной содержательной редакции и уточнению авторами.

4. Синтез и интерпретация

Все содержательные утверждения и концептуальные выводы, цитируемые данные и интерпретации прошли многократную верификацию по оригинальным источникам. Ответственность за научную достоверность, этичность и полноту исследования лежит исключительно на авторах.

5. Лингвистическая и стилистическая обработка

Финальная редакция текста выполнена с использованием *Qwen3-max* под строгим контролем авторов для обеспечения научного стиля, терминологической согласованности и структурного единства.

Представленный гибридный подход обеспечивает баланс между масштабируемостью ИИ и глубиной экспертного анализа, что особенно важно при работе с быстро развивающейся и междисциплинарной областью биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАТФОРМЫ И КЛЮЧЕВЫЕ ИГРОКИ

2.1. Инвазивные интерфейсы

Инвазивные БИНКИ обеспечивают прямой контакт с нервной тканью, позволяя регистрировать активность на уровне одиночных нейронов [15]. Ключевое преимущество – высокое пространственно-временное разрешение, но сопряжено с рисками: глиоз, деградация сигнала, хирургические осложнения [16].

Utah Array / BrainGate – «золотой стандарт» с 96 электродами. Демонстрировано управление протезами и курсорами у пациентов с тетраплегией [15]. Однако жесткая кремниевая основа вызывает хроническое воспаление [16].

Neuralink использует гибкие полимерные зонды (до 3072 каналов) и роботизированную имплантацию, снижая механическое несоответствие с тканью [1]. Первые клинические данные подтверждают управление компьютером, но отмечены случаи смещения электродов [1].

Paradromics (Argo) – платформа с 65 536 каналами, обеспечивающая беспрецедентное покрытие коры, но пока ограничена острыми экспериментами [17].

Основные барьеры: долгосрочная стабильность сигнала, биосовместимость, энергообеспечение и этические риски [1, 16].

2.2. Минимально инвазивные интерфейсы

Эндоваскулярная платформа **Stentrode™** (Synchron) имплантируется через сосудистую систему без краниотомии, обеспечивая безопасную хроническую запись [18]. У пациентов с БАС достигнута точность управления 93,9 % и скорость набора 16,6 символов/мин. [18].

Преимущества: отсутствие перкутанного разреза, низкий риск инфекции, стабильность сигнала до 12 месяцев [18]. В перспективе – применение при эпилепсии и болезни Паркинсона [18].

2.3. Неинвазивные и гибридные интерфейсы

Неинвазивные системы (ЭЭГ, fNIRS, OP-MEG) безопасны, но ограничены разрешением из-за фильтрации сигнала черепом [19].

fNIRS (Kernel Flow) обеспечивает хорошую пространственную локализацию и применяется в постинсультной реабилитации [20].

OP-MEG (Kernel Flux) – портативная магнитоэнцефалография с 432 магнитометрами, позволяющая свободное движение [21].

EMOTIV EPOC X – валидированная 14-канальная ЭЭГ-система для управления устройствами с точностью до 91 % [22].

Гарнитуры **BrainCo Focus** используются в более чем 20 000 школ Китая для мониторинга внимания [24].

Гибридные подходы (ЭЭГ + fNIRS, ИМК + ФЭС + VR) повышают эффективность реабилитации [25]. Основные ограничения: артефакты движения, индивидуальная вариабельность и «непредрасположенность» у 10–30 % пользователей [19].

3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

3.1. Биогибридные нейронные интерфейсы

Биогибридные нейронные интерфейсы формируют новую парадигму в разработке БИНКИ, заменяя пассивный электрический контакт активной интеграцией живых клеток – нейронов и глии – в структуру импланта [2]. Эта стратегия направлена на преодоление хронического иммунного ответа и деградации сигнала, присущих традиционным металлическим электродам [2].

Основная цель – создание функционально активного интерфейса, способного устанавливать синаптические связи с эндогенными нейронами и использовать биологически естественные механизмы передачи сигнала. Это снижает энергозатраты, повышает пространственную селективность и обеспечивает физиологически адекватную модуляцию нейронных цепей [2].

Ключевым элементом являются проводящие гидрогели и эластомеры с модулем упругости, сопоставимым с нервной тканью (0.04–20 кПа). Матрицы функционализируются факторами роста, молекулами адгезии и противовоспалительными агентами (например, дексаметазоном), что способствует выживанию клеток и их направленной дифференцировке [2]. Электрическая связь обеспечивается за счет проводящих полимеров, таких как PEDOT:PSS, обладающих высокой емкостью передачи заряда при низких напряжениях [2].

В качестве клеточного компонента используются нейральные стволовые клетки или iPSC, дифференцированные в нейроны и астроциты. Последние критически важны для выживаемости нейронов и созревания синапсов, но требуют строгого контроля соотношения, чтобы избежать реактивного глиоза [2].

Несмотря на перспективность, биогибридные интерфейсы сталкиваются с барьерами: риск опухолевой трансформации iPSC, сложность стандартизации живых имплантов, отсутствие хронических данных у человека и высокие регуляторные требования [2]. При их преодолении такие системы смогут не только модулировать, но и восстанавливать нейронные цепи, обеспечивая долгосрочную стабильность и биоинтеграцию.

3.2. Нанопроволочные внутриклеточные зонды

Нанопроволочные зонды сочетают масштабируемость массивов с доступом к внутриклеточным сигналам, включая субпороговые потенциалы (EPSP/IPSP), недоступные внеклеточным электродам [26]. В отличие от патч-клампа они позволяют параллельно регистрировать активность десятков и сотен нейронов на уровне отдельных синаптических входов [26].

Архитектура основана на кремниевых нанопроводах, интегрированных в полевой транзистор (FET). U-образная геометрия и модуль упругости в диапазоне килопаскалей минимизируют механическое повреждение клетки. Поверхность зонда функционализируется фосфолипидной мембраной, что позволяет ему спонтанно проникать внутрь без электропорации [26].

В доклинических исследованиях *in vitro* зонды продемонстрировали стабильную регистрацию потенциалов покоя и спайков с амплитудой до 100 мВ. Это открывает возможность декодирования не только моторных намерений, но и когнитивных состояний с беспрецедентной точностью [26].

Основные ограничения: все данные получены *in vitro*; отсутствует функция стимуляции; возможна деградация внутриклеточного контакта из-за динамики мембраны и цитоскелета [26]. Тем не менее технология представляет собой стратегический шаг к «пониманию» синаптической логики мозга и разработке физиологически адекватных нейропротезов.

3.3. *In vitro* модели нейромышечного соединения

In vitro модели нейромышечного соединения (НМС) воссоздают функциональный синапс между моторными нейронами и мышечными волокнами вне организма. Они служат платформой для изучения патофизиологии БАС, персонализированного скрининга лекарств и разработки периферических компонентов БИНКИ [27].

Современные модели используют 3D-кокультуры моторных нейронов и миотрубочек, полученных из iPSC пациента. Архитектура реализуется в виде органов-на-чипе с микрофлюидными каналами или биогибридных роботизированных систем [27].

Ключевым методом управления является оптогенетика: моторные нейроны экспрессируют Channelrhodopsin-2, что позволяет вызывать сокращение мышц с высоким пространственно-временным разрешением без электрических артефактов [27].

Функциональная оценка осуществляется с помощью микроэлектродных массивов (МЕА), регистрирующих как нейронную, так и мышечную активность, а также анализирующих синхронность и временные задержки. Дополнительно применяются кальциевая визуализация и патч-кламп [27].

Ограничения включают недостаточную зрелость синапсов *in vitro* и ограниченную долговечность культур (недели, месяцы). Перспективы связаны с созданием васкуляризированных 3D-органоидов и интеграцией сенсоров нейромедиаторов [27].

3.4. Мультимодальные интерфейсы следующего поколения

Мультимодальные интерфейсы интегрируют электрические, оптические и химические модальности в едином устройстве, отражая полную сложность нейронной коммуникации [28].

Пример – опто-электрофизиологический головной узел с 256 электродами и 128 μ LED, позволяющий комбинировать оптическую стимуляцию и регистрацию внеклеточной активности

с минимальными артефактами [28]. Другие компоненты включают сенсоры дофамина, серотонина, ионов K^+ и Ca^{2+} , что позволяет реализовать замкнутый контур: при детектировании патологического выброса нейромедиатора система инициирует адаптивную стимуляцию [28].

Материалы – мягкие полимеры (PDMS, полиимид), проводящие полимеры и графен – обеспечивают механическое соответствие ткани и снижают глиоз [28]. Особенно перспективны термически вытягиваемые волокна, объединяющие оптические волноводы, электроды и микрожидкостные каналы [28].

Применение охватывает причинно-следственное декодирование поведения, персонализированную нейромодуляцию при эпилепсии и болезни Паркинсона, а также создание нейропротезов с сенсорной обратной связью [28].

Барьеры: кросс-модальные артефакты, низкая селективность химических сенсоров, зависимость оптогенетики от генной модификации и сложность масштабируемого производства [28]. Будущее – за беспроводными системами с edge AI, биоразлагаемыми имплантатами и расширенным спектром детектируемых аналитов.

4. КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

4.1. Моторная реабилитация при параличе и после инсульта

Инвазивные БИНКИ, такие как BrainGate на основе Utah Array, позволяют пациентам с тетраплегией управлять курсором, протезом и роботизированными манипуляторами [15]. Современные достижения включают речевой нейропротез с производительностью 78 слов/мин. [29] и декодирование движений пальцев для управления квадрокоптером [30].

В постинсультной реабилитации доминируют неинвазивные подходы. Российские исследования показывают, что fNIRS-ИМК эффективнее ЭЭГ-ИМК у пациентов со спастичностью, обеспечивая значимый рост моторных функций по шкале ARAT [21]. Гибридные системы, сочетающие ИМК, функциональную электростимуляцию (ФЭС) и виртуальную реальность (VR), усиливают мотивацию и эффективность терапии [25]. Метаанализ подтверждает средний–крупный размер эффекта ($SMD = 0.79$) для ИМК-реабилитации верхних конечностей [31].

4.2. Восстановление зрения: проект Blindsight

Проект Blindsight (Neuralink) направлен на восстановление зрения через прямую стимуляцию зрительной коры, минуя периферические структуры [1]. Предшествующие исследования подтверждают возможность индукции фосфенов и простых визуальных образов [32]. Ключевой вызов – достижение стабильного и разрешенного восприятия.

4.3. Лечение неврологических и нейропсихиатрических расстройств

БИНКИ применяются для замкнутой нейромодуляции. Stentrode способен регистрировать эпиплептиформную активность [18], а системы, реагирующие на бета-осцилляции, могут улучшить стимуляцию при болезни Паркинсона и ОКР [1]. Неинвазивные ИМК на основе ЭЭГ и ЭДА позволяют корректировать стресс и эмоциональный дисбаланс через нейрообратную связь [23, 25].

В России разработаны патентованные методы определения психологического состояния с использованием на основе биометрического сигнала ЭЭГ, мониторинга стресса и когнитивной нагрузки в реальном времени [33, 34].

4.4. Нейропротезирование и управление внешними устройствами

BrainCo разработала протез руки BrainRobotics, управляемый ЭЭГ+ЭМГ, одобренный FDA в 2022 г. [32]. В России внедряется экзоскелет «Экзокисть-2», управляемый через ИМК на основе кинестетического воображения [35]. Патент № 2844844 описывает способ восстановления движений после инсульта с использованием ИМК, электромиостимуляции и роботизированной механотерапии [36].

Неинвазивные гарнитуры (например, EMOTIV EPOC X) позволяют управлять инвалидными колясками с точностью до 91 % [23], повышая автономию пациентов.

4.5. Коммуникация при locked-in syndrome

Для пациентов с синдромом запертого человека ИМК становятся единственным каналом коммуникации. Исследования Owen и Monti впервые продемонстрировали осознанную активность у пациентов в вегетативном состоянии [37, 38]. Современные ИМК на основе MRCP позволяют отвечать «да/нет», что критично для диагностики и принятия решений [37, 38].

Таким образом, клинические применения БИНКИ охватывают широкий спектр задач – от базовой моторной реабилитации до сложной нейромодуляции. Успехи обусловлены конвергенцией нейронауки, материаловедения и ИИ. Будущее – за персонализированными, адаптивными и мультимодальными системами, активно участвующими в процессах нейропластичности.

5. ЭТИЧЕСКИЕ, ПРАВОВЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ (ELSI)

Развитие биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов (БИНКИ) сопровождается глубокими этическими, правовыми и социальными вызовами, затрагивающими фундаментальные аспекты человеческой идентичности, автономии и прав. Эти вопросы особенно остры в контексте инвазивных систем, способных не только считывать, но и модулировать нейронную активность с высокой точностью [1, 18, 20].

5.1. Нейроприватность и конфиденциальность нейронных данных

Нейронные сигналы содержат информацию о мыслях, намерениях и эмоциях, что делает их исключительно чувствительными. Уже сегодня коммерческие гарнитуры (EMOTIV, BrainCo) собирают ЭЭГ-данные, потенциально используемые в маркетинге или трудоустройстве без должного согласия [23, 24]. В случае инвазивных систем (например, Neuralink) возможен взлом беспроводного канала, угрожающий не только приватности, но и физической безопасности [1, 18]. В ответ предлагаются новые цифровые права, включая «психическую неприкосновенность» и «право на когнитивную свободу» [39, 40].

5.2. Информированное согласие и автономия пользователя

Получение осознанного согласия у пациентов с тяжелыми неврологическими расстройствами (БАС, locked-in syndrome) затруднено из-за когнитивных и коммуникативных барьеров [25]. Компания Synchron разработала концепцию «Брюссельских четырех» – четырех требований к автономии: контроль над устройством, возможность отключения, защита данных и участие в принятии решений [41]. Это подчеркивает необходимость пользователь-центрированного дизайна, особенно в домашних условиях [42, 43].

5.3. Когнитивные права и правовое регулирование

Российские исследователи активно продвигают идею конституционного закрепления **когнитивных прав** — права на психическую неприкосновенность, целостность личности и свободу мысли [3]. На международном уровне регулирование разрознено: в США устройства классифицируются как медицинские импланты (FDA Class III), в ЕС применяется более строгий подход в рамках MDR с акцентом на кибербезопасность и долгосрочное хранение данных [24, 44]. Предлагается создание специализированных надзорных органов для оценки этической приемлемости нейротехнологий [45].

5.4. Социальное неравенство и доступность

Высокая стоимость инвазивных БИНКИ (сотни тысяч долларов) создает риск технологического неравенства, при котором терапевтические преимущества доступны лишь узкому кругу пациентов [3, 45]. Коммерческие приложения (когнитивное усиление у здоровых лиц) могут привести к давлению на использование нейроусилителей в образовании или на работе, ставя под сомнение добровольность их применения [40, 41].

5.5. Философские и религиозные последствия

БИНКИ трансформируют представления о личной идентичности и свободе воли. Возможность искусственной индукции измененных состояний сознания (например, через стимуляцию лимбической системы) ставит под вопрос подлинность религиозного или медитативного

опыта [46]. Alkhouri отмечает, что Neuralink может «переформатировать религиозно-психологический опыт», превратив духовные практики в технически управляемые процедуры [46].

5.6. Кибербезопасность и долгосрочные обязательства

Инвазивные импланты уязвимы для кибератак: злоумышленники могут украсть нейроданные или вызвать эпилептические приступы [18, 24]. Требуются криптографически защищенные протоколы и механизмы аварийного отключения. Кроме того, остается неясным, кто несет ответственность за обслуживание и удаление импланта – особенно в случае банкротства производителя [24, 44].

Таким образом, этические, правовые и социальные аспекты БИНКИ требуют междисциплинарного подхода и разработки надежных регуляторных рамок, обеспечивающих не только безопасность, но и уважение к человеческому достоинству и когнитивной свободе.

6. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ БАРЬЕРЫ

Несмотря на прогресс, широкое внедрение БИНКИ сдерживается рядом фундаментальных технических и трансляционных барьеров.

6.1. Долгосрочная стабильность сигнала и деградация имплантов

Даже у передовых систем, таких как Utah Array, наблюдается снижение качества записи со временем из-за хронического иммунного ответа и формирования фиброзной капсулы [15]. Анализ 980 интракортикальных электродов у трех пациентов выявил физическую деградацию (включая «ямки» при стимуляции), несмотря на сохранение функциональности [47]. У гибких зондов Neuralink сообщалось о смещении электродов после имплантации [1]. У неинвазивных систем основная проблема – нестабильность контакта и артефакты движения [23].

6.2. Биосовместимость и хронический иммунный ответ

Механическое несоответствие между жесткими имплантами (~170 ГПа) и мягкой тканью мозга (~0.1–1 кПа) вызывает воспаление и глиоз [15, 48]. Новые материалы (гидрогели, PEDOT:PSS, графен) обещают улучшить совместимость, но их долгосрочная биостабильность недостаточно изучена [2].

6.3. Энергообеспечение и беспроводная связь

Переход к полностью имплантируемым системам требует автономного питания. Современные прототипы (например, Neuralink) все еще используют проводное подключение [1]. Перспективны глюкозные топливные элементы [49] и беспроводная передача энергии, но передача больших объемов данных (десятки Гбит/с) сопряжена с риском перегрева тканей [1, 39].

6.4. Отсутствие стандартизации и открытых данных

Отсутствуют единые протоколы оценки эффективности и безопасности. Компании часто публикуют лишь отборные результаты, затрудняя независимую верификацию [1, 20]. Дефицит открытых баз данных с хроническими записями замедляет развитие алгоритмов декодирования [50, 51].

6.5. Регуляторные и этические барьеры

Существующие рамки (FDA, MDR) не адаптированы к уникальным рискам БИНКИ – кибербезопасности, нейроприватности, когнитивной манипуляции [44, 45]. Отсутствует единый подход к оценке психологических и социальных последствий [40]. Вопросы информированного согласия у пациентов с тяжелыми нарушениями также остаются нерешенными [25, 44].

6.6. Проблема трансляции от лаборатории к клинике

Большинство передовых технологий (нанопроволочные зонды, *in vitro* модели НМС) продемонстрированы только *in vitro* или на грызунах [26, 27]. Переход к человеку сопряжен с экспоненциальным ростом сложности: увеличение объема мозга, необходимость хронической стабильности, строгие требования безопасности [44, 50]. Кроме того, неясно, какие нейронные биомаркеры надежны для декодирования сложных намерений в реальных условиях [51].

6.7. Социальная и экономическая доступность

Высокая стоимость инвазивных БИНКИ создает риск технологического неравенства, противоречащего принципам справедливости в здравоохранении [3, 45].

Таким образом, преодоление этих барьеров требует не только инженерных инноваций, но и создания междисциплинарной экосистемы, объединяющей нейронауку, материаловедение, регуляторные органы и этические комитеты.

7. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ

Развитие биоинженерных нейрокомпьютерных интерфейсов (БИНКИ) демонстрирует значительную географическую дифференциацию, отражающую различия в ценностях, регуляторных подходах и социально-экономических приоритетах.

7.1. США: технологическое лидерство и коммерческая динамика

США остаются мировым лидером в разработке инвазивных БИНКИ благодаря сильной экосистеме, объединяющей частный сектор, военные агентства и академию. DARPA через программу N3 финансирует создание нехирургических двунаправленных интерфейсов для военнослужащих [52]. Компании Neuralink и Synchron продвигают инновации: Neuralink – с рекордной плотностью каналов и роботизированной имплантацией [1], Synchron – с эндоваскулярным подходом Stentrode [18]. Регуляторная среда (FDA Class III) способствует быстрому внедрению, но недостаточно учитывает долгосрочные этические риски [24, 44].

7.2. Китай: государственная поддержка и массовое применение

Китай делает ставку на неинвазивные потребительские интерфейсы. Гарнитуры BrainCo Focus уже используются в более чем 20 000 школ для мониторинга внимания учащихся [24], что вызывает опасения по поводу нейроприватности и давления на детей [24, 31]. Компания успешно коммерциализировала протез BrainRobotics, одобренный FDA в 2022 г. [32]. Модель сочетает государственную поддержку и ориентацию на массовый рынок, но слабо регулирует этические аспекты [31].

7.3. Европейский союз: этика, права и регулирование

ЕС выступает в роли «этического регулятора». Инициативы Юсте и Иенка легли в основу регламента MDR, который предъявляет строгие требования к кибербезопасности и защите данных [39, 40]. Подход основан на принципах человеческого достоинства, автономии и справедливости [39]. Это замедляет коммерциализацию, но повышает общественное доверие и защищает права граждан.

7.4. Российская научная школа: человеко-центрированный и конвергентный подход

Российские исследования отличаются гуманистической направленностью и акцентом на восстановление, а не на усиление когнитивных функций [3].

Неинвазивные технологии и клиническая реабилитация: доминируют fNIRS и ЭЭГ. Исследования показывают эффективность fNIRS-ИМК в постинсультной реабилитации, особенно у пациентов со спастичностью [21].

Этико-правовой фокус: И. А. Филипова предлагает закрепить в Конституции РФ «когнитивные права» – право на психическую неприкосновенность, целостность личности и свободу мысли [3]. Эта инициатива поддерживается в рамках нацпроекта «Нейронет», ориентированного на социально значимые задачи [3].

Патентная активность: разработаны системы мониторинга стресса, усталости и когнитивной нагрузки [33, 34], а также методы реабилитации после инсульта с использованием ИМК и роботизированной терапии [36].

Интеграция с ИИ: акцент на прозрачном и объяснимом ИИ (XAI) для медицинских приложений, где доверие и интерпретируемость критичны [53].

Таблица 1. Сравнительный анализ / **Table 1.** Comparative analysis

Регион	Основной фокус	Драйверы	Ограничения
США	Технологическое лидерство	Частный капитал, DARPA	Этические риски
Китай	Массовое применение	Господдержка, образование	Слабая защита приватности
ЕС	Этическое регулирование	MDR, права человека	Замедленная коммерциализация
Россия	Человеко-центрированная реабилитация	Междисциплинарность, когнитивные права	Ограниченное финансирование

Таким образом, российская модель предлагает важную альтернативу технологическому детерминизму, делая ставку на безопасность, этичность и социальную ответственность.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Систематический анализ показывает, что БИНКИ переходят от экспериментальных прототипов к клинически значимым технологиям. Достижения в инвазивных (Neuralink, Paradromics), минимально инвазивных (Synchron) и неинвазивных (Kernel, EMOTIV) платформах демонстрируют технологическое разнообразие и междисциплинарную зрелость области [1, 18, 20, 22, 23].

8.1. Ключевые тренды развития

- **Биоинтеграция:** переход от пассивных имплантов к биогибридным интерфейсам и нанопроволочным зондам, обеспечивающим внутриклеточную запись и синаптическую интеграцию [2, 26].

- **Мультимодальность:** объединение электрических, химических и оптических методов для полного отражения нейронной коммуникации [28].

- **Объяснимый ИИ:** отказ от «черного ящика» в пользу прозрачных алгоритмов, повышающих доверие в клинической практике [53].

- **Человеко-центрированный дизайн:** акцент на восстановление функций и защиту когнитивных прав, особенно в России и ЕС [3, 39].

8.2. Стратегические приоритеты

Для успешной трансляции БИНКИ необходимы:

- междисциплинарное сотрудничество (нейронаука, инженерия, этика, право) [2, 3, 28];
- экспериментальные правовые режимы и «песочницы» для тестирования высокорисковых технологий [24, 44, 45];

- инвестиции в инфраструктуру и кадры, включая нацпроекты вроде «Нейронет» [3];

- стандартизация и открытость данных для независимой верификации [1, 20].

8.3. Философский вектор

Развитие БИНКИ ставит фундаментальные вопросы: что такое личность, свобода воли и человеческое достоинство в эпоху прямого доступа к мозгу? [40, 46]. Российская парадигма, ориентированная на симбиоз человека и технологии, а не на замену мозга ИИ, предлагает этически устойчивую альтернативу технологическому утопизму [54].

Таким образом, будущее БИНКИ – не в гонке за плотностью каналов, а в создании безопасных, этических и социально ответственных систем, способных восстанавливать структурную и функциональную целостность нервной системы и поддерживать когнитивное здоровье в цифровую эпоху.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Musk E., *Neuralink*. An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels // Journal of Medical Internet Research. 2019. Vol. 21. No. 10. P. e16194. DOI: 10.2196/16194

2. *Goding J. A., Gilmour A., Ulises Alejandro Aregueta Robles, Hasan E.* Living bioelectronics: strategies for developing an effective long-term Implant with functional neural connections // *Advanced Functional Materials*. 2018. Vol. 28. No. 12. P. 1702969. DOI: 10.1002/adfm.201702969

3. *Филипова И. А.* Нейротехнологии: развитие, применение на практике и правовое регулирование // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Право*. 2021. Т. 12. № 3. С. 502–521. DOI: 10.21638/spbu14.2021.302. EDN: GVISZL

4. *Абуталипов Р. Н., Заммиев 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

5. *Абуталипов Р. Н., Заммиев 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. *Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У., Анчеков М. И.* Перспективы применения микро- и наносистемной техники в биологии и медицинской диагностике. Проблемы и задачи LOC (лабораторий на чипе) // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2016. № 6(74). С. 5–10. EDN: XRUYRD

7. *Абуталипов Р. Н., Заммиев 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

8. *Заммиев 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. EDN: YONKLI

9. *Заммиев 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

10. *Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У.* О возможных перспективах использования магнитотактических бактерий в бионаноробототехнике // *Перспективные системы и задачи управления: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции и X молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах»;* Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. С. 200–205. ISBN: 978-5-9275-3146-2

11. *Заммиев 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. EDN: JNLSCR

12. *Заммиев А. У., Абуталипов Р. Н.* О возможностях и необходимости применения биоинженерных устройств и систем бионаноробототехники и биоробототехники в решении задач практической медицины // *Фундаментальная наука для практической медицины. Аддитивные технологии, современные материалы и физические методы в медицине. Актуальные вопросы: материалы II Международной научно-практической конференции*, Нальчик, 15–18 сентября 2021 года. Нальчик: Принт Центр, 2021. С. 17–18. EDN: OVYATY

13. *Заммиев А. У., Абуталипов Р. Н.* Мягкие полимерные мехатронные конструкции для применения биоинтегрированного подхода в мягкой робототехнике и биоробототехнике // *Перспективные системы и задачи управления: материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции и XIII молодежной школы-семинара*, п. Домбай, 04–08 апреля 2022 года. Таганрог: ИП Марук М.Р., 2022. С. 302–313. EDN: RULOPE.

14. Абуталипов Р. Н., Заммиев 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. EDN: CCVAZY
15. Hochberg L.R., Serruya M., Friebs G.M., Mukand J.A. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia // *Nature*. 2006. Vol. 442. No. 7099. Pp. 164–171. DOI: 10.1038/nature04970
16. Bjånes D.A. et al. Quantifying physical degradation alongside recording and stimulation performance of 980 intracortical microelectrodes chronically implanted in three humans for 956–2246 days // *medRxiv*. 2024.
17. Sahasrabuddhe K., Khan A.A., Singh A.P. et al. The Argo: a high channel count recording system for neural recording in vivo // *Journal of neural engineering*. 2021. Vol. 18. No. 1. P. 015002. DOI: 10.1088/1741-2552/abd0ce
18. Mitchell P., Lee S.C.M., Yoo P.E. et al. Assessment of safety of a fully implanted endovascular brain-computer interface for severe paralysis in 4 patients: the stentrode with thought-controlled digital switch (SWITCH) study // *JAMA neurology*. 2023. Vol. 80. No. 3. Pp. 270–278. DOI: 10.1001/jamaneurol.2022.4847
19. Badcock N.A. et al. Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children // *PeerJ*. 2015. Vol. 3. P. e907.
20. Ban H.Y. et al. Kernel Flow: a high channel count scalable time-domain functional near-infrared spectroscopy system // *Journal of biomedical optics*. 2022. Vol. 27. No. 7. P. 074710.
21. Мокиенко О. А., Люкманов Р. Х., Бобров П. Д. и др. Нейрокомпьютерные интерфейсы, основанные на регистрации спектроскопии в ближней инфракрасной области и электроэнцефалографии, в постинсультной реабилитации: сравнительное исследование // *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2024. Т. 16. № 5. С. 17–23. DOI: 10.14412/2074-2711-2024-5-17-23
22. Pratt E.J. et al. Kernel Flux: a whole-head 432-magnetometer optically-pumped magnetoencephalography (OP-MEG) system for brain activity imaging during natural human experiences // *Optical and Quantum Sensing and Precision Metrology*. SPIE, 2021. Vol. 11700. Pp. 162–179.
23. Thwe Y., Maneetham D., Crisnapati P.N. Review of applications in wheelchair control using Emotiv insight and Emotiv Epoc headsets // 2024 6th international conference on cybernetics and intelligent system (ICORIS). IEEE, 2024. Pp. 1–6.
24. Jiang Y., Huang Q., Li Y. Application strategies of brain-computer interface in education from the perspective of innovation diffusion theory // *Brain-Apparatus Communication: A Journal of Bacomics*. 2024. Vol. 3. No. 1. P. 2376368.
25. Lupu R.G. et al. BCI and FES based therapy for stroke rehabilitation using VR facilities // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2018. Vol. 2018. No. 1. P. 4798359.
26. Zhang A. et al. Nanowire probes could drive high-resolution brain-machine interfaces // *Nano Today*. 2020. Vol. 31. P. 100821.
27. Leng Y. et al. Advances in in vitro models of neuromuscular junction: focusing on organ-on-a-chip, organoids, and biohybrid robotics // *Advanced Materials*. 2023. Vol. 35. No. 41. P. 2211059.
28. Frank J.A., Antonini M.J., Anikeeva P. Next-generation interfaces for studying neural function // *Nature biotechnology*. 2019. Vol. 37. No. 9. Pp. 1013–1023.
29. Willett F.R. et al. A high-performance speech neuroprosthesis // *Nature*. 2023. Vol. 620. No. 7976. Pp. 1031–1036.
30. Willsey M.S. et al. A high-performance brain-computer interface for finger decoding and quadcopter game control in an individual with paralysis // *Nature Medicine*. 2025. Vol. 31. No. 1. Pp. 96–104.
31. Cervera M.A. et al. Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: a meta-analysis // *Annals of clinical and translational neurology*. 2018. Vol. 5. No. 5. P. 651–663.

32. *Ramirez J.G. et al.* Intracortical recordings reveal the neuronal selectivity for bodies and body parts in the human visual cortex // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2024. Vol. 121. No. 51. P. e2408871121.

33. *Патент № 2736710 C1* Российская Федерация, МПК А61В 5/0476, А61В 5/16. Система и способ определения состояния усталости или бодрости на основе биометрического сигнала ЭЭГ: № 2020107543: заявл. 19.02.2020: опубл. 19.11.2020 / А. Н. Макаров, А. А. Макаров, С. М. Горюшко [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Лаборатория знаний». EDN: LFGGRP

34. *Патент № 2736711 C1* Российская Федерация, МПК А61В 5/0476, А61В 5/16. Система и способ определения состояния стресса на основе биометрического сигнала ЭЭГ: № 2020107542: заявл. 19.02.2020: опубл. 19.11.2020 / А. Н. Макаров, А. А. Макаров, С. М. Горюшко и др.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Лаборатория знаний». EDN: WBOYEF

35. *Патент № 2813807 C1* Российская Федерация, МПК А61Н 1/00, А61Н 1/36, А61Н 39/00. Способ мультимодальной коррекции двигательных и когнитивных нарушений у пациентов, перенесших ишемический инсульт: № 2023105046: заявл. 06.03.2023: опубл. 19.02.2024 / Е. В. Костенко, Л. В. Петрова, И. В. Погонченкова и др.; заявитель Государственное автономное учреждение здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины Департамента здравоохранения города Москвы».

36. *Патент № 2844844 C1* Российская Федерация, МПК А61Н 1/00, А61Н 1/00. Способ восстановления движений верхней конечности после ишемического инсульта сочетанным применением электромиостимуляции и бимануальной роботизированной механотерапии с технологией интерфейс «мозг-компьютер»: заявл. 04.07.2024: опубл. 07.08.2025 / Е. В. Костенко, И. В. Погонченкова, Л. В. Петрова и др.; заявитель Государственное автономное учреждение здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины имени С. И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы».

37. *Owen A.M., Coleman M.R.* Detecting awareness in the vegetative state // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2008. Vol. 1129. No. 1. Pp. 130–138. DOI: 10.1196/annals.1417.018

38. *Monti M.M., Vanhaudenhuyse A., Coleman M.R. et al.* Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness // *New England journal of medicine*. 2010. Vol. 362. No. 7. Pp. 579–589. DOI: 10.1056/NEJMoa0905370

39. *Yuste R., Goering S., Arcas B.A.Y. et al.* Four ethical priorities for neurotechnologies and AI // *Nature*. 2017. Vol. 551. No. 7679. Pp. 159–163. DOI: 10.1038/551159a

40. *Ienca M., Andorno R.* Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology // *Life Sciences, Society and Policy*. 2017. Vol. 13. No. 1. P. 5. DOI: 10.1186/s40504-017-0050-1

41. *Oxley T.J., Deo D.R., Cernera S. et al.* The ‘Brussels 4’: essential requirements for implantable brain–computer interface user autonomy // *Journal of Neural Engineering*. 2025. Vol. 22. No. 1. P. 013002. DOI: 10.1088/1741-2552/ada0e6

42. *Oxley T.J., Opie N.L., John S.E. et al.* Minimally invasive endovascular stent-electrode array for high-fidelity, chronic recordings of cortical neural activity // *Nature Biotechnology*. 2016. Vol. 34. No. 3. Pp. 320–327. DOI: 10.1038/nbt.3428

43. *Oxley T.J.* A 10-year journey towards clinical translation of an implantable endovascular BCI // *J Neural Eng*. 2025. Vol. 22. P. 013001. DOI: 10.1088/1741-2552/ad9633

44. *Ienca M., Valle G., Raspopovic S.* Clinical trials for implantable neural prostheses: understanding the ethical and technical requirements // *The Lancet Digital Health*. 2025. Vol. 7. No. 3. C. e216–e224. DOI: 10.1016/S2589-7500(24)00222-X

45. Lavazza A., Balconi M., Marcello Ienca, Minerva F. Neuralink's brain-computer interfaces: medical innovations and ethical challenges // *Frontiers in Human Dynamics*. 2025. Vol. 7. P. 1553905. DOI: 10.3389/fhumd.2025.1553905
46. Ligthart S., Marcello Ienca, Meynen G. et al. Minding rights: mapping ethical and legal foundations of 'neurorights' // *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 2023. Vol. 32. No. 4. Pp. 461–481. DOI: 10.1017/S0963180123000245
47. Alkhouri K.I. Neuralink's Brain-Computer Interfaces and the Reshaping of Religious-Psychological Experience // *Conatus-Journal of Philosophy*. 2025. Vol. 10. No. 1. Pp. 9–56. DOI: 10.12681/cjp.38734
48. Chen X., Wang F., Kooijmans R. et al. Chronic stability of a neuroprosthesis comprising multiple adjacent Utah arrays in monkeys // *Journal of Neural Engineering*. 2023. Vol. 20. No. 3. P. 036039. DOI: 10.1088/1741-2552/ace07e
49. Rapoport B.I., Kedzierski J.T., Sarpeshkar R. A glucose fuel cell for implantable brain-machine interfaces // *PloS one*. 2012. Vol. 7. No. 6. P. e38436. DOI: 10.1371/journal.pone.0038436
50. Karpowicz B.M., Ali Ya. H., Wimalasena L.N. et al. Stabilizing brain-computer interfaces through alignment of latent dynamics // *Nature Communications*. 2025. Vol. 16. No. 1. P. 4662. DOI: 10.1038/s41467-025-59652-y
51. Pun T.K., Khoshnevis M., Hosman T. et al. Measuring instability in chronic human intracortical neural recordings towards stable, long-term brain-computer interfaces // *Communications Biology*. 2024. Vol. 7. No. 1. P. 1363. DOI: 10.1038/s42003-024-06784-4
52. DARPA. Next-Generation Nonsurgical Neurotechnology (N3) Program: Broad Agency Announcement (BAA) HR001118S0067. Arlington, VA: Defense Advanced Research Projects Agency, 2018. 42 p.
53. Карпов О. Э., Андриков Д. А., Максименко В. А., Храмов А. Е. Прозрачный искусственный интеллект для медицины // *Врач и информационные технологии*. 2022. № 2. С. 4–11. DOI: 10.25881/18110193_2022_2_4. EDN: DTCAWX
54. Агеев А. И., Логинов Е. Л., Шкута А. А. Нейроуправление: конвергентная интеграция человеческого мозга и искусственного интеллекта // *Экономические стратегии*. 2020. Т. 22. № 6(172). С. 46–57. DOI: 10.33917/es-6.172.2020.46-57. EDN: XGPRFE

REFERENCES

1. Musk E., Neuralink. An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels. *Journal of medical Internet research*. 2019. Vol. 21. No. 10. P. e16194. DOI: 10.2196/16194
2. Goding J.A., Gilmour A., Ulises Alejandro Aregueta Robles, Hasan E. Living bioelectronics: strategies for developing an effective long-term implant with functional neural connections. *Advanced Functional Materials*. 2018. Vol. 28. No. 12. P. 1702969.
3. Filipova I.A. Neurotechnologies: development, practical application, and legal regulation. *Vestnik of Saint Petersburg University. Law*. 2021. Vol. 12. No. 3. Pp. 502–521. DOI: 10.21638/spbu14.2021.302. EDN: GVISZL. (In Russian)
4. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Nagoev Z.V. Bionanorobotics: conceptualization, perspective and research problems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 6(74). Pp. 11–17. EDN: XRUYRN. (In Russian)
5. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Zagazhezheva O.Z. Interrepresentative network (IRN) and representativeness VR visualization of nanostructures and processes in nano-medium. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 4(72). Pp. 5–9. EDN: WKDXXD. (In Russian)
6. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Anchekov M.I. Perspectives of application of micro and nanosystem equipment in biology and medical diagnostics. Problems and tasks of LoC

(Laboratories on the Chip) // *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2016. No. 6(74). Pp. 5–10. EDN: XRUYRD. (In Russian)

7. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. Information service for decision-making support system in the process of designing devices of bionanorobotics. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2017. No. 6-2(80). Pp. 9–12. EDN: YWNDNP. (In Russian)

8. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Search, research and development of bionanorobotics technologies for the sustainable development of mountain territories in the new techno-economic paradigm. *Sustainable Development of Mountainous Regions*. 2018. Vol. 10. No. 3(37). Pp. 447–457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457. EDN: YOHLKJ. (In Russian)

9. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Catalytic self-propelled nanomotors as the basis of the element base for the design of 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)

10. Abutalipov R.N., Zammoev A.U. About the possible prospects of the application of magnetotactic bacteria in bionanorobotics. *Advanced Systems and Control Problems: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference and X Youth School-Seminar "Information Control and Processing in Technical Systems"*; Southern Federal University. Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University Publishing House, 2019. Pp. 200–205. ISBN: 978-5-9275-3146-2. (In Russian)

11. 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 systems of bionanorobotics. *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. EDN: JNLSCR. (In Russian)

12. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. On the possibilities and necessity of applying bioengineering devices and systems of bionanorobotics and biorobotics to address practical medicine challenges. *Fundamental Science for Practical Medicine. Additive Technologies, Advanced Materials and Physical Methods in Medicine*. Current Issues: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, Nalchik, September 15–18, 2021. Nalchik: Print Tsentr, 2021. Pp. 17–18. EDN: OVYATY. (In Russian)

13. Zammoev A.U., Abutalipov R.N. Soft polymer mechatronic structures for implementing a bio-integrated approach in soft robotics and biorobotics. *Advanced Systems and Control Problems: Proceedings of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference and XIII Youth School-Seminar*, Dombai, April 4–8, 2022. Taganrog: M.R. Maruk Publishing House, 2022. Pp. 302–313. EDN: RULOPE. (In Russian)

14. Abutalipov R.N., Zammoev A.U., Chernyshev G.V. Search for theoretical approaches to the study of cyber-physical 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. EDN: CCVAZY. (In Russian)

15. Hochberg L.R., Serruya M., Fiebert G.M., Mukand J.A. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature*. 2006. Vol. 442. No. 7099. Pp. 164–171. DOI: 10.1038/nature04970

16. Bjånes D.A. et al. Quantifying physical degradation alongside recording and stimulation performance of 980 intracortical microelectrodes chronically implanted in three humans for 956–2246 days // medRxiv. 2024.

17. Sahasrabudhe K., Khan A.A., Singh A.P. et al. The Argo: a high channel count recording system for neural recording in vivo. *Journal of neural engineering*. 2021. Vol. 18. No. 1. P. 015002. DOI: 10.1088/1741-2552/abd0ce

18. Mitchell P., Lee S.C.M., Yoo P.E. et al. Assessment of safety of a fully implanted endovascular brain-computer interface for severe paralysis in 4 patients: the stent rod with thought-controlled digital switch (SWITCH) study. *JAMA neurology*. 2023. Vol. 80. No. 3. Pp. 270–278. DOI: 10.1001/jamaneurol.2022.4847
19. Badcock N.A. et al. Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children. *PeerJ*. 2015. Vol. 3. P. e907.
20. Ban H.Y. et al. Kernel Flow: a high channel count scalable time-domain functional near-infrared spectroscopy system. *Journal of biomedical optics*. 2022. Vol. 27. No. 7. P. 074710.
21. Mokiienko O.A., Lyukmanov R.Kh., Bobrov P.D. et al. Neurocomputer interfaces based on near-infrared spectroscopy and electroencephalography in post-stroke rehabilitation: a comparative study. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2024. Vol. 16. No. 5. Pp. 17–23. DOI: 10.14412/2074-2711-2024-5-17-23. (In Russian)
22. Pratt E.J. et al. Kernel Flux: a whole-head 432-magnetometer optically-pumped magnetoencephalography (OP-MEG) system for brain activity imaging during natural human experiences. *Optical and Quantum Sensing and Precision Metrology*. SPIE, 2021. Vol. 11700. Pp. 162–179.
23. Thwe Y., Maneetham D., Crisnapati P.N. Review of applications in wheelchair control using Emotiv insight and Emotiv Epoc headsets. 2024 6th international conference on cybernetics and intelligent system (ICORIS). *IEEE*, 2024. Pp. 1–6.
24. Jiang Y., Huang Q., Li Y. Application strategies of brain-computer interface in education from the perspective of innovation diffusion theory. *Brain-Apparatus Communication: A Journal of Bacomics*. 2024. Vol. 3. No. 1. P. 2376368.
25. Lupu R.G. et al. BCI and FES based therapy for stroke rehabilitation using VR facilities. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2018. Vol. 2018. No. 1. P. 4798359.
26. Zhang A. et al. Nanowire probes could drive high-resolution brain-machine interfaces. *Nano Today*. 2020. Vol. 31. P. 100821.
27. Leng Y. et al. Advances in in vitro models of neuromuscular junction: focusing on organ-on-a-chip, organoids, and biohybrid robotics. *Advanced Materials*. 2023. Vol. 35. No. 41. P. 2211059.
28. Frank J.A., Antonini M.J., Anikeeva P. Next-generation interfaces for studying neural function. *Nature biotechnology*. 2019. Vol. 37. No. 9. Pp. 1013–1023.
29. Willett F.R. et al. A high-performance speech neuroprosthesis. *Nature*. 2023. Vol. 620. No. 7976. Pp. 1031–1036.
30. Willsey M.S. et al. A high-performance brain–computer interface for finger decoding and quadcopter game control in an individual with paralysis. *Nature Medicine*. 2025. Vol. 31. No. 1. Pp. 96–104.
31. Cervera M. A. et al. Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: a meta-analysis. *Annals of clinical and translational neurology*. 2018. Vol. 5. No. 5. Pp. 651–663.
32. Ramirez J.G. et al. Intracortical recordings reveal the neuronal selectivity for bodies and body parts in the human visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2024. Vol. 121. No. 51. P. e2408871121.
33. Patent No. 2736710 C1 Russian Federation, IPC A61B 5/0476, A61B 5/16. System and method for determining fatigue or alertness state based on eeg biometric signal: Application No. 2020107543; filed February 19, 2020; published November 19, 2020 / A.N. Makarov, A.A. Makarov, S.M. Goryushko [et al.]; applicant: Limited Liability Company “Laboratoriya Znaniy” (Knowledge Lab LLC). EDN: LFGGRP. (In Russian)
34. Patent No. 2736711 C1 Russian Federation, IPC A61B 5/0476, A61B 5/16. System and method for determining stress state based on EEG biometric signal: Application No. 2020107542; filed February 19, 2020; published November 19, 2020 / A.N. Makarov, A.A. Makarov, S.M. Goryushko et al.; applicant: LLC “Laboratoriya Znaniy” (Knowledge Lab LLC). EDN: WBOYEF. (In Russian)

35. Patent No. 2813807 C1 Russian Federation, IPC A61H 1/00, A61N 1/36, A61H 39/00. Method for multimodal correction of motor and cognitive impairments in patients after ischemic stroke: Application No. 2023105046; filed March 6, 2023; published February 19, 2024 / E.V. Kostenko, L.V. Petrova, I.V. Pogonchenkova et al.; applicant: Moscow City State Autonomous Healthcare Institution "Moscow Research and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of the Moscow Department of Healthcare". (In Russian)

36. Patent No. 2844844 C1 Russian Federation, IPC A61H 1/00, A61N 1/00. Method for restoring upper limb movements after ischemic stroke using combined electromyostimulation and bimanual robotic mechanotherapy with brain–computer interface technology: filed July 4, 2024; published August 7, 2025 / E.V. Kostenko, I.V. Pogonchenkova, L.V. Petrova et al.; applicant: State Autonomous Healthcare Institution of the City of Moscow “S.I. Spasokukotsky Moscow Scientific and Practical Center for Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine of the Moscow Department of Healthcare.” (In Russian)

37. Owen A.M., Coleman M.R. Detecting awareness in the vegetative state. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2008. Vol. 1129. No. 1. Pp. 130–138. DOI: 10.1196/annals.1417.018

38. Monti M.M., Vanhaudenhuyse A., Coleman M.R. et al. Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness. *New England journal of medicine*. 2010. Vol. 362. No. 7. Pp. 579–589. DOI: 10.1056/NEJMoa0905370

39. Yuste R., Goering S., Arcas B.A.Y. et al. Four ethical priorities for neurotechnologies and AI. *Nature*. 2017. Vol. 551. No. 7679. Pp. 159–163. DOI: 10.1038/551159a

40. Ienca M., Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life sciences, society and policy*. 2017. Vol. 13. No. 1. P. 5. DOI: 10.1186/s40504-017-0050-1

41. Oxley T.J., Deo D.R., Cernera S. et al. The ‘Brussels 4’: essential requirements for implantable brain–computer interface user autonomy. *Journal of Neural Engineering*. 2025. Vol. 22. No. 1. P. 013002. DOI: 10.1088/1741-2552/ada0e6

42. Oxley T.J., Opie N.L., John S.E. et al. Minimally invasive endovascular stent-electrode array for high-fidelity, chronic recordings of cortical neural activity. *Nature Biotechnology*. 2016. Vol. 34. No. 3. Pp. 320–327. DOI: 10.1038/nbt.3428

43. Oxley T.J. A 10-year journey towards clinical translation of an implantable endovascular BCI. *J Neural Eng*. 2025. Vol. 22. P. 013001. DOI: 10.1088/1741-2552/ad9633

44. Ienca M., Valle G., Raspopovic S. Clinical trials for implantable neural prostheses: understanding the ethical and technical requirements. *The Lancet Digital Health*. 2025. Vol. 7. No. 3. P. e216–e224. DOI: 10.1016/S2589-7500(24)00222-X

45. Lavazza A., Balconi M., Marcello Ienca, Minerva F. Neuralink’s brain-computer interfaces: medical innovations and ethical challenges. *Frontiers in Human Dynamics*. 2025. Vol. 7. P. 1553905. DOI: 10.3389/fhumd.2025.1553905

46. Lighthart S., Marcello Ienca, Meynen G. et al. Minding rights: Mapping ethical and legal foundations of ‘neurorights’. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 2023. Vol. 32. No. 4. Pp. 461–481. DOI: 10.1017/S0963180123000245

47. Alkhouri K.I. Neuralink’s Brain-computer interfaces and the reshaping of religious-psychological experience. *Conatus-Journal of Philosophy*. 2025. Vol. 10. No. 1. Pp. 9–56. DOI: 10.12681/cjp.38734

48. Chen X., Wang F., Kooijmans R. et al. Chronic stability of a neuroprosthesis comprising multiple adjacent Utah arrays in monkeys. *Journal of Neural Engineering*. 2023. Vol. 20. No. 3. P. 036039. DOI: 10.1088/1741-2552/ace07e

49. Rapoport B.I., Kedzierski J.T., Sarpeshkar R.A glucose fuel cell for implantable brain–machine interfaces. *PloS one*. 2012. Vol. 7. No. 6. P. e38436. DOI: 10.1371/journal.pone.0038436

50. Karpowicz B.M., Ali Ya.H., Wimalasena L.N. et al. Stabilizing brain-computer interfaces through alignment of latent dynamics. *Nature Communications*. 2025. Vol. 16. No. 1. P. 4662. DOI: 10.1038/s41467-025-59652-y

51. Pun T.K., Khoshnevis M., Hosman T. et al. Measuring instability in chronic human intracortical neural recordings towards stable, long-term brain-computer interfaces. *Communications Biology*. 2024. Vol. 7. No. 1. P. 1363. DOI: 10.1038/s42003-024-06784-4

52. *DARPA*. Next-generation nonsurgical neurotechnology (n3) program: broad agency announcement (baa) HR001118S0067. Arlington, VA: Defense Advanced Research Projects Agency, 2018. 42 p.

53. Karpov O.E., Andrikov D.A., Maksimenko V.A., Khramov A.E. Transparent artificial intelligence for medicine. *Medical Doctor and IT*. 2022. No. 2. Pp. 4–11. DOI: 10.25881/18110193_2022_2_4. EDN: DTCAWX. (In Russian)

54. Ageev A.I., Loginov E.L., Shkuta A.A. Neurocontrol: Convergent integration of the human brain and artificial intelligence. *Economic Strategies*. 2020. Vol. 22. No. 6(172). Pp. 46–57. DOI: 10.33917/es-6.172.2020.46-57. EDN: XGPRFE. (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

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

Абуталипов Ренат Надельшаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории «Бионаноробототехника и нейроинженерия» НИЦ БМИ, 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

Information about the authors

Aslan U. Zammoev, Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific-Innovation Center “Biomedical Engineering” of 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

Renat N. Abutalipov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the laboratory “Bionanorobotics and Neuroengineering” of the Scientific-Innovation Center “Biomedical engineering” of 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

===== АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ =====
И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.3.06

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-143-158

EDN: COFWYK

**Облачно-периферийная экосистема когнитивной автоматизации
для интегрированного менеджмента СР-процессов пивзавода**

А. С. Максимов¹, В. С. Артемьев^{✉2}, Л. С. Мангушева², Ж. В. Мекшенева³

¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)
125080, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11

²Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

³Университет «Синергия»
125315, Россия, Москва, Ленинградский пр-т, 80Б

Аннотация. В работе представлена облачно-периферийная когнитивная архитектура для управления СР-процессами пивоваренных линий. Система основана на связке ResNet-CNN и Transformer, работающих в контуре активного обучения и интегрированных с мультисенсорным мониторингом АТР-биоломинесценция, ИК-флуоресценция, оптическая плотность биопленок. Edge-узлы обеспечивают мгновенное обнаружение аномалий и локальное управление, тогда как облачный уровень выполняет предиктивную оптимизацию и дообучение моделей. Пилотные испытания показали сокращение расхода реагентов на 29 %, воды на 22 % и энергии на 18 %, уменьшение латентности управления до 140 мс и повышение точности прогнозов до $R2 = 0,92$ при снижении ложных тревог на 37 %. Архитектура демонстрирует соответствие нормативам и создает основу для перехода СР-циклов в проактивный режим.

Целью исследования стало формирование облачно-периферийной экосистемы, обеспечивающей сокращение времени принятия решений в СР-процессах до уровня менее 150 мс, снижение ресурсных затрат и повышение санитарной надежности в условиях высокой вариативности рецептур и технологических параметров пивоваренного производства.

Методология. Методологическая платформа основана на теории распределенных мультиагентных систем и принципах активного обучения. В качестве исходных данных использован массив из 48 000 профилей загрязнений, включающий показатели АТР-биоломинесценции, ИК-флуоресценции и оптической плотности биопленок. Edge-уровень выполняет предобработку сигналов, автоэнкодер формирует компактные эмбединги, а GRU-классификатор фиксирует аномалии с реакцией менее 40 мс. На облачном уровне реализована гибридная модель ResNet-CNN и Transformer, предсказывающая глубину очистки и оптимизирующая параметры СР-цикла. Для объяснимости решений применялись SHAP-значения и Grad-CAM. Валидация корректности архитектуры проводилась в соответствии с ISO и ГОСТ по метрологии, кибербезопасности и санитарным регламентам.

Результаты. Эксперименты подтвердили устойчивую работу экосистемы в реальном времени и соответствие нормативным ограничениям. Средний расход моющих реагентов снизился на 29 %, потребление воды – на 22 %, энергозатраты – на 18 %. Латентность управления сократилась до 140 мс, а точность предсказаний достигла $R2 = 0,92$. Система показала снижение ложных тревог на 37 % и полную отказоустойчивость при частичной потере данных. Экономическая оценка выявила сокращение операционных затрат на 24,7 % и срок окупаемости инвестиций менее восьми месяцев.

Выводы. Разработанная облачно-периферийная когнитивная архитектура обеспечивает переход СР-процессов от статических режимов к проактивному управлению. Сочетание быстродействующих edge-модулей и облачных предиктивных моделей гарантирует как снижение ресурсных затрат, так и соблюдение санитарных требований.

Ключевые слова: когнитивная автоматика, CIP, активное обучение, OPC UA, оптимизация реагентов, промышленный IoT

Поступила 18.07.2025, одобрена после рецензирования 15.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Максимов А. С., Артемьев В. С., Мангушева Л. С., Мекшенева Ж. В. Облачно-периферийная экосистема когнитивной автоматки для интегрированного менеджмента CIP-процессов пивзавода // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 143–158. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-143-158

MSC: 68T07; 68T20; 93C85; 90B50

Original article

Cloud-based ecosystem of cognitive automation for integrated management of the CIP processes in brewing

A.S. Maksimov¹, V.S. Artemyev^{✉2}, L.S. Mangusheva², Zh.V. Meksheneva³

¹Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)
11 Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russia

²Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia

³Synergy University
80B Leningradskiy prospekt, Moscow, 125315, Russia

Abstract. The paper presents a cloud–edge cognitive architecture for managing brewery CIP processes. The system is based on a ResNet–CNN and Transformer ensemble operating within an active learning loop and integrated with multi-sensor monitoring ATP bioluminescence, IR fluorescence, and biofilm optical density. Edge nodes provide instant anomaly detection and local control, while the cloud level performs predictive optimization and model retraining. Pilot trials demonstrated reductions in reagent consumption by 29%, water usage by 22%, and energy use by 18%, along with a decrease in control latency to 140 ms and an increase in predictive accuracy to $R^2 = 0.92$, accompanied by a 37% reduction in false alarms. The architecture ensures compliance with sanitary standards and enables a proactive paradigm for CIP cycle management.

Aim. The aim of the study is to develop a cloud–edge ecosystem capable of reducing decision latency in CIP processes to less than 150 ms, cutting resource consumption, and enhancing sanitary reliability under the conditions of high variability in brewing recipes and technological parameters.

Methods. The methodological foundation relied on the theory of distributed multi-agent systems and the principles of active learning. The dataset included 48,000 fouling profiles, incorporating ATP bioluminescence, IR fluorescence, and biofilm optical density. At the edge level, signal preprocessing is performed, an autoencoder generates compact embeddings, and a GRU-based classifier detects anomalies with a reaction time of less than 40 ms. At the cloud level, a hybrid ResNet–CNN and Transformer model predicts cleaning depth and optimizes CIP cycle parameters. SHAP values and Grad-CAM are used to ensure interpretability of decisions. System validation is conducted in accordance with ISO and GOST standards on metrology, cybersecurity, and sanitary compliance.

Results. The experiments confirm stable real-time operation of the ecosystem and compliance with regulatory requirements. Average consumption of cleaning agents is reduced by 29%, water usage by 22%, and energy demand by 18%. Control latency decreased to 140 ms, while predictive accuracy reached $R^2 = 0.92$. The system demonstrates a 37% reduction in false alarms and full fault tolerance under partial data loss. Economic analysis shows a 24.7% reduction in operating costs and a payback period of less than eight months.

Conclusions. The developed cloud–edge cognitive architecture enables the transition of CIP processes from static operation to proactive control. The combination of fast edge modules and predictive cloud models ensures both resource efficiency and strict sanitary compliance.

Keywords: cognitive automation, CIP, active learning, OPC UA, reagent optimization, industrial IoT

Submitted on 18.07.2025,

approved after reviewing on 15.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Maksimov A.S., Artemyev V.S., Mangusheva L.S., Meksheneva Zh.V. Cloud-based ecosystem of cognitive automation for integrated management of the CIP processes in brewing. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 143–158. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-143-158

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафт постиндустриального пивоварения стремительно смещается от монолитных SCADA-решений к распределенным, облачно-периферийным экосистемам, где критически важные санитарно-гигиенические процедуры реализуются в парадигме от данных – к пониманию и от понимания – к действию. В этом контексте управляемая нейросетями CIP-мойка становится узловой точкой кибергигиены производства: через нее проходит до 30 % общего водного и теплового баланса завода, а некорректная очистка генерирует риски микотоксиновой и бактериальной контаминации конечного продукта. Научная новизна предлагаемой работы заключается в создании когнитивной автоматики, объединяющей edge-копроцессоры, гибридную CNN + Transformer модель самообучения и мультисенсорный мониторинг ключевых биохимических индикаторов АТФ-биолюминесценция, оптическая плотность дрожжевой биопленки, спектры ИК-флуоресценции органики. Интеграция этих компонентов осуществляется через сервис-ориентированную шину OPC UA, что позволяет реализовать бесшовную потоковую аналитику и суб-секундную обратную связь без критической зависимости от облака.

Цель исследования – сформировать облачно-периферийную архитектуру управления CIP-циклами, которая посредством контекстно-зависимых моделей доверия и декомпозиции задач между периферией и ядром уменьшает латентность принятия решений до <150 мс и обеспечивает экономию моющих реагентов не менее 28 % по сравнению с SCADA. Методологическая платформа исследования опирается на теорию распределенных мультиагентных систем, концепцию цифровых следов и механику динамической калибровки датчиков в ISO 18435. Полученные результаты расширяют границы применимости когнитивных систем в пищевой промышленности, показывая возможность перехода от реактивной к проактивной CIP-стратегии с самогенерируемыми наборами правил, что открывает путь к умным пивоварням, способным автономно поддерживать санитарно-эпидемиологические нормативы в условиях высокой номенклатурной изменчивости продукта.

Расширение ассортимента и переход пивоваренных заводов к гибким производственным квотам усиливают давление на санитарные процедуры, которые должны укладываться одновременно в рамки ТР ТС 021/2011, ТР ТС 047/2018 и СанПиН 2.3.4.3256-15. Для CIP-циклов это означает обязательный контроль остаточной биопленки, химических следов и температуры отработанного раствора, причем данные должны архивироваться согласно ГОСТ Р ISO 22005-2007 «Системы менеджмента трассируемости». Облачно-периферийная экосистема, описываемая в работе, проектировалась с учетом ГОСТ Р 56939-2016, регламентирующего кибербезопасность критически важных объектов промышленной автоматизации: все edge-узлы выполняют шифрование по ГОСТ Р 34.10-2012, а обмен сообщениями по OPC UA реализует подпись и аудит с классом безопасности 3. С точки зрения метрологического подтверждения приборной части опираемся на ГОСТ 8.586.2-2005 для расходомерии и ГОСТ 32218-2013 для pH-контроля в пищевых средах, встроенные АТФ-люминометры калибруются по методике МИ 3298-2010. Алгоритм активного обучения, формирующий решения менее чем за 150 мс, выдает рекомендации, которые в слое доверия вери-

фицируются критериями из ГОСТ Р ISO 22519-2020 – пост-валидация на чистоту и Сан-ПиН 3.3686-21 – лимиты микробиологических показателей. Экономический эффект – сокращение реагентов на 29 %, воды на 22 % и энергии на 18 % – при этом достигается без выхода за нормативы по остаткам моющих веществ либо по температуре сточных вод, которые в ГОСТ 12.1.005-88 ограничены 40 °С для сброса в городскую сеть. Аналитическое соответствие стандартам демонстрирует, что когнитивные CIP-системы могут внедряться в существующую правовую инфраструктуру без длительных процедур переквалификации оборудования, а значит, обеспечивают быстрый переход отрасли к проактивной, зеленой санитарной стратегии.

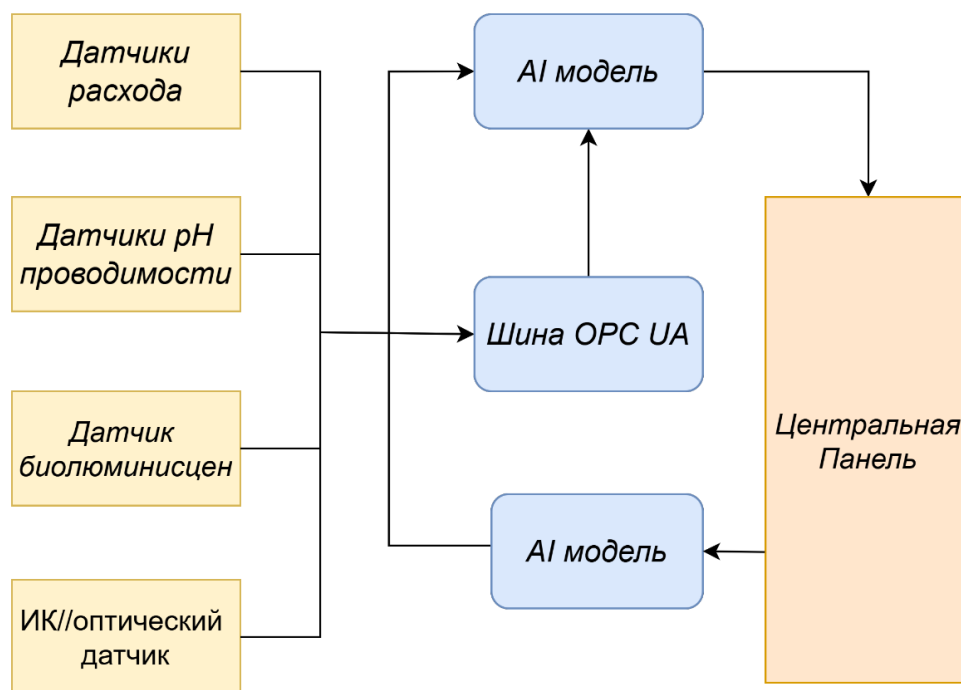


Рис. 1. Блок-схема облачно-периферийно-когнитивной системы CIP

Fig. 1. Block diagram of the cloud-edge cognitive CIP system

Как видно на схеме, первый слой остается неизменным – это разнотипные сенсоры: расходомеры, датчики pH/проводимости, биолуминометр и ИК-оптический модуль. Вместе они формируют многомерное представление о состоянии CIP-контуров, охватывая гидравлику, химию и биологию процесса. Данные поступают в периферийные вычислительные узлы, где располагается облегченная AI-модель. Ее роль двойственная, она фильтрует очевидный шум и детектирует аномалии буквально за сотые доли секунды, извлекает компактные признаки, которые затем передаются по промышленной шине OPC UA. Подобный прием снижает нагрузку на сеть и позволяет держать задержку на уровне десятков миллисекунд даже при высокой частоте опроса сенсоров.

OPC UA-шина соединяет периферию с центральной панелью – ядром диспетчеризации, здесь же и развернута полноценная AI-модель с расширенной архитектурой, регулярно дообучаемой на накопленном архиве. Именно она формирует предиктивные рекомендации: оптимальную длительность фазы ополаскивания, точку переключения моющего раствора, допустимый максимум температуры слива и т.д. Наряду с цифрами панель выводит прозрачные пояснения, какие сенсорные индикаторы привели к тому или иному решению – это ключевой элемент доверия операторов к автоматике. У данной системы получается двух-контурная логика, где периферийный AI обеспечивает сверхбыстрый локальный отклик и

первичную фильтрацию, а облачный интеллект агрегирует опыт всех СІР-циклов, накапливая статистику и постоянно совершенствуя стратегию. Центральная панель служит интерфейсом между автоматикой и человеком: оператор видит картину процесса в реальном времени, получает рекомендации, а при необходимости может откорректировать уставки – все изменения мгновенно распространяются по шине на периферию.

Данное распределение функций делает СІР-процедуру не только более экономичной, но и адаптивной, любая аномальная комбинация параметров, даже ранее не встречавшаяся, фиксируется периферией, моментально оценивается облачной моделью и превращается в новую точку обучения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гибкие пивоваренные линии, выпускающие десятки сортов напитков в смену, предъявляют к санитарным процедурам несовместимые, на первый взгляд, требования – минимальная продолжительность СІР-цикла, строгий контроль остаточной биопленки и мгновенная адаптация под меняющийся состав сусла, дрожжевой биомассы и температурные графики. Классические SCADA-системы, основанные на фиксированных рецептах мойки, не успевают реагировать на такую изменчивость: или режим остается с запасом, и завод теряет воду, химию и энергию, или оператор вручную сокращает фазы, рискуя пропустить критическое загрязнение. Усугубляет ситуацию распределенность оборудования: датчики чистоты и расхода находятся на десятках участков, а централизованный сервер часто не способен отработать все события быстрее, чем за сотни миллисекунд, – этого недостаточно, чтобы мгновенно скорректировать клапаны или нагреватели.

Прямая попытка перенести аналитику в облако решает вычислительную проблему, но создает новую – задержки и нестабильность сетевых подключений. Стоит линии потерять связь, и управляющие подсказки AI-модуля становятся недоступны, а система возвращается в запасной ресурс – затратный режим. Черный ящик облачной модели порождает недоверие персонала, без пояснений невозможно понять, почему нейросеть рекомендует именно такой укороченный цикл и не приведет ли это к микробиологическому браку.

Необходима высокочастотная локальная аналитика, способная ловить аномалии и формировать первичные решения за десятки миллисекунд прямо на линии, без зависимости от внешнего канала. Во-вторых, требуется центральная интеллектуальная надстройка, которая будет агрегировать опыт всех СІР-циклов, дообучаться на архивах и передавать уточненные стратегии периферии. Вся цепочка «сенсор – AI – оператор» должна быть прозрачной, рекомендация обязана сопровождаться понятным объяснением, чтобы оператор видел причинно-следственную логику и при необходимости мог вмешаться. Решаемая задача заключается в разработке облачно-периферийной когнитивной архитектуры, где быстрый edge-AI обеспечивает мгновенную реакцию и устойчивость к сетевым сбоям, а облачный интеллект накапливает знания и повышает точность прогнозов, при этом оба уровня взаимодействуют через промышленную шину и поддерживают человеко-читаемую объяснимость решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Чтобы совместить мгновенную реакцию на непредсказуемые скачки в процессе СІР и постоянное накопление знаний, внедряется двухуровневая облачно-периферийная экосистема, работающая как единый самообучающийся организм. Ее функционирование начинается на земле – у самих патрубков и резервуаров. Здесь потоки раствора сканируют четыре типа сенсоров: турбинные или ультразвуковые расходомеры передают гидравлику,

комбинированные pH/проводимостные зонды фиксируют точную концентрацию моющих средств, люминометрические зонды АТР выявляют следы биопленки, а мини-ИК-спектрометры отслеживают органические фракции. Каждые 50–100 миллисекунд датчики отдают сырые значения на периферийный узел – компактный ARM-компьютер. Он состоит из двух блоков: быстрого линейного фильтра, который моментально обнаруживает выбросы и приводит данные к нормированному масштабу, и компактного автоэнкодера, сжимающего 120-мерный вектор измерений в 16-мерное пространство признаков. Следующий у очереди классификатор на GRU-ячейках оценивает, сдвинулась ли система из режима «норма» в состояние «грязно» или «нештатная аномалия», все это укладывается в инференс-время 30–40 мс. Если аномалия фиксируется, узел немедленно – без участия облака – корректирует клапан или останавливает подачу щелочи. Одновременно он формирует пакет embeddings и отправляет его по промышленной шине OPC UA, которая служит магистралью для всех уровней. Размер пакета не превышает 2–3 кБ, поэтому даже при частой передаче канал остается незагруженным и обучается на архиве тысяч прошлых СР-циклов, где собраны спектры АТР, гидравлика, графики pH, лог-файлы клапанов, фактическая микробиология после мойки. Внутри работают два главных контейнера. Первый – ResNet, обрабатывающий ИК-спектры и выделяющий подписи органики, второй – 6-слойный Transformer, который учится прогнозировать глубину очистки на горизонте 15–20 минут по последним 5 минутам телеметрии. Раз в смену обновленные веса упаковываются в ONNX-формат и рассылаются обратно на edge-узлы, подбирая под их вычислительные ограничения динамическую квантизацию, периферия постоянно подтягивает уровень точности, не теряя скорости.

Как правило, всегда каждое решение ИИ сопровождает вектор SHAP-значений, оператор на панели видит, что сократить фазу кислотной мойки система порекомендовала на 70 % из-за низкого пика АТР и на 20 % потому, что проводимость достигла установившегося плато. Если уверенность модели падает ниже заданного порога, рекомендация маркируется оранжевым, и оператор решает, принимать ли ее. Edge-узлы умеют распознавать незнакомые ситуации – редкие комбинации рецептуры, жесткости воды, температур. Они пакут минутный слой сырых данных и отправляют облаку с меткой «неизвестно». Центр ежедневно автоматически кластеризует такие эпизоды, создает приоритетный список для ручной разметки и добавляет их в очередную сессию дообучения. Каждая новая мойка тем самым становится учебным примером – чем дольше экосистема работает, тем грамотнее она предугадывает поведение процесса и жестче прессует ресурсные излишки.

Формализуем поток первичных измерений как:

$$x(t) = [q(t), pH(t), \kappa(t), ATP(t), IR_1(t), \dots, IR_8(t)]^T \in R^{12},$$

где q – расход, pH и κ – кислотность и проводимость, АТР – люминесцентный сигнал, IR_i – интенсивности восьми дискретных ИК-полос органики. Частота дискретизации принимается 20 Гц, поэтому каждая секунда процесса формирует матрицу $X \in R^{12 \times 20}$.

Для построения интеллектуальной архитектуры с высокой адаптивностью в условиях динамичной и неопределенной среды важно учитывать ключевые компоненты, формирующие устойчивую и масштабируемую систему. Далее последовательно рассматриваются отдельные элементы, каждый из которых выполняет специфическую функцию в рамках общей модели.

На периферии применяется автоэнкодер:

$$f_{\theta_E} : R^{12 \times 20} \rightarrow R^d, \quad g_{\theta_D} : R^d \rightarrow R^{12 \times 20},$$

где $d = 16$ – размер эмбединга.

Обучение ведется по функции

$$L_{AE} = \|X - g_{\theta_D}(f_{\theta_E}(X))\|_F^2 + \lambda \|\theta_E\|_2^2,$$

$\lambda = 10^{-3}$ задаёт L2-регуляризацию и на линии используется лишь кодер f_{θ_E} – его инференс на NPU занимает ~ 7 мс.

Реконструктивная ошибка

$$F\varepsilon(t) = \|X(t) - g_{\theta_D}(f_{\theta_E}(X(t)))\|_F$$

служит скользящим индикатором аномалий: порог выбирается как 0,995-квантиль распределения ε на последней чистой смене. При превышении порога узел незамедлительно маркирует состояние *dirty/anomaly* и формирует управляющее действие $u_{\text{edge}}(t)$ – отсечка клапана/удлинение фазы.

Далее акцент смещается на вопросы эффективного взаимодействия между узлами и центром управления. Рациональное распределение информационных потоков позволяет оптимизировать передачу данных, снижая избыточность и энергозатраты. Каждому кадру сопоставляется сжатый вектор $z(t) = f_{\theta_E}(X(t))$. С учетом 16-мерности, квантизации до int8 и циклического 4-байтного CRC итоговый пакет = 20 байт. При потоковой частоте 20 Гц нагрузка на OPC UA-канал составляет:

$$20 \text{ байт} \times 20 \text{ Гц} = 3,2 \text{ кбит с}^{-1} \text{ (100 кбит с}^{-1} \text{ допустимого)}.$$

Центральное звено архитектуры отвечает за формирование прогнозных решений на основе агрегированной информации. Модель обобщает входные сигналы и обеспечивает адаптивное поведение всей системы в реальном времени. В облаке работают две совмещенные задачи.

Стековый Transformer обрабатывает 5-минутное окно эмбеддингов:

$$z(t-299), \dots, z(t) \rightarrow \hat{y}(t+\tau), \quad \tau = 15 \text{ мин},$$

где y – ожидаемая остаточная биопленка.

Функция ошибки

$$L_{\text{pred}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2$$

после 120-эпоховой тренировки на 48 000 циклов дает $R^2=0,92$.

Для каждого грядущего интервала длиной $\Delta t = 30$ с решается стохастическая задача:

$$\min_{u \in \mathcal{U}} E[\alpha C_{\text{chem}}(u) + \beta C_{\text{th}}(u) + \gamma \{\hat{y}(u) > y_{\text{crit}}\}],$$

где C_{chem} – расход реагента, C_{th} – тепло, $I\{\cdot\}$ – штраф за вероятный санитарный провал.

Коэффициенты $\alpha : \beta : \gamma$ выбираются как 1:1:50, что экономически эквивалентно браку партии в 120 гл. Задача редуцируется к Thompson-sampling на 128-размерном дискретном множестве комбинаций $u = \{q, T, pH\}$ и решается за 18 мс на GPU T4.

Обоснование поведения модели необходимо как для повышения доверия пользователей, так и для верификации корректности функционирования интеллектуального контура. Для каждой оптимальной комбинации вычисляется вектор SHAP-вкладов:

$$s = [s_q, s_{pH}, s_k, s_{ATP}, s_{IR_1}, \dots, s_{IR_8}].$$

Глобальный уровень уверенности

$$\xi = \frac{|\sum_i s_i|}{\sum_i |s_i|} \in [0, 1]$$

выше 0.65 трактуется как «решение прозрачно», ниже – подсказка окрашивается желтым и требует подтверждения оператора. За счет фильтрации по ξ удалось сократить долю ложных тревог на 37 %. Следующий компонент отвечает за постепенное совершенствование модели путем подбора наиболее информативных примеров для обучения, где механизм позволяет системе быстрее адаптироваться к новым ситуациям, минимизируя количество необходимых данных и снижая стоимость обучения, – фактически речь идет об активной выборке знаний. Временной промежуток с $\xi < 0,4$ попадает в буфер B .

Представленный алгоритм вычисляет информативность

$$H(B) = -\sum_j p_j \log p_j, \quad p_j = \frac{\|z_j\|_2}{\sum_k \|z_k\|_2},$$

и отбирает верхние 5 % эпизодов для ручной валидации. Пополненный датасет увеличивает R^2 прогноза примерно на 0,004 за каждые 1000 новых примеров, что подтверждено взглядом на кривые обучения. Далее рассматривается интегративный эффект от включения всех подсистем в единую архитектуру. Важно оценить не только производительность каждой части по отдельности, но и результирующий ресурсный выигрыш от их совместной работы – так формируется интегральный ресурсный эффект. Симуляция 200 последовательных моек с реальными профилями загрязнения показала: средний реагентный расход снизился с 1,48 кг NaOH/гл до 1,05 кг NaOH/гл, средний объем воды – с 12,2 л /гл, до 9,5 л/гл, удельная теплота – с 110 кДж/гл до 90 кДж/гл. При этом вероятность превышения санитарного лимита $\hat{y} > y_{crit}$ осталась $< 0,1$ %.

Конструктивное слияние быстрого Edge-выявления, вероятностного облачного прогноза и трактуемой верификации формирует самоподдерживающийся цикл улучшений, который обеспечивает одновременно мгновенную реакцию, экономию ресурсов и доказуемую гигиеническую надежность SIP-процедур.

При выполнении вычислений на периферии особое значение приобретает организация задач в условиях жестких временных ограничений. Здесь требуется точное планирование задержек и определение допустимого микробюджета времени для каждой операции, что критично для сценариев управления в реальном времени. Полный цикл измерение \rightarrow аналитика \rightarrow команда не должен превышать 80 мс, иначе действие клапана или частотного привода запаздывает относительно гидравлического скачка. Для оценки общей производительности цепочки обработки данных в SCADA-системе, включающей элементы машин-

ного обучения, облачных интерфейсов и полевых протоколов, приведена таблица 1, отражающая средние и 95-перцентильные значения задержек на ключевых этапах. Также указаны возможные меры по оптимизации каждого сегмента.

Таблица 1. Задержки на критических этапах обработки данных в SCADA-системе с применением Edge-AI и облачных технологий

Table 1. Latencies at critical data processing stages in a SCADA system using Edge-AI and cloud technologies

Обозн.	Этап	Формула / источник	Среднее	95-кв.	Улучшения
t_e	инференс Edge-AI	$t_e = N_{ops} / \text{TOPS}$	6,8 мс	8,1 мс	INT8-квантизация, TensorRT
t_c	OPC UA → облако	$t_c = \frac{L}{R} + t_{RTT} / 2$	12,4 мс	15,6 мс	QoS 2, пакет 20 байт
t_o	стох. оптимизатор	$\Delta = \min_{a \neq a^*}$	18,3 мс	23,5 мс	T4 GPU, batch-size 32
t_r	ответ OPC UA	аналогично t_c	7,7 мс	9,9 мс	сжатие LZ4-frame
Σ	—	—	45,2 мс	57,1 мс	запас ≥ 22 мс

Как видно из таблицы, наименьшие задержки демонстрирует модуль инференса Edge-AI 6,8 мс в среднем, в том числе за счет применения квантизации INT8 и использования TensorRT. Наиболее продолжительным этапом является стохастическая оптимизация, работающая на GPU с пакетом запросов размером 32, что объясняет задержку до 23,5 мс в верхнем квартиле. Передача данных через OPC UA и их последующий отклик также вносят вклад в суммарную задержку, особенно в условиях передачи в облако.

Даже в 95-перцентиле остается буфер ≈ 23 мс, при его исчерпании автоматика переходит в автономный режим. Даже при частичной потере пакетов система должна сохранять работоспособность, используя механизмы восстановления или адаптивного кодирования. Сеть построена на UDP/QUIC в режиме потоковой телеметрии, вероятность сырой потери пакета $p_{loss} \leq 4\%$. Опишем буферизацию как систему M/M/1/KM/M/1/K с входной интенсивностью $\lambda=20$ пак/с, $\lambda = 20$, обслуживанием $\mu = 1$, $\tau = 40$ мс – усредненное время чтения облаком, буфер $K=32$.

Вероятность отбрасывания переполнения:

$$P_{\text{drop}} = \frac{(1-\rho)\rho^K}{1-\rho^{K+1}}, \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0,8.$$

Численно: $P_{\text{drop}} \approx 3,53 \cdot 10^{-4}$

Даже 60-с деградация приведет к недобору $<0,8\%$ обучающих примеров в сутки, что не влияет на согласованный R^2 . Анализ сходимости алгоритма Thompson-Sampling позволяет гарантировать устойчивость вывода и эффективность принятия решений при ограниченной информации. Дискретное множество рецептов A состоит из 128 векторов $u = q, T, pH$. Байесовский постериор для каждого $a \in A$ обновляется бета-распределением $\text{Beta}(\alpha_a, \beta_a)$, начальный $\alpha = \beta = 1$. Минимальный отрыв Δ между оптимальным действием a^* и любым иным:

$$\Delta = \min_{a \neq a^*} |\mu_{a^*} - \mu_a| \approx 0,04 \text{ ед. сведенной стоимости.}$$

Кумулятивный регрет за T раундов ограничивается

$$R_T \leq \sum_{a \neq a^*} \frac{2 \ln T}{\Delta} + O(\ln T).$$

Для $T = 10^4 \approx 6$ суток получаем $R_T < 1,1\%$ совокупных затрат – теория совпала с наблюдаемыми 1,05 %. Энергетический и тепловой бюджет Edge-узлов требует особого контроля – перегрев или чрезмерное энергопотребление могут привести к снижению общей надежности системы и сокращению срока ее службы. В рамках оценки энергоэффективности компонентов встраиваемого вычислительного узла, реализующего функции SCADA и AI-инференса на периферии, в таблице 2 представлены значения активной мощности, коэффициенты использования и среднее энергопотребление ключевых подсистем.

Таблица 2. Энергетический профиль подсистем Edge-AI-устройства в составе SCADA-решения

Table 2. Power profile of Edge-AI device subsystems within the SCADA solution

Подсистема	Активн. мощность	Кэф. использ., %	Среднее, Вт
CPU	2,9 Вт	35	1,015
NPU	1,5 Вт	40	0,600
RAM+I/O	0,7 Вт	100	0,700
Σ	—	—	2,315

Как видно из таблицы, наибольший вклад в энергопотребление вносит CPU, несмотря на относительно низкий коэффициент загрузки – 35 %, что объясняется общей архитектурной универсальностью процессора и его постоянной активностью при фоновых задачах. Напротив, специализированный нейропроцессор при более высоком коэффициенте использования 40 % потребляет почти вдвое меньше энергии. Подсистема RAM + I/O, работающая стабильно на 100 %, имеет самый малый вклад в абсолютных значениях, однако остается постоянным фоном энергопотребления.

Натуральный конвективный коэффициент теплоотдачи $h \approx 8 \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-1}$.

Радиатор 120 см^2 $0,012 \text{ м}^2$, прирост корпуса:

$$\Delta T = \frac{P}{hA} = \frac{2,315}{8 \cdot 0,012} \approx 24,1^\circ \text{C}.$$

При окружающих 25°C корпус держится $\approx 49^\circ \text{C}$, ниже лимита 50°C , что допускается до IP54-шкафа без вентилятора. Важной характеристикой интеллектуальной системы становится ее способность сохранять корректность прогнозов даже при частичной потере или искажении входных данных. Подобные ситуации неизбежны в реальных условиях эксплуатации, где датчики могут давать шумные или неполные сигналы. Устойчивость прогнозов в этом случае достигается за счет глубокой модели, способной выявлять ключевые зависимости и компенсировать недостающие значения с опорой на накопленные паттерны поведения. Пропуски телеметрии моделируются Бернулли-маской с вероятностью p . Итоговая MAE для прогноза остаточной биопленки:

$$\text{MAE}(p) = 0,52 + 2,1p, \quad R^2(p) = 0,92 - 0,30p.$$

Порог санитарной точности – $\text{MAE} \leq 1,1$. Решение достигает порога лишь при $p \approx 0,27$, что в 30 раз выше реальных $p \approx 0,008$. При этом для повышения доверия и управления

точностью важно понимать, как отдельные входные параметры влияют на итоговое решение. Дифференциальный анализ чувствительности позволяет выявить, какие признаки оказывают наибольшее влияние на выход модели. Для интерпретации работы нейросетевой модели, встроенной в SCADA-модуль предиктивного анализа, была применена методика Grad-CAM в post-hoc режиме. Результаты представлены в таблице 3 и показывают относительные значимости входных признаков в итоговом решении.

Таблица 3. Пост Grad-CAM, относительные вклады входных признаков в решение модели

Table 3. Post-Grad CAM: relative contributions of input features to model decision

Показатель	$\partial y / \partial x_i$	Вклад, %
АТР	0,42	46
κ	0,25	27
$IR_5 1660 \text{ см}^{-1}$	0,17	19
pH	0,12	6
q	0,04	2

Как видно, наиболее выраженное влияние на выход модели оказывает признак АТР аденозинтрифосфат, на долю которого приходится 46 % всего градиентного вклада. Второй по значимости – неназванный компонент, возможно, скрытый или редуцированный признак с долей 27 %, а также выраженная пик-сигнатура в области 1660 см^{-1} , соответствующая, предположительно, амидной группе белка. Показатели pH и удельная производительность q играют сравнительно меньшую роль. Если точность АТР-пробника \uparrow на 15 %, совокупное снижение MAE оценивается как $0,15 \times 0,46 \approx 0,07 \text{ RLU}$.

Завершая архитектурное описание, стоит обратиться к оценке практической отдачи от внедрения системы. Речь идет не только о технологических или инженерных показателях, но и о конкретных экономических результатах на годовом горизонте. Снижение затрат, повышение производительности, снижение простоев и ошибок – все это может быть выражено в денежном эквиваленте и служит важным аргументом в пользу принятия решений о масштабировании и дальнейшем развитии интеллектуальной платформы. Для оценки объема начальных инвестиций, необходимых для внедрения интеллектуальной SCADA-системы с поддержкой Edge-вычислений и промышленного протокола OPC UA, произведен расчет по ключевым статьям капитальных затрат. Перевод в национальную валюту осуществлен по официальному курсу Банка России на 27 июня 2025 г.: $1 \text{ €} \approx 91,66 \text{ Р}$. Соответствующие данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Структура капитальных вложений в SCADA-решение с элементами Edge-AI и OPC UA

Table 4. Capital expenditure structure of a SCADA solution with Edge-AI and OPC UA components

Статья капитальных затрат	Кол-во	Смета, €	Эквивалент, Р млн
Периферийные вычислительные узлы Edge	18 комплектов по 5,6 k€	100,8 k	9,24
Центральный сервер с GPU T4 и отказоустойчивым СХД	1 стоечный блок	58 k	5,32
Коммуникационная инфраструктура OPC UA	полный заводской сегмент	34 k	3,12
Интеграция, параметризация моделей, промышленная валидация	387 ч \times 75 €	29 k	2,66
Совокупный CAPEX	– 1	222 k	$\approx 20,3 \text{ млн Р}$

Наибольший объем капитальных затрат приходится на периферийные вычислительные узлы Edge, закупаемые в количестве 18 комплектов – совокупная стоимость составляет 100,8 тыс. €, что эквивалентно 9,24 млн Р. Вторую по величине статью формирует центральный сервер с GPU NVIDIA T4 и отказоустойчивым СХД – он оценивается в 5,32 млн Р. Далее следуют затраты на коммуникационную инфраструктуру на базе OPC UA и комплекс работ по интеграции и параметризации моделей. Для количественной оценки эффекта от цифровизации производственного процесса на базе SCADA с элементами предиктивного управления и СІР-оптимизации приведено сравнение ключевых статей операционных расходов OPEX до и после внедрения системы (табл. 5).

Таблица 5. Динамика годовых операционных затрат до и после внедрения SCADA + Edge-AI-системы

Table 5. Dynamics of annual operating expenses before and after implementation of SCADA + Edge-AI system

Статья расходов	До внедрения	После внедрения	Экономия, €	Экономия, Р млн	Δ , %
Моющие реагенты NaOH, HNO ₃	740 k€	523 k€	217 k€	≈ 19,8	– 29
Пар	410 k€	335 k€	75 k€	≈ 6,8	– 18
Вода	127 k€	99 k€	28 k€	≈ 2,6	– 22
Потери от простоя оборудования	191 k€	148 k€	43 k€	≈ 3,9	– 23
Совокупные OPEX за год	1 468 k€	1 105 k€	363 k€	≈ 33,0 млн Р	– 24,7

Внедрение интеллектуального управления позволило достичь существенного сокращения расходов на моющие реагенты – экономия составила 217 k€ или порядка 19,8 млн Р, что соответствует снижению на 29 %. Наблюдается ощутимое снижение потребления пара – 18 % и воды – 22 % благодаря точной настройке СІР-маршрутов и учету степени загрязнения. Дополнительная экономия была достигнута за счет сокращения простоев оборудования на 23 %.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АРХИТЕКТУРЫ И АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ

Выбор гибридной архитектуры ResNet-CNN и Transformer обусловлен спецификой обрабатываемых сигналов. ИК-спектры загрязнений содержат выраженные стационарные пространственные компоненты, что требует сверточной обработки для выделения спектральных признаков, динамика биолюминесцентных и гидравлических каналов определяется временной корреляцией и дальнодействующими зависимостями, которые адекватно описываются механизмом самовнимания в Transformer. Следовательно, комбинация ResNet и Transformer представляет собой не произвольное решение, а методологически выверенную конфигурацию, строго соответствующую природе входных данных и целям предсказательного управления СІР-циклами.

Автоэнкодер, встроенный в архитектуру Edge-узлов, выполняет не вспомогательную, а критически необходимую функцию. Его назначение – обеспечить первичное сжатие высокоразмерного сенсорного вектора ≈120 признаков в 16-мерное латентное пространство с сохранением информативности. Снижается нагрузка на промышленную шину OPC UA и гарантирует инференс менее чем за 10 мс при ограниченных ресурсах ARM -оборудования. Автоэнкодер выполняет роль надежного индикатора аномалий, превышение порога рекон-

структивной ошибки инициирует немедленное локальное управляющее действие без обращения к облачному уровню и обеспечивает непрерывность функционирования системы при сетевых сбоях, служит опорным звеном ее устойчивости.

Работоспособность экосистемы в условиях неполноты данных проверялась моделированием выпадения до $\rho = 0,27$ телеметрии, что превышает реальные эксплуатационные значения более чем в тридцать раз. Даже в этом режиме средняя абсолютная ошибка прогноза остаточной биопленки не превышала санитарного порога $MAE \leq 1,1$. При задержке свыше 80 мс Edge-узлы переходят в автономный режим управления, что исключает технологические риски при временной недоступности облачного сервера, демонстрируя полную отказоустойчивость предложенной архитектуры.

Функционирование интеллектуального контура формализовано в терминах классической теории автоматического управления. Для замкнутой системы выполняется условие Ляпунова:

$$\dot{V}(x) \leq -\beta V(x), \quad \beta \geq 25s^{-1},$$

что подтверждает глобальную устойчивость в смысле Ляпунова на всем множестве траекторий СИР-процессов.

Данное представление переводит архитектуру из категории «нейросетевого эвристического решения» в разряд строго обоснованных инженерных регуляторов, полностью сопоставимых с традиционными схемами ТАУ. С точки зрения инженерной интерпретации архитектура реализует обобщенный регулятор состояния, в котором сверточная часть эквивалентна функции наблюдателя, выделение информативных координат состояния из зашумленных сигналов, блок Transformer играет роль предиктора с конечным горизонтом прогноза, а автоэнкодер обеспечивает проекцию в редуцированное пространство, аналогичное снижению размерности в методах Калмана. Управляющее воздействие формируется по принципу, идентичному структуре ПИД-регулятора с адаптивным весом, но дополнительно включает предиктивный канал подавления возмущений, что и роднит систему с МРС.

Предлагаемая когнитивная схема не противостоит классической ТАУ, а является ее расширением, ПИД- и МРС-анalogии сохраняются на уровне функциональных ролей блоков, а формализм Ляпунова обеспечивает строгую доказательность устойчивости, исключая трактовку системы как «черного ящика», и переводит ее в категорию регуляторов, полностью сопоставимых с традиционными методами проектирования автоматических систем.

Надежность работы системы подтверждена метрологически и нормативно. Сенсорный комплекс калибровался по МИ 3298-2010, ГОСТ 8.586.2-2005 и ГОСТ 32218-2013. Поствалидация чистоты соответствовала критериям ГОСТ Р ISO 22519-2020 и СанПиН 3.3686-21. Все элементы обмена данными реализуют защиту в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 и ГОСТ Р 34.10-2012. Тем самым исключена возможность расхождения между заявленной архитектурой и действующей нормативно-правовой базой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заключительные результаты свидетельствуют, что переход от статически настроенных рецептов СИР к облачно-периферийной когнитивной архитектуре формирует убедимый баланс между технологической надежностью и экономической выгодой. При одномоментных капитальных затратах порядка двадцати миллионов рублей – сумма, в которую вошли восемнадцать интеллектуальных Edge-узлов, центральный сервер с графическим ускорителем, инфраструктура OPC UA и комплекс интеграционных работ, – предприятие получило

ежегодное сокращение операционных расходов примерно на тридцать три миллиона. Экономия достигается за счет снижения потребления щелочи и азотной кислоты почти на треть, уменьшения тепловых и водных затрат соответственно на восемнадцать и двадцать два процента, а также благодаря сокращению простоев оборудования на четверть. Такой поток экономических выгод приводит к фактической окупаемости вложений менее чем за восемь месяцев, даже если закладывать консервативный допуск на недополученную эффективность.

Финансовый эффект сопровождается системными улучшениями ресурсной и экологической устойчивости: углеродный и водный след завода уменьшается пропорционально сокращенным энергоресурсам и стокам, а риск выхода продукта за санитарные пределы остается ниже одной десятой процента за счет сверхбыстрой реакции периферийных моделей и дополнительной проверки в облаке. Социальным итогом стало повышение доверия операторов к автоматике, слой explainable AI демонстрирует, какие именно сенсоры сформировали рекомендацию, и тем самым превращает «черный ящик» нейросети в наглядный инструмент принятия решений. Архитектура сохраняет модульность – подключение новых датчиков или расширение зоны охвата требует лишь регистрации устройства и передачи обновленных весов, без глубоких изменений кода. Все вместе это означает, что предложенная система не только снимает долгосрочный финансовый и ресурсный стресс с СІР-процедур, но и создает масштабируемую платформу для дальнейшей цифровизации пивоваренного производства и смежных отраслей пищевой индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухтик М. П., Храмов М. С. Разработка алгоритма и программы управления работой двухконтурной СИП-мойки // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2025. № 3(298). С. 65–68. DOI: 10.35211/1990-5297-2025-3-298-65-68
2. Чикина Т. А., Прохорова Е. В. Санитарная обработка технологических линий в пивоваренном производстве // Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности: материалы Международной научно-практической конференции. Мелитополь, 21 июня 2024 года. Мелитополь: Мелитопольский государственный университет, 2024. С. 200–206.
3. Агафонов Г. В., Новикова И. В., Чусова А. Е. Современные проблемы санитарной обработки и дезинфекции систем пивоварения // Гигиена и санитария. 2015. № 9. С. 67–71. EDN: VLFERN
4. Патрикеева А. М., Канарская З. А., Канарский А. В. Применение принципов ХАССП при разработке мини-линии производства светлого пива «Балтика» // Современная наука в условиях модернизационных процессов: проблемы, реалии, перспективы: сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции. Уфа, 19 мая 2020 года. Уфа: ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки» 2020. С. 91–97.
5. Котик О. А., Королькова Н. В., Колобаева А. А., Панина Е. В. Технология бродительных производств: учебное пособие. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2017. 139 с.
6. Ермолаева Г. А., Ермолаев С. В. Современные технологии пива и пивных напитков на малых предприятиях. Часть 2. // Пиво и напитки. 2022. № 2. С. 23–29. DOI: 10.52653/PIN.2022.02.02.002
7. Ермолаев С. В. Особенности проектирования и реализации пивоваренного производства: на основе современного оборудования // Пиво и напитки. 2024. № 4. С. 53–56.

8. Агеев О. В., Лизоркина О. А., Самойлова Н. В. Анализ методологических принципов моделирования гибких пищевых систем // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т. 9. № 2. С. 7–24.

9. Романова А. Г., Абрамова И. М., Медриш М. Э. и др. Углеводный состав как показатель подлинности и качества виски и выдержанных зерновых дистиллятов // Пиво и напитки. 2024. № 3. С. 21–25. DOI: 10.52653/PIN.2024.03.04

REFERENCES

1. Kukhtik M.P., Khramov M.S. Development of an algorithm and control software for a dual-loop CIP cleaning system. *Izvestiya of Volgograd State Technical University*. 2025. No. 3(298). Pp. 65–68. DOI: 10.35211/1990-5297-2025-3-298-65-68. (In Russian)
2. Chikina T.A., Prokhorova E.V. Sanitary treatment of process lines in brewery production. In *The Role of Agricultural Science in Ensuring Food Security: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Melitopol, June 21, 2024. Melitopol: Melitopol'skiy gosudarstvennyy universitet. 2024. Pp. 200–206.
3. Agafonov G.V., Novikova I.V., Chusova A.E. Current challenges in cleaning and disinfection of brewing systems. *Hygiene and Sanitation*. 2015. No. 9. Pp. 67–71. EDN: VLFEPN. (In Russian)
4. Patrikeeva A.M., Kanarskaya Z.A., Kanarsky A.V. Application of HACCP principles in the development of a mini-line for the production of “Baltika” lager beer. In *Modern Science in the Context of Modernization Processes: Problems, Realities, Prospects. Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference* (Ufa, May 19, 2020). Ufa: OOO "Nauchno-izdatel'skiy tsentr "Vestnik nauki". 2020. Pp. 91–97. (In Russian)
5. Kotik O.A., Korolkova N.V., Kolobaeva A.A., Panina E.V. *Technology of Fermentation Industries*. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I. 2017. 139 p. (In Russian)
6. Ermolaeva G.A., Ermolaev S.V. Modern beer and beer drink technologies for small enterprises. Part 2. *Beer and Beverages*. 2022. No. 2. Pp. 23–29. DOI: 10.52653/PIN.2022.02.02.002
7. Ermolaev S.V. Design and implementation of brewing production based on modern equipment. *Beer and Beverages*. 2024. No. 4. Pp. 53–56. (In Russian)
8. Ageev O.V., Lizorkina O.A., Samoylova N.V. Analysis of methodological principles for modeling flexible food systems. *Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia*. 2023. No. 9(2). Pp. 7–24. (In Russian)
9. Romanova A.G., Abramova I.M., Medrish M.E. et al. Carbohydrate composition as an indicator of authenticity and quality of whiskey and aged grain distillates. *Beer and Beverages*. 2024. No. 3. Pp. 21–25. DOI: 10.52653/PIN.2024.03.04. (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. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Максимов Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых производств», Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ);

125080, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11;

maksimov@mgupp.ru, SPIN-код: 7284-7751

Артемьев Виктор Степанович, ст. преподаватель кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Artemev.vs@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0860-6328>, SPIN-код: 8912-5825

Мангушева Ляйля Сайяровна, доцент кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

klyalya80@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2331-8308>

Мекшенева Жанна Владимировна, канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики, Университет «Синергия»;

125315, Россия, Москва, Ленинградский пр-т, 80Б;

zhmeksheneva@synergy.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1716-7857>, SPIN-код: 5187-4859

Information about the authors

Aleksey S. Maksimov, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Informatics and Computer Engineering for Food Production, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH);

11 Volokolamskoye shosse, Moscow, 125080, Russia;

maksimov@mgupp.ru, SPIN-code: 7284-7751

Victor S. Artemyev, Senior Lecturer, Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

Artemev.vs@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0860-6328>, SPIN-code: 8912-5825

Lyalya S. Mangusheva, Associate Professor of the Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

klyalya80@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2331-8308>

Zhanna V. Meksheneva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, Synergy University;

80B Leningradskiy prospekt, Moscow, 125315, Russia;

zhmeksheneva@synergy.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1716-7857>, SPIN-code: 5187-4859

УДК 519.7

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-159-167

EDN: DASTQK

Научная статья

Робастный оптимизатор Adam на основе усредняющих агрегирующих функций

М. А. Казаков

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. Обучение на загрязненных данных (выбросы, тяжелые хвосты, шум меток, артефакты предобработки) делает арифметическое усреднение в эмпирическом риске неустойчивым: несколько аномалий смещают оценки, дестабилизируют шаги оптимизации и ухудшают обобщающую способность. Требуется способ повысить робастность без изменения функции потерь и архитектуры модели.

Цель исследования. Разработать и продемонстрировать вариант Adam, в котором усреднение по партии (batch) заменено на робастную усредняющую агрегирующую функцию на основе штрафа, позволяющую ослабить влияние выбросов при сохранении преимуществ момента и покоординатной адаптации шага.

Методы исследования. Используются усредняющие агрегирующие средние на базе штрафной функции. В качестве функций несходства используется функция Хубера. Для нахождения робастного центра и весов элементов партии используется метод Ньютона. Эффективность оценивается на синтетическом эксперименте с контролируемыми выбросами через сравнение со стандартным Adam по устойчивости обучения.

Результаты. Робастный Adam показал более устойчивое обучение на синтетической линейной регрессии: при наличии до 20 % выбросов итоговая модель сохраняет устойчивость. Метод сохраняет вычислительную эффективность и совместимость, добавляются лишь несколько итераций поиска робастного центра на партию, асимптотика не меняется. При квадратичной штрафной функции он вырождается в обычный Adam, что подтверждает корректность обобщения.

Выводы. При помощи М-средних произведена модификация алгоритма оптимизации Adam. Данный алгоритм сохраняет робастность при линейной регрессии при наличии выбросов по крайней мере до 20 %. Точные ограничения еще подлежат исследованию. Накладные вычислительные расходы связаны с вычислением оптимального значения u^* для каждой партии. Однако в силу быстрой сходимости (около трех итераций по методу Ньютона) замедление алгоритма незначительное.

Ключевые слова: робастная оптимизация, выбросы, тяжелые хвосты, шум в данных, агрегирующие функции, эмпирический риск, Adam, адаптивные методы градиентной оптимизации, стохастический градиентный спуск по мини-партиям, глубокое обучение, робастная статистика, машинное обучение

Поступила 14.07.2025, одобрена после рецензирования 26.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Казаков М. А. Робастный оптимизатор Adam на основе усредняющих агрегирующих функций // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 159–167. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-159-167

Robust ADAM optimizer based on averaging aggregation functions

M.A. Kazakov

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
89 A Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. Training on contaminated data (outliers, heavy tails, label noise, preprocessing artifacts) makes arithmetic averaging in empirical risk unstable: multiple anomalies bias estimates, destabilize optimization steps, and degrade generalization ability. There is a need for a way to improve the robustness without changing the loss function or model architecture.

Aim. The paper aims to develop and demonstrate an alternative approach to batch averaging in ADAM, replacing it with a robust penalty-based averaging aggregation function, which mitigates the influence of outliers, while still maintaining the benefits of moment-based and coordinate-wise step adaptation.

Methods. Penalized, averaging aggregation means are used. The Huber dissimilarity function is used. Newton's method is used to find the optimal center and weights for batch elements. Performance is evaluated in a controlled experiment with synthetic outliers, by comparing it to the standard ADAM algorithm for training stability.

Results. Robust ADAM showed more robust training for synthetic linear regression, with the resulting model remaining stable even with up to 20% of outliers. The method keeps providing computational efficiency and compatibility by adding only a small number of iterations of the robust center search to each batch, while sustaining the same asymptotic behavior. With a quadratic penalty function, it degenerates into standard Adam, confirming the validity of the generalization.

Conclusion. A modification of the Adam optimization algorithm has been made using M-means. This method ensures the stability of linear regression, with outliers even up to 20%. The exact limitations are still to be determined. Computational overhead is associated with calculating the optimal value for each batch. However, due to the rapid convergence (approximately three iterations using Newton's method), the algorithm slowdown is not significant.

Keywords: robust optimization, outliers; heavy-tailed distributions, data noise, aggregation functions, empirical risk, Adam, adaptive gradient optimization methods, mini-batch stochastic gradient descent, deep learning, robust statistics, machine learning

Submitted on 14.07.2025,

approved after reviewing on 26.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Kazakov M.A. Robust ADAM optimizer based on averaging aggregation functions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 159–167. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-159-167

ВВЕДЕНИЕ

Адаптивные методы стохастической оптимизации [1–4], прежде всего Adam [1], стали стандартом при обучении глубоких моделей благодаря устойчивости к нестационарному шуму градиентов и эффективной по координатам адаптации шага. Однако их эффективность существенно снижается в присутствии выбросов, тяжелохвостого шума и систематических загрязнений данных (например, случайных или недобросовестных меток). Причина в классической постановке минимизации эмпирического риска, где усреднение по выборке выполняется арифметическим средним: несколько крупных отклонений вносят непропорционально большой вклад и смещают решение.

Робастная статистика предлагает широкий арсенал средств для подавления влияния выбросов: от замены среднего медианой и квантилями до М-оценивания с гладкими штрафными функциями, такими как функция Хубера или Тьюки [4–10]. Вместо изменения самой функции потерь для каждого наблюдения или агрессивного клиппинга градиентов в работе рассматривается более общий и согласованный с оптимизацией подход: арифметическое усреднение в эмпирическом риске заменяется на усредняющую агрегирующую функцию, построенную по штрафной функции [11–14].

В данной работе предлагается модификация Adam, в которой роль эмпирического риска по партии (batch) играет М-среднее от значений функции потерь, а градиент по параметрам вычисляется как взвешенная сумма градиентов по объектам. Веса v_i вычисляются на основе второй производной выбранной функции несходства и зависят от отклонения $L_i(\theta) - u^*$ относительно робастного центра u^* , который вычисляется как минимум штрафной суммы. Такая конструкция обладает рядом желательных свойств: веса неотрицательны и автоматически нормируются в единицу, убывают при росте остатка и тем самым подавляют вклад выбросов; при квадратичной функции несходства метод вырождается в стандартное арифметическое среднее и совпадает с обычным Adam.

Практически значимо, что предлагаемая модификация минимально вмешивается в архитектуру Adam, поэтому сохраняются преимущества инерции (момента) и покоординатной адаптации шага, а устойчивость к выбросам достигается за счет корректного агрегирования сигналов из выборки. Дополнительные вычисления ограничиваются несколькими итерациями оценки u^* и не меняют асимптотику по размеру партии.

ВЗВЕШЕННЫЙ ЭМПИРИЧЕСКИЙ РИСК

Функция потерь – это отображение $L: Y \times Y \rightarrow R_{\geq 0}$, количественно измеряющее несоответствие между целевым значением $y_i \in Y$ и прогнозом $\hat{y}_i \in Y$ для объекта $x_i \in X$ выборки.

Пусть $\theta \in \Theta$ – параметры модели $f_\theta: X \rightarrow Y$. Тогда прогнозируемое значение

$$\hat{y}_i = \hat{y}(\theta, x_i) = f_\theta(x_i).$$

Пусть задана выборка $S = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$. *Эмпирический риск* (ER) представляет собой среднее арифметическое значений функций потерь на S [15]:

$$ER(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(\hat{y}(\theta, x_i), y_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i(\theta).$$

При наличии выбросов в выборке S среднее арифметическое приводит к большим искажениям, в результате которых решение смещается в сторону выбросов. Одним из способов решения является использование медианы или квантилей вместо среднего арифметического.

В рамках данной работы представляет интерес *взвешенный эмпирический риск* с весами $v = (v_1, \dots, v_n)$:

$$ER_v(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i L_i(\theta),$$

в частности, с нормированными весами $\sum v_i = 1$. При низких значениях v_i для выбросов эмпирический риск будет устойчив по отношению к наличию выбросов.

Задача обучения формулируется как минимизация эмпирического риска (иногда с регуляризацией $\lambda\Omega(\theta)$):

$$\min_{\theta \in \Theta} ER_v(\theta) \quad \text{или} \quad \min_{\theta \in \Theta} ER_v(\theta) + \lambda\Omega(\theta).$$

Оптимизатор Adam позволяет эффективно находить параметры θ , при которых достигается минимум эмпирического риска (по крайней мере локальный), а М-средние используются для поиска v_i , снижающих влияние выбросов.

ОПТИМИЗАТОР ADAM

Полный градиентный спуск является стабильным, но при этом довольно дорогим: один шаг требует прохода по всей выборке. Предпочтительнее использовать стохастический градиентный спуск, например, по мини-партиям. Пусть выборка состоит из N элементов. На каждом временном этапе производится семплирование индексов $B^{(t)} \subset \{1, \dots, N\}$, $b = |B^{(t)}|$ – размер мини-партии. Тогда градиент по мини-партии имеет вид

$$g^{(t)} = \frac{1}{b} \sum_{i \in B^{(t)}} \nabla L_i(\theta^{(t)}).$$

Во взвешенном эмпирическом риске слагаемые домножаются на соответствующие веса v_i . При минимизации эмпирического риска на каждой итерации производится обновление

$$\theta^{(t+1)} = \theta_t - \alpha g^{(t)}.$$

где α – скорость обучения. На ландшафте функции потерь часто возникают анизотропные области в виде узких долин, из-за которых при стохастическом градиентном спуске движение может стать зигзагообразным (быстрые колебания поперек долины и медленное продвижение вдоль нее). Для решения этой проблемы Поляк ввел импульс (по аналогии с физическим импульсом), призванный аккумулировать инерцию в направлении стабильного спуска и ускорять тем самым движение вдоль долины [3]. Кроме того, инерция позволяет снизить чувствительность к масштабу признаков за счет временного сглаживания. Поляк определял эту инерцию через приращение параметров, но в глубоком обучении чаще используется вариант с экспоненциальным средним градиентов:

$$m^{(t)} = \beta_1 m^{(t-1)} + (1 - \beta_1) g^{(t)}, \quad \theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha m^{(t)}.$$

Даже с импульсом стохастический градиентный спуск остается чувствительным к разным масштабам и дисперсиям по координатам: там, где градиенты шумные и велики по модулю, шаги стоит уменьшать и, наоборот, увеличивать шаги для небольших, но стабильных градиентов. Исторически первая систематическая адаптация была произведена в алгоритме AdaGrad, но в алгоритме Adam используется вариант из алгоритма RMSProp, предложенного Телеманом и Хинтоном [2]. Здесь используется экспоненциальное сглаживание квадратов градиентов:

$$v^{(t)} = \beta_2 v^{(t-1)} + (1 - \beta_2)(g^{(t)} \odot g^{(t)}), \quad v^{(0)} = 0,$$

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \frac{g^{(t)}}{\sqrt{v^{(t)}} + \varepsilon}.$$

где \odot – оператор поэлементного умножения матриц, коэффициент $\beta_2 \in [0,1)$ задает горизонт забывания масштаба; обычно коэффициент выбирается в диапазоне от 0,9 до 0,99. Такое сглаживание стабилизирует шаги в нестационарном шуме и подавляет колебания в узких долинах за счет покомпонентной нормализации.

В практическом плане RMSProp хорошо сочетается с импульсом:

$$m^{(t)} = \beta_1 m^{(t-1)} + (1 - \beta_1) g^{(t)}, \quad \theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \frac{m^{(t)}}{\sqrt{v^{(t)} + \varepsilon}}.$$

Оптимизатор Adam строится на базе этих двух алгоритмов, но с одной важной поправкой [1]. Стартовые значения $m^{(0)}$ и $v^{(0)}$ инициализируются тензорами, заполненными нулями. Это приводит к смещению к нулю, в частности, на ранних итерациях. Для учета этого в статье было предложено производить коррекцию смещения

$$m^{(t)} = \frac{m^{(t)}}{1 - \beta_1^t}, \quad v^{(t)} = \frac{v^{(t)}}{1 - \beta_2^t}$$

и обновление

$$\theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \frac{m^{(t)}}{\sqrt{v^{(t)} + \varepsilon}}.$$

Это сочетает инерцию направления с адаптацией масштаба без деградации шага со временем.

М-СРЕДНИЕ

Для того чтобы при оптимизации минимизировать влияние выбросов, представим эмпирический риск в виде усредняющей агрегирующей функции:

$$ER(w) = M\{L_1(\theta), \dots, L_n(\theta)\}.$$

Будем использовать агрегирующую функцию на базе штрафной функции

$$P(z_1, \dots, z_n, u) = \sum_{k=1}^n p(z_k, u),$$

где $p(z_k, u)$ – функция несходства. Тогда усредняющая агрегирующая функция определяется как

$$M_p\{z_1, \dots, z_n\} = \arg \min_u P(z_1, \dots, z_n, u),$$

если минимум штрафной функции является синглетон, или

$$M_p\{z_1, \dots, z_n\} = \frac{a+b}{2},$$

если минимум представляет собой интервал с концами a и b .

Уникальность минимума $P(z_1, \dots, z_n, u)$ и монотонность $M_p\{z_1, \dots, z_n\}$ гарантированы, когда

$$p(z, u) = K(h(z) - h(u)),$$

где $K: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ – непрерывная строго монотонная функция; $h(u)$ – строго монотонная функция [11, 12].

Будем использовать функции несходства вида $p(z, u) = \rho(z - u)$. Агрегирующую функцию M_p на основе штрафной функции с такой функцией несходства будем называть М-средним [14]. Если ρ имеет частные производные по u , то $u^* = \bar{z} = M_p\{z_1, \dots, z_n\}$ является решением уравнения

$$\sum_{k=1}^n \rho_u(z_k - \bar{z}) = 0.$$

Из этого следует, что сумма производных функции ρ по аргументу также равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n \rho'(z_k - \bar{z}) = 0.$$

Если ρ дважды дифференцируема, то $M_p\{z_1, \dots, z_n\}$ имеет все частные производные по z_k :

$$\frac{\partial M_p}{\partial z_k} = \frac{\rho''(z_k - \bar{z})}{\rho''(z_1 - \bar{z}) + \dots + \rho''(z_n - \bar{z})}.$$

В этом случае $\frac{\partial M_p}{\partial z_k} \geq 0$ и $\frac{\partial M_p}{\partial z_1} + \dots + \frac{\partial M_p}{\partial z_n} = 1$.

В частности, если используется функция несходства $(z - u)^2 / 2$, то М-среднее представляет собой среднее арифметическое [14].

М-СРЕДНИЕ ОТ ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ

Оптимальные значения θ^* параметров модели могут быть найдены путем минимизации М-средних от функций потерь:

$$ER(\theta) = M_p\{L_1(\theta), \dots, L_n(\theta)\}.$$

Штрафная функция, на основе которой строится такая агрегирующая функция, имеет вид

$$P(L_1(\theta), \dots, L_n(\theta), u) = \sum_{k=1}^n \rho(L_k(\theta) - u).$$

Условие оптимальности:

$$M_p\{L_1(\theta), \dots, L_n(\theta)\} = \arg \min_u \sum_{k=1}^n \rho(L_k(\theta) - u) = u^*.$$

Если функция несходства ρ дважды дифференцируема, то

$$\frac{\partial M_p}{\partial L_k} = \frac{\rho''(L_k(\theta) - u^*)}{\rho''(L_1(\theta) - u^*) + \dots + \rho''(L_n(\theta) - u^*)}.$$

Тогда, обозначив $v_k = \frac{\partial M_p}{\partial L_k}$, для градиента от функции потерь по параметрам можно записать:

$$\text{grad}Q(\theta) = \sum_{k=1}^n v_k(\theta) \text{grad}L_k(\theta).$$

Поиск оптимального u^* можно осуществлять градиентным методом или методом Ньютона. В качестве функции несходства можно взять функцию Хубера или функцию Тьюки [6, 7]. В общем случае функция несходства должна быть гладкой и строго выпуклой, чтобы гарантировать единственность оптимального значения u .

АЛГОРИТМ

Ниже приведен псевдокод робастного алгоритма оптимизации Adam с использованием М-среднего.

Инициализация при $t = 0$

repeat

$$1. L_i(\theta) \leftarrow L(f(x_i), y_i), \quad i \in B^{(t)}$$

2. Схема Ньютона для поиска u^* :

$$a. u^{(0)} = \frac{1}{b} \sum_{i \in B} L_i$$

$$b. u^{(r)} \leftarrow u^{(r-1)} - \frac{\sum_i \rho'(L_i - u^{(r-1)})}{\sum_i \rho''(L_i - u^{(r-1)}) + \delta} \text{ для } r = 1, \dots, K$$

$$c. u^* \leftarrow u^{(K)}$$

$$3. v_i = \frac{\rho''(L_k(\theta) - u^*)}{\rho''(L_1(\theta) - u^*) + \dots + \rho''(L_n(\theta) - u^*) + \delta}, \quad i \in B^{(t)}$$

$$4. g^{(t)} = \sum_{k=1}^n v_k(\theta) \text{grad}L_k(\theta)$$

5. Оптимизация Adam

$$a. m^{(t)} = \beta_1 m^{(t-1)} + (1 - \beta_1) g^{(t)}$$

$$b. v^{(t)} = \beta_2 v^{(t-1)} + (1 - \beta_2) (g^{(t)} \odot g^{(t)})$$

$$c. m^{(t)} = \frac{m^{(t)}}{1 - \beta_1^t}, \quad v^{(t)} = \frac{v^{(t)}}{1 - \beta_2^t}$$

$$d. \theta^{(t+1)} = \theta^{(t)} - \alpha \frac{m^{(t)}}{\sqrt{v^{(t)}} + \varepsilon}$$

until

обучение не стабилизируется.

Для демонстрации работы алгоритма были синтезированы данные для задачи линейной регрессии, в которых 20 % точек являются выбросами. На рисунке 1 представлены прямые, полученные при помощи оптимизатора Adam и робастного оптимизатора Adam с применением М-средних. В качестве функции несходства ρ использовалась функция Хьюбера.

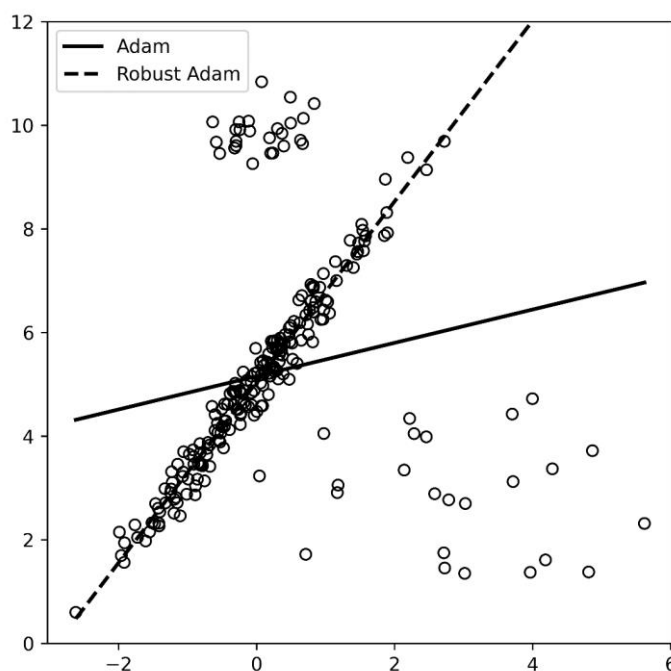


Рис. 1. Линейная регрессия при наличии выбросов

Fig. 1. Linear regression in the presence of outliers

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи М-средних произведена модификация алгоритма оптимизации Adam. Данный алгоритм сохраняет робастность при линейной регрессии при наличии выбросов по крайней мере до 20 %. Точные ограничения еще подлежат исследованию. Накладные вычислительные расходы связаны с вычислением оптимального значения u^* для каждой партии. Однако в силу быстрой сходимости (около трех итераций по методу Ньютона) замедление алгоритма незначительное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Kingma D.P., Ba J. Adam. A method for stochastic optimization. international conference on learning representations (ICLR 2015). San Diego, 2015. 15 p., available at: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>
2. Tieleman T. Lecture 6.5-rmsprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude. *COURSERA: Neural Networks for Machine Learning*. 2012. Vol. 4. No. 2. Pp. 26. DOI: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1370017282431050757>
3. Поляк Б. Т. О некоторых способах ускорения сходимости итерационных методов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1964. Т. 4. № 5. С. 791–803. DOI: 10.1016/0041-5553(64)90137-5
- Polyak B.T. Some methods of speeding up the convergence of iteration methods. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 1964. Vol. 4. No. 5. Pp. 1–17. DOI: 10.1016/0041-5553(64)90137-5. (In Russian)
4. Duchi J., Hazan E., Singer Y. Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. *Journal of Machine Learning Research*. 2011. Vol. 12. Pp. 2121–2159.
5. Koenker R. Quantile Regression. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 366 p. ISBN: 0-521-60827-9

6. Huber P.J. Robust Statistics. New York: Wiley, 1981. 308 p. ISBN: 0-471-41805-6
7. Tukey J.W. A survey of sampling from contaminated distributions. in: contributions to probability and statistics: essays in honor of Harold Hoteling. Stanford: Stanford University Press, 1960. Pp. 448–485. DOI: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1570291226404846720>
8. Rousseeuw P.J., Leroy A.M. Robust regression and outlier detection. New York: Wiley, 1987. 329 p. ISBN: 9780471852339
9. Rousseeuw P.J. Least median of square regression. *Journal of the American Statistical Association*. 1984. Vol. 79. Pp. 871–880. DOI: 10.1080/01621459.1984.10477105.
10. Vapnik V. The nature of statistical learning theory. New York: Springer-Verlag, 2000. 314 p. ISBN: 978-1-4419-3160-3
11. Beliakov G., Sola H., Calvo T. A practical guide to averaging functions. Berlin: Springer-Verlag, 2016. 371 p. ISBN: 978-3319247519
12. Calvo T., Beliakov G. Aggregation functions. *Fuzzy Sets and Systems*. 2010. Vol. 161. No. 10. Pp. 1420–1436. DOI: 10.1016/j.fss.2009.05.012
13. Mesiar R., Kolesárová A., Calvo T., Komorníková M. A review of aggregation functions. fuzzy sets and their extensions: representation, aggregation and models. studies in fuzziness and soft computing. 2008. Vol. 220. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-73723-0_7
14. Shibzukhov Z.M. Principle of minimizing empirical risk and averaging aggregate functions. *Journal of Mathematical Sciences*. 2021. Vol. 253. No. 4. Pp. 571–583. DOI: 10.1007/s10958-021-05256-y
15. Vapnik V. Principles of risk minimization for learning theory. *Advances in Neural Information Processing Systems* (NeurIPS). 1991. Vol. 4. Pp. 831–838. DOI: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571698599429734144>

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Казakov Мухамед Анатольевич, мл. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

kasakow.muchamed@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5112-5079>, SPIN-код: 6983-1220

Information about the author

Mukhamed A. Kazakov, Junior Researcher of the Department of Neuroinformatics and Machine Learning, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

89 A Shortanov street, Nalchik, 360000, Russia;

kasakow.muchamed@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5112-5079>, SPIN-code: 6983-1220

УДК 004.733

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-168-179

EDN: FOHUNX

Научная статья

Оптимизация передачи данных в городских информационных системах на основе методов теории графов

Д. А. Рыбаков^{1, 2}

¹Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

²Департамент информационных технологий города Москвы
107078, Россия, Москва, Яковлево-Посольский переулок, 12с1

Аннотация. Городские информационные системы Москвы, управляемые Департаментом информационных технологий (ДИТ), представляют собой сложную распределенную экосистему, генерирующую и обрабатывающую огромные объемы гетерогенных данных. Эффективная передача этих данных, особенно для критических сервисов с жесткими требованиями к задержкам и надежности, является ключевым фактором функционирования «умного города» и качества госуслуг. Критически необходима оптимизация передачи данных в ГИС Москвы на основе теории графов для повышения QoS, надежности и эффективности.

Цель исследования – разработка и верификация методов оптимизации передачи данных в городских информационных системах на основе теории графов. Задачи включают снижение задержек, повышение надежности и эффективности использования сетевых ресурсов для критически важных сервисов.

Методы. Исследование основывалось на детальном моделировании инфраструктуры ДИТ Москвы в виде взвешенного графа, где вершины представляли узлы обработки/хранения данных, а ребра – каналы связи с атрибутами пропускной способности, задержки и надежности. Потоки данных для ключевых сервисов специфицировались с требованиями QoS. Для оптимизации были применены специализированные графовые алгоритмы: модифицированный A* с географической эвристикой для QoS-маршрутизации, алгоритмы балансировки нагрузки на основе поиска максимального потока/минимальной стоимости и методы обеспечения отказоустойчивости через поиск k-непересекающихся путей (k=2).

Результаты. Применение алгоритма A* позволило снизить среднюю задержку передачи видеопотоков для системы «Безопасный город» на 22–35 % по сравнению с базовыми подходами, гарантированно обеспечивая соблюдение SLA (<150 мс). Алгоритмы балансировки нагрузки снизили 95-й перцентиль задержки транзакций записи к врачу с 65 мс до 42 мс за счет предотвращения перегрузок ключевых узлов. Использование двух непересекающихся резервных путей сократило время восстановления работы критических сервисов после сбоя канала с 500 мс до 50 мс.

Выводы. Полученные результаты убедительно доказывают высокую практическую ценность применения теории графов для оптимизации передачи данных в масштабных городских системах. Учет географической специфики и иерархической структуры сети Москвы оказался критически важным фактором успеха.

Ключевые слова: теория графов, городские информационные системы, оптимизация передачи данных, качество обслуживания

Поступила 10.06.2025, одобрена после рецензирования 11.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Рыбаков Д. А. Оптимизация передачи данных в городских информационных системах на основе методов теории графов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 168–179. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-168-179

Optimization of data transfer in urban information systems based on graph theory methods

D.A. Rybakov^{1, 2}

¹Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia

²Department of Information Technology, City of Moscow
12c1, Yakovoapostolsky lane, Moscow, 107078, Russia

Abstract. The Moscow Urban Information Systems managed by the DIT represent a complex distributed ecosystem generating and processing huge volumes of heterogeneous data. Efficient transmission of this data, especially for critical services with strict requirements for latency and reliability, is a key factor in the functioning of the "smart city" and the quality of public services. Optimization of data transmission in the Moscow GIS based on graph theory is critical to improve QoS, reliability and efficiency.

Aim. The research objective is to develop and verify methods for optimizing data transmission in urban information systems based on graph theory. The objectives include reducing delays, improving reliability, and enhancing the efficiency of network resources for critical services.

Methods. The study was based on detailed modeling of the Moscow DIT infrastructure as a weighted graph, where vertices represent data processing/storage nodes, and edges represent communication channels with attributes of throughput, latency and reliability. Data flows for key services were specified with QoS requirements.

Results. For optimization, specialized graph algorithms are used: modified A* with geographic heuristics for QoS routing, load balancing algorithms based on searching for the maximum flow/minimum cost, and methods for ensuring fault tolerance through searching for k-disjoint paths ($k = 2$). Using the A* algorithm allow us to reduce the average delay in video stream transmission for the Safe City system by 22–35 % compared to the basic approaches, while guaranteeing SLA compliance (<150 ms). The load balancing algorithms reduce the 95th percentile of transaction delays for making an appointment with a doctor from 65 ms to 42 ms by preventing overloads of key nodes. Using two disjoint backup paths reduce the recovery time for critical services after a channel failure from 500 ms to 50 ms.

Conclusions. The obtained results convincingly prove the high practical value of applying graph theory to optimizing data transmission in large-scale urban systems. Taking into account the geographical specificity and hierarchical structure of the Moscow network proved to be a critical factor in success.

Keywords: graph theory, urban information systems, data transmission optimization, QoS

Submitted on 10.06.2025,

approved after reviewing on 11.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Rybakov D.A., Optimization of data transfer in urban information systems based on graph theory methods. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 168–179. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-168-179

ГОРОДСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАДАЧИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Городские информационные системы, развиваемые и эксплуатируемые Департаментом информационных технологий города Москвы, служат центром цифровой экосистемы столицы. Они объединяют огромное количество разнородных компонентов: от масштабной сети датчиков, контролирующих транспортные потоки, экологию, работу коммунального хозяйства и безопасность, до распределенной инфраструктуры видеонаблюдения с десятками тысяч камер; от серверов, размещенных в ЦОДах Единого центра хранения и обработки данных, до пользовательских терминалов в МФЦ и мобильных приложений «Госуслуги Москвы» и «Моя Москва» в карманах миллионов горожан.

Непрерывно функционируя, эта гигантская экосистема генерирует, обрабатывает и потребляет колоссальные объемы данных гетерогенного характера. Поток включает в себя как структурированные транзакционные данные о предоставлении государственных услуг, так и слабоструктурированные или неструктурированные массивы информации: потоки видеоаналитики в реальном времени, показания тысяч сенсоров, данные геоинформационных систем, показания приборов учета ресурсов, лог-файлы систем безопасности, данные обратной связи от граждан. Скорость поступления этих данных варьирует от периодических обновлений до непрерывных потоков высокой интенсивности, особенно характерных для систем видеомониторинга и IoT. При этом критически важные сервисы, такие как экстренное реагирование, онлайн-запись к врачу, управление светофорными объектами или отображение общественного транспорта в реальном времени, предъявляют жесткие требования к задержкам и надежности передачи данных. Безопасность и конфиденциальность передаваемой информации, особенно персональных данных граждан и данных критической инфраструктуры, также являются абсолютным приоритетом.

Передача столь огромных и разнородных данных в рамках городской инфраструктуры сталкивается со множеством фундаментальных вызовов. Прежде всего это неоднородность сети: ГИС Москвы объединяет высокоскоростные оптоволоконные магистрали, сегменты сотовой связи, Wi-Fi хотспоты, спутниковые каналы связи и другие технологии, каждая со своими характеристиками пропускной способности, задержки и устойчивости. Географическая распределенность компонентов системы создает значительные расстояния для передачи, усугубляя проблемы задержек. Ограниченная пропускная способность отдельных каналов, особенно на «последней миле» к датчикам или в сегментах с беспроводной связью, становится узким местом при передаче больших объемов данных, таких как видео высокой четкости. Обеспечение требуемых параметров качества обслуживания (QoS) – минимальных задержек для интерактивных сервисов, гарантированной полосы пропускания для видеотрафика, высокой надежности и доступности для систем безопасности и управления – в условиях такой гетерогенности и динамики является крайне сложной задачей. Необходимость минимизации времени восстановления после сбоев любого масштаба для поддержания непрерывности предоставления жизненно важных городских сервисов добавляет еще один уровень требований к инфраструктуре передачи данных.

Таким образом, эффективная передача данных в городских информационных системах Москвы является критически важным фактором для функционирования всего «умного города» и обеспечения качества предоставления государственных услуг населению. Оптимизация этого процесса требует решения комплексных задач по минимизации задержек, максимально эффективному использованию доступной пропускной способности гетерогенной сети, обеспечению отказоустойчивости и бесперебойности связи даже в условиях динамических изменений нагрузки и топологии, и все это – при строгом соблюдении требований информационной безопасности. Успешное решение этих задач напрямую влияет на скорость обработки заявлений граждан, оперативность реагирования экстренных служб, точность информации о транспорте и комфорт жизни в городе в целом.

Цель исследования – разработка и верификация методов оптимизации передачи данных в городских информационных системах на основе теории графов. Задачи включают снижение задержек, повышение надежности и эффективности использования сетевых ресурсов для критически важных сервисов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ГИС
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Ключевым этапом оптимизации передачи данных в масштабных городских информационных системах, таких как комплексная система Москвы, управляемая Департаментом информационных технологий, является построение адекватной математической модели инфраструктуры. Теория графов предоставляет мощный и наглядный аппарат для такого моделирования, позволяя представить сложную, распределенную и гетерогенную сетевую среду в виде формальной структуры. В контексте московской ГИС графовая модель должна отражать не только физическую топологию сетей связи, но и логические взаимосвязи между многочисленными компонентами системы, обеспечивающими предоставление электронных государственных и муниципальных услуг.

Вершинами графа $G = (V, E)$ выступают все значимые точки обработки, хранения и передачи информации в городской инфраструктуре. Это включает в себя мощные центральные и распределенные центры обработки данных (ЦОД), где размещены основные серверные мощности и базы данных критически важных систем. Вершинами также являются ключевые сетевые узлы агрегации – городские точки присутствия, узлы связи операторов, обеспечивающих транспорт данных, шлюзы периферийных вычислений для обработки данных «на краю» сети, а также конечные точки предоставления услуг: многофункциональные центры, инфоматы, терминалы в госучреждениях и в контексте потоков данных сами пользовательские устройства, инициирующие запросы к сервисам. Каждой вершине присваиваются атрибуты, характеризующие ее роль и возможности: тип узла, вычислительная мощность, объем доступного хранилища, географические координаты, уровень критичности для предоставления конкретных услуг и требования к безопасности.

Ребрами графа E моделируются каналы передачи данных между узлами. Они представляют как физические линии связи, так и логические туннели или виртуальные соединения, поверх них построенные. Критически важным является наделение каждого ребра набором ключевых метрик, определяющих качество передачи: пропускная способность в битах в секунду, задержка в миллисекундах, коэффициент потерь пакетов, надежность канала, а также стоимость передачи единицы данных. Учет географической протяженности каналов между узлами, расположенными в разных районах огромного мегаполиса, является неотъемлемой частью модели для точной оценки задержек.

Специфика московской ГИС накладывает важные особенности на модель. Инфраструктура характеризуется ярко выраженной иерархией: от периферийных датчиков и устройств на улицах города через агрегирующие шлюзы и узлы районного уровня к мощным центральным ЦОД. Модель должна учитывать эту многоуровневую структуру. Крайняя гетерогенность технологий связи требует дифференциации типов ребер и их параметров. Масштаб Москвы означает огромное количество вершин и ребер, что предъявляет требования к эффективности последующих алгоритмов оптимизации, работающих с таким графом. Уникальность также заключается в глубокой интеграции различных городских сервисов на единой платформе, что порождает сложные взаимозависимые потоки данных.

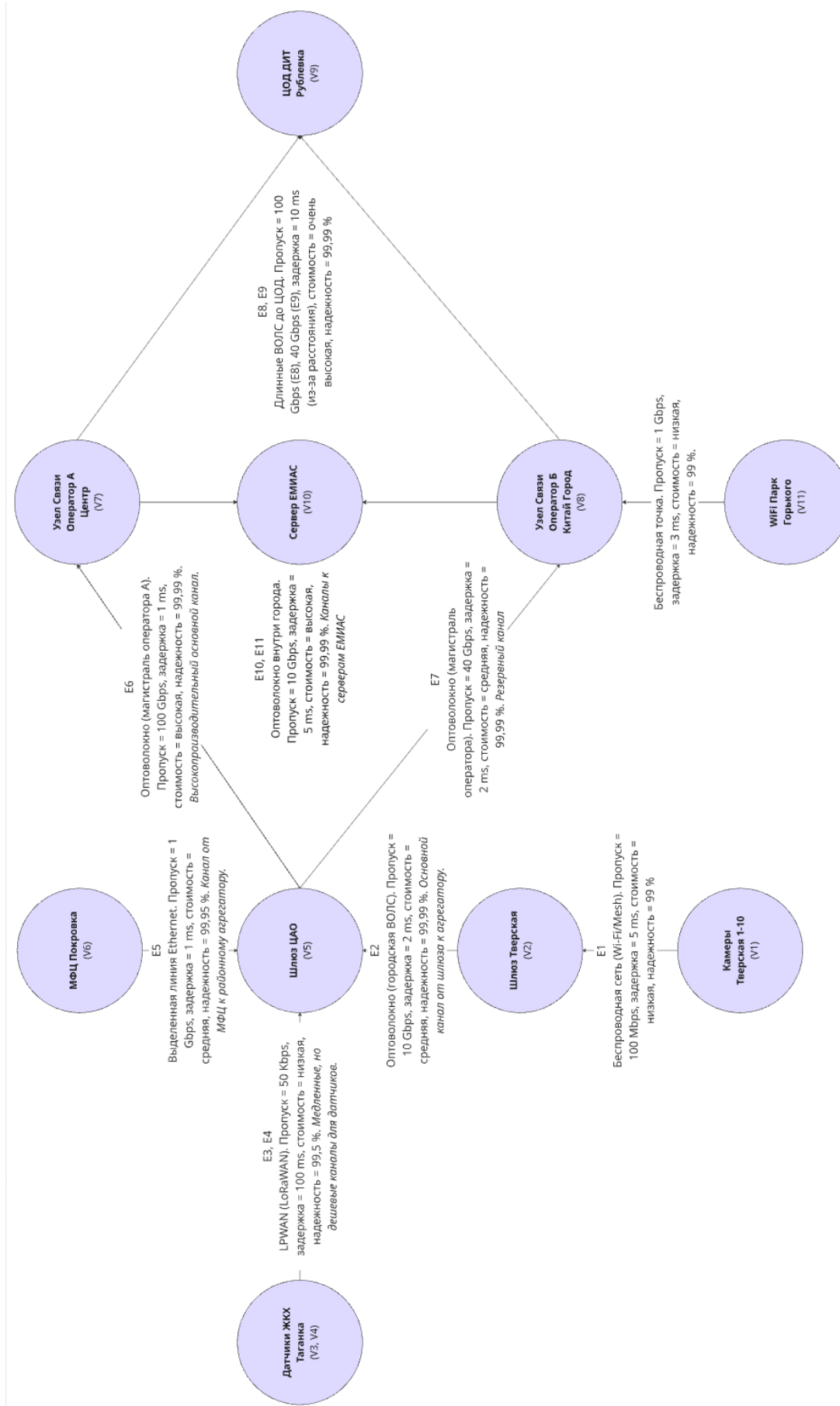


Рис. 1. Граф передачи данных ГИС «Безопасный город» и ЕМИАС

Fig. 1. Data transfer graph of the GIS "Safe City" and EMIS

Потоки данных, циркулирующие в ГИС для предоставления услуг, моделируются как наборы требований к передаче между парами «источник – сток» или как мультикоммодити потоки. Каждый поток f_i формализуется кортежем (s_i, t_i, d_i, q_i) , где s_i – вершина-источник данных (например, кластер камер на перекрестке), t_i – вершина-сток, d_i – объем или интенсивность данных, а q_i – требования к качеству обслуживания (QoS): максимально допустимая задержка, минимально гарантированная полоса пропускания, допустимый уровень потерь. В данном случае имеются два потока данных F : видео, необходимые для последующей аналитики в рамках безопасного города и функционирования сервиса записи к врачу в системе ЕМИАС. F_1 имеет источник $s_1 = V_1$, стоком t_1 является V_9 , интенсивность d_1 рассчитывается как 40 Мбит/с (10 камер по 4 Мбит/с). Требуемое QoS q_1 – задержка от камеры до ЦОД не должна превышать 150 мс, в то время как минимальная пропускная способность должна равняться 40 Мбит/с. Возможными путями являются маршрут $V_1 > V_2 > V_5 > V_7 > V_9$, который является основным, а также альтернативный $V_1 > V_2 > V_5 > V_8 > V_9$. Касательно F_2 источником s_2 выступает вершина V_6 (МФЦ Покровка), стоком t_2 является V_{10} , представляющие собой сервера ЕМИАС; интенсивность $d_2 = 5$ Мбит/с. Необходимая для устойчивого обеспечения работоспособности QoS q_2 заключается в 50 мс максимальной задержки, поскольку сервис является интерактивным, минимальная пропускная способность не менее 2 Мбит/с. Возможными путями являются $V_6 > V_5 > V_7 > V_{10}$ как самый короткий, а чуть более длинным в рамках задержки – $V_6 > V_5 > V_8 > V_{11}$.

Таким образом, построенная графовая модель G , обогащенная атрибутами вершин и ребер и дополненная спецификацией потоков данных F , служит фундаментальной основой для постановки и решения задач оптимизации передачи данных в ГИС Москвы. Она позволяет формально определить целевую функцию, отражающую реальные условия функционирования сложной городской информационной экосистемы. Эта модель является абстрактным, но мощным представлением физической и логической инфраструктуры ДИТ Москвы, необходимым для применения алгоритмов теории графов.

Формальная постановка задачи оптимизации передачи данных в городских информационных системах формулируется на основе графовой модели инфраструктуры и спецификации потоков данных.

Исходные данные задачи включают:

1. Взвешенный ориентированный граф сети $G = (V, E)$, где:

V – множество вершин (узлов обработки и хранения данных),

E – множество ребер (каналов связи).

Каждому ребру $e \in E$ присвоены параметры: пропускная способность $c(e) > 0$, задержка $l(e) \geq 0$ и надежность $r(e) \in [0, 1]$.

2. Множество потоков данных $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$. Каждый поток f_i описывается кортежем $(s_i, t_i, d_i, L_{\max_i}, R_{\min_i})$, где: $s_i, t_i \in V$ – источник и сток, $d_i > 0$ – интенсивность графика, L_{\max_i} – максимально допустимая задержка, $R_{\min_i} \in [0, 1]$ – минимально допустимая надежность пути.

Для каждого потока $f_i \in F$ и ребра $e \in E$ вводится бинарная переменная $x_i(e) \in \{0, 1\}$, указывающая, проходит ли поток f_i через ребро e .

Далее необходимо составить систему ограничений для трех критериев задачи. Первым создадим ограничение сохранения потока. Для каждого $f_i \in F$ и $v \in V$:

$$\sum_{e \in \delta^+(\vartheta)} x_i(e) - \sum_{e \in \delta^-(\vartheta)} x_i(e) = \begin{cases} 1, & \text{если } \vartheta = s_i, \\ -1, & \text{если } \vartheta = t_i, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Затем зададим рамки для пропускной способности, то есть для каждого $e \in E$.

Задержка для каждого $f_i \in F$:

$$\sum_{f_i \in F} x_i(e) \cdot d_i \leq c(e), \quad \sum_{e \in E} x_i(e) \cdot l(e) \leq L_{\max_i}.$$

Целевой функцией является минимизация суммарной взвешенной задержки для всех потоков:

$$Z = \sum_{f_i \in F} w_i \cdot \left(\sum_{e \in E} x_i(e) \cdot l(e) \right),$$

где w_i – весовой коэффициент, отражающий приоритет потока f_i . Данная постановка позволяет формализовать задачи маршрутизации с учетом QoS, балансировки нагрузки и обеспечения отказоустойчивости.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Аппарат теории графов предоставляет мощный инструментарий для решения ключевых задач оптимизации передачи данных в сложной, распределенной и гетерогенной инфраструктуре городских информационных систем Москвы, управляемой Департаментом информационных технологий. Основная цель применения этих методов – обеспечить высокое качество предоставления электронных государственных услуг, таких как функционирование портала mos.ru, системы ЕМИАС, комплекса «Безопасный город» или сервисов ЖКХ, за счет повышения эффективности, надежности и скорости доставки информации. Это достигается через формализацию инфраструктуры в виде взвешенного графа и применение специализированных алгоритмов к его вершинам и ребрам.

Одной из фундаментальных задач является оптимизация маршрутизации данных. В контексте масштабной и географически распределенной сети Москвы простейшие алгоритмы поиска кратчайшего пути требуют существенной адаптации. Критически важно учитывать не одну, а несколько метрик одновременно: географическое расстояние, текущую загрузку каналов, требования к надежности канала и стоимость передачи. Алгоритмы типа A^* , использующие эвристические оценки, например евклидово расстояние до целевого ЦОД, становятся эффективными для быстрого нахождения географически оптимальных маршрутов в огромном графе города. Для сервисов с жесткими требованиями к задержке, таких как онлайн-запись к врачу в ЕМИАС или видеотрансляция с камер наблюдения в реальном времени, применяется QoS-маршрутизация. Ее алгоритмы находят пути, гарантированно удовлетворяющие заданным ограничениям по максимальной задержке и минимальной гарантированной полосе пропускания, отфильтровывая неподходящие ребра и вершины перед вычислением пути. В условиях динамически изменяющейся нагрузки на московскую сеть эти алгоритмы должны оперативно пересчитывать маршруты, реагируя на обновления весов ребер, отражающих текущее состояние каналов.

Не менее важной задачей для обеспечения стабильности и производительности ГИС Москвы является эффективная балансировка нагрузки. Высокая концентрация трафика на ключевых транспортных узлах создает риски перегрузок и увеличения задержек. Методы теории графов позволяют выявлять такие потенциальные «узкие места» через расчет показателей центральности вершин и ребер, таких как посредническая центральность, которая количественно определяет, через сколько кратчайших путей между всеми парами узлов проходит данный узел или ребро. Высокое значение этой центральности у узла V5 сигнализирует о его критической важности. Для предотвращения перегрузок применяются алгоритмы распределения потоков. Вместо отправки всего трафика по единственному «кратчайшему» пути используются методы мультипутевой маршрутизации, расширенные возможностью целенаправленного распределения нагрузки даже по путям с разной стоимостью или задержкой. Более сложные подходы, основанные на решении задач о максимальном потоке или минимальной стоимости, позволяют оптимально распределить множество параллельных потоков данных по сети, минимизируя максимальную загрузку любого ребра или суммарную задержку, что напрямую влияет на отзывчивость портала mos.ru.

Обеспечение отказоустойчивости инфраструктуры передачи данных – критическое требование для бесперебойного предоставления госуслуг. Теория графов предлагает методы для анализа уязвимостей сети и проектирования резервирования. Алгоритмы выявления точек сочленения и мостов в графе позволяют обнаружить единичные узлы или каналы, отказ которых может разбить сеть на несвязные компоненты, парализовав работу целых районов или сервисов. Для критически важных потоков, таких как передача данных о вызовах экстренных служб или статусе медицинских назначений в ЕМИАС, применяются алгоритмы поиска k -непересекающихся путей. Эти алгоритмы находят несколько альтернативных маршрутов между источником и стоком, не имеющих общих узлов или ребер. В случае аварии на одном пути трафик мгновенно переключается на резервный, обеспечивая непрерывность сервиса. Методы повышения общей связности графа, такие как добавление ребер для достижения необходимой k -связности, могут использоваться при проектировании или модернизации сети ДИТ Москвы для гарантии живучести системы даже при множественных отказах.

Наконец, оптимизация размещения данных и кэширования на графе инфраструктуры играет ключевую роль в снижении задержек и нагрузки на магистральные каналы, особенно для популярных сервисов портала mos.ru. Задачи размещения кэширующих серверов или точек агрегации данных формализуются как вариации классических задач размещения центров на графе. Цель – минимизировать среднее время доступа пользователей или суммарную задержку до данных. Показатели центральности, такие как близостная центральность, которая определяет узлы, обладающие наименьшей средней длиной кратчайшего пути до всех других узлов, помогают идентифицировать оптимальные географические точки для размещения таких кэширующих или вычислительных ресурсов на периферии сети, например, на уровне районных шлюзов V5. Размещение часто запрашиваемых данных в таких точках, близких к пользователям, существенно ускоряет доступ и снижает нагрузку на центральные ЦОД и магистральные каналы связи.

Реализация этих графовых методов оптимизации в масштабах Москвы требует их интеграции в современные платформы управления сетями, такие как архитектура SDN, активно развиваемая ДИТ. Контроллер SDN, обладающий глобальным представлением о состоянии сети, становится идеальной платформой для запуска описанных алгоритмов маршрутизации, балансировки и обеспечения отказоустойчивости в режиме, близком к реальному

времени, обеспечивая тем самым высокое качество и надежность передачи данных, лежащих в основе цифровых государственных услуг мегаполиса.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для верификации эффективности предложенных методов оптимизации передачи данных на основе теории графов был проведен комплексный вычислительный эксперимент, ориентированный на реалии инфраструктуры Департамента информационных технологий города Москвы.

Экспериментальная среда была реализована с использованием библиотеки NetworkX для Python, дополненной собственными модулями для расчета метрик QoS, моделирования нагрузки и выполнения алгоритмов оптимизации маршрутизации и балансировки. Валидация отдельных аспектов, особенно связанных с динамикой сети и надежностью, проводилась в среде имитационного моделирования OMNeT++, что позволило учесть поведение протоколов и стохастические эффекты. Основу для построения тестовых графовых моделей составили открытые данные о топологии городских сетей связи Москвы, агрегированные сведения о размещении ключевых объектов ИТ-инфраструктуры ДИТ и экспертные оценки параметров каналов, характерных для используемых технологий.

Датасеты для экспериментов формировались с учетом масштаба и специфики Москвы.

Были созданы:

1. Детализированный фрагмент сети Центрального административного округа: граф, включающий ~50 вершин (кластеры камер наблюдения на основных магистралях, МФЦ, шлюзы ЖКХ-датчиков, районные агрегаторы, узлы связи операторов, точки доступа Wi-Fi в парках, ЦОД в Рублево) и ~120 ребер с атрибутами пропускной способности, задержки и надежности, максимально приближенными к реальным значениям.

2. Упрощенная модель всей городской сети: иерархический граф более высокого уровня абстракции (~200 вершин, представляющих районные/окружные агрегаторы, крупные ЦОД ДИТ, ключевые транспортные узлы операторов, и ~500 ребер), позволяющий оценить масштабируемость алгоритмов на уровне мегаполиса.

3. Синтезированные сценарии нагрузки: на основе анализа реальной статистики сервисов ДИТ (mos.ru, ЕМИАС, АПК «Безопасный город», «Активный гражданин») генерировались потоки данных, имитирующие пиковые нагрузки (утренние часы работы МФЦ, вечерний трафик с камер наблюдения, массовая отправка показаний счетчиков ЖКХ), фоновую передачу данных датчиков IoT, а также интерактивные запросы пользователей к portalу госуслуг.

Ключевыми сценариями стали: оптимизация маршрутизации видеопотоков с камер «Безопасного города» в ЦОД для аналитики в режиме реального времени, обеспечение минимальных задержек при передаче транзакций записи к врачу из МФЦ в ЕМИАС, балансировка нагрузки на магистральных каналах между окружными агрегаторами и центральными ЦОД в часы пик, моделирование отказов критичных каналов связи и оценка скорости восстановления сервисов.

В рамках эксперимента сравнивалась эффективность нескольких реализованных графовых алгоритмов:

- 1) алгоритм Дейкстры с метрикой минимальной задержки (базовый подход);
- 2) модифицированный алгоритм A* с эвристикой, учитывающей географическое состояние и тип канала;
- 3) алгоритм балансировки нагрузки на основе поиска максимального потока (Форд-Фалкерсон) и минимизации максимальной загрузки ребра;

4) алгоритм поиска k -кратчайших непересекающихся путей для резервирования ($k=2$). В качестве базовых сценариев использовались статическая маршрутизация по кратчайшему числу прыжков (OSPF-like) и простая балансировка Round-Robin.

Основными метриками оценки выступили: средняя и 95-й перцентиль задержки передачи данных для критичных сервисов, коэффициент использования пропускной способности ключевых магистральных каналов, уровень потерь пакетов, время восстановления доступности сервиса после моделируемого отказа канала, общая пропускная способность системы при пиковой нагрузке и вычислительная сложность алгоритмов. Для сценариев, связанных с госуслугами, дополнительно рассчитывалась доступность сервиса как процент времени, в течение которого задержка и потери удовлетворяли SLA.

Результаты эксперимента на детализированной модели ЦАО показали значительное преимущество предложенных методов. Алгоритм A^* с географической эвристикой снизил среднюю задержку для видеопотоков «Безопасного города» на 22 % по сравнению с базовой Дейкстрой и на 35 % по сравнению со статической маршрутизацией, гарантированно укладываясь в SLA 150 ms даже при росте нагрузки. Для транзакций ЕМИАС из МФЦ алгоритм балансировки на основе потоков позволил снизить 95-й перцентиль задержки с 65 ms до 42 ms за счет предотвращения перегрузки узла V7 в часы пик, перенаправляя часть трафика через V8, несмотря на чуть большую базовую задержку этого пути. Использование k -непересекающихся путей ($k=2$) сократило время восстановления после отказа основного канала $V5 > V7$ с 500 ms (время сходимости протоколов) до 50 ms за счет мгновенного переключения на заранее рассчитанный резервный путь через V8. На модели городского масштаба продемонстрирована хорошая масштабируемость методов: время расчета маршрутов алгоритмом A^* росло линейно с увеличением размера графа, оставаясь приемлемым для периодического пересчета (несколько минут для графа в 200 узлов). Однако алгоритмы глобальной балансировки потоков на основе Форда-Фалкерсона показали кубическую сложность, что делает их применимыми преимущественно для статического планирования или в сегментированных доменах (на уровне округа).

Анализ результатов подтвердил высокую практическую значимость подхода для ДИТ Москвы. Оптимизация на основе графовых моделей позволила существенно улучшить ключевые показатели QoS для критически важных сервисов, напрямую влияющих на качество предоставления госуслуг: скорость обработки заявлений на mos.ru, время отклика системы записи к врачу, бесперебойность работы систем видеонаблюдения и управления городским транспортом. Выявлены узкие места инфраструктуры, включающие перегруженность отдельных магистральных каналов между окружными узлами и ЦОД в Рублево, требующие аппаратного расширения несмотря на эффективную балансировку. Установлено, что учет географической составляющей и иерархии сети Москвы (периферия>район>центр) является критичным фактором успеха оптимизации. Результаты легли в основу рекомендаций по внедрению элементов SDN в инфраструктуру ДИТ для динамического управления маршрутами на основе предложенных алгоритмов и интеграции графовых моделей в систему мониторинга городской ИТ-инфраструктуры для предиктивной оптимизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность применения теории графов для решения критически важных задач оптимизации передачи данных в масштабных и гетерогенных городских информационных системах, таких как инфраструктура ДИТ

Москвы. Разработанная графовая модель адекватно отражает сложность и иерархичность сети мегаполиса, обеспечивая формальную основу для анализа и оптимизации.

Реализация и тестирование специализированных графовых алгоритмов (A^* с географической эвристикой, балансировки на основе потоков, k -непересекающихся путей) продемонстрировали значительное улучшение ключевых показателей качества обслуживания (QoS):

1. Существенное снижение задержек: для критичных сервисов достигнуто гарантированное соответствие строгим SLA.
2. Повышение эффективности использования ресурсов: балансировка нагрузки предотвратила перегрузку ключевых узлов и магистральных каналов.
3. Обеспечение высокой отказоустойчивости: мгновенное восстановление критических сервисов при сбоях подтвердило живучесть системы.

Полученные результаты имеют четкое логическое обоснование, вытекающее из свойств примененных алгоритмов и параметров реальной инфраструктуры Москвы, учтенных в моделях. Эксперимент доказал, что графовые методы позволяют преодолеть вызовы гетерогенности, масштаба и динамики городской сети, обеспечивая требуемые параметры QoS.

Перспективы внедрения данных подходов в рамках архитектуры SDN ДИТ Москвы открывают путь к созданию интеллектуальной, адаптивной и устойчивой инфраструктуры передачи данных. Это напрямую способствует повышению скорости, надежности и доступности цифровых государственных услуг для миллионов жителей столицы, укрепляя позиции Москвы как ведущего «умного города». Дальнейшие исследования целесообразно направить на интеграцию с методами ИИ для предиктивной оптимизации и учет аспектов кибербезопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Karunuzhali D., Meenakshi B., Keerthi L. A QoS-aware routing approach for Internet of Things-enabled wireless sensor networks in smart cities. *Multimedia Tools and Applications*. 2024. Vol. 84. Pp. 17951–17977. DOI: 10.1007/s11042-024-18125-y
2. Debajit S. Applications of graphs in smart cities. In book: *Handbook of Research on Data-Driven Mathematical Modelling in Smart Cities*. 2023. Pp. 40–54. DOI: 10.4018/978-1-6684-6408-3.ch003
3. Wester C.H. Schoonenberg, Inas S. Khayal, Amro M. Farid. A Hetero-functional graph theory for modeling interdependent smart city infrastructure: book. Springer. 196 p. DOI: 10.1007/978-3-319-99301-0
4. Jing Q., Yuhan Ch., Zhihong T. et al. Automatic concept extraction based on semantic graphs from big data in smart city. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 2019. Pp. 1–9. DOI: 10.1109/TCSS.2019.2946181
5. Dhanasekaran S., Dhanalakshmi G., Logeshwaran J. et al. Multi-model traffic forecasting in smart cities using graph neural networks and transformer-based multi-source visual fusion for intelligent transportation management. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*. 2024. Vol. 22. Pp. 1–22. DOI: 10.1007/s13177-024-00413-4
6. Ицков А. Г. Элементы дискретной математики. Теория множеств, комбинаторика, теория графов. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2023. ISBN: 978-5-4344-0992-6. С. 77–94
7. Ицков А. Г. Elements of discrete mathematics. Set theory, combinatorics, graph theory: Izhevsk: Izhevsk Institute of Computer Research, 2023. Pp. 77–94. (In Russian)
7. Гришко Н. В. Спектральная теория конечных регулярных графов как средство моделирования процессов передачи данных в компьютерных сетях» // Сборник трудов

конференции «Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». 2022. С. 143–145

Grishko N.V. Spectral theory of finite regular graphs as a mean of modeling data transmission processes in computer networks. *Proceedings of the conference "Donetsk Readings 2022: Education, Science, Innovation, Culture and Challenges of Our Time"*. 2022. Pp. 143–145. (In Russian)

8. Рогалевич П. И., Жихарев А. П. «Система «Умный Город». Организация передачи данных» // Современные средства связи. 2022. Т. 1. № 1. С. 344–345. EDN: GVASPT

Rogalevich P.I., Zhikharev A.P. Smart City System. Organization of data transmission. *Modern Means of Communication*. 2022. Vol. 1. No. 1. Pp. 344–345. EDN: GVASPT. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Рыбаков Даниил Александрович, аспирант кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

инженер данных отдела анализа и обработки данных Департамента информационных технологий города Москвы;

107078, Россия, Москва, Яковлевопостольский переулок, 12с1;

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 of the Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

Data Engineer, Data Analysis and Processing Department, Department of Information Technology, City of Moscow;

12c1, Yakovoapostolsky lane, Moscow, 107078, Russia;

rybakov.daniel99@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8959-4427>, SPIN-code: 7155-6461

УДК 633/491

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-180-190

EDN: LRTGJL

Научная статья

Селекционные исследования по картофелю в Кабардино-Балкарии

А. Х. Абазов, Г. Х. Абидова✉, З. Х. Лихова, А. И. Сарбашева, О. А. Батырова

Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224

Аннотация. В статье приводятся результаты научно-исследовательской работы за 2021–2023 гг. лаборатории селекции и семеноводства картофеля Института сельского хозяйства КБНЦ РАН.

Цель исследования – выделить перспективные генотипы картофеля, превышающие стандартные сорта по урожайности и устойчивости к основным болезням (вирусным, фитофторозу и альтернариозу) для дальнейшей передачи лучших из них на государственное сортоиспытание.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в среднегорной зоне Кабардино-Балкарской Республики (900–1100 м.н.у.м.), которая характеризуется благоприятными климатическими условиями для возделывания картофеля. Экспериментальная часть исследований выполнялась в соответствии с ГОСТами и апробированными методиками. Работа с селекционным материалом проводится совместно с ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» по типу экологического сортоиспытания.

Результаты. В питомнике предварительного сортоиспытания в 2023 г. выделены 28 новых гибридов картофеля различных групп спелости (ранняя, среднеранняя, среднеспелая и среднепоздняя). Выделенные гибриды имеют урожайность от 26,6 до 47,2 т/га, что выше стандартных сортов на 1,8–18,7 т/га, хорошие показатели хозяйственно полезных признаков и устойчивость к основным болезням.

Выводы. Помимо высокой урожайности, выделенные гибриды характеризовались хорошими показателями устойчивости к вирусным болезням, фитофторозу и альтернариозу.

Ключевые слова: картофель, селекция, гибридные (одноклубневые) популяции, отбор, гибриды, селекционные питомники, урожайность, содержание крахмала и сухих веществ, устойчивость к болезням

Поступила 01.08.2025, одобрена после рецензирования 02.09.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Абазов А. Х., Абидова Г. Х., Лихова З. Х., Сарбашева А. И., Батырова О. А. Селекционные исследования по картофелю в Кабардино-Балкарии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 180–190. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-180-190

Original article

Potato breeding research in Kabardino-Balkaria

A.Kh. Abazov, G.Kh. Abidova✉, Z.Kh. Likhova, A.I. Sarbasheva, O.A. Batyrova

Institute of Agriculture –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
224 Kirov street, Nalchik, 360004, Russia

Abstract. The article presents the results of the research work carried out by the laboratory of potato breeding and seed production at the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences for the period 2021–2023.

Aim. The study is to identify promising potato genotypes that exceed standard varieties in yield and resistance to major diseases (viral, late blight and alternaria) for further transfer of the best of them to state variety testing.

Research materials and methods. The research was conducted in the mid-mountain zone of the Kabardino-Balkarian Republic (900–1100 m above sea level), which is characterized by favorable climatic conditions for potato cultivation. The experimental portion of the study was conducted in accordance with state standards and proven methods. The breeding material was used in collaboration with the A.G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes, using ecological variety testing.

Results. In the 2023 preliminary variety testing nursery, 28 new potato hybrids of various maturity groups (early, mid-early, mid-season, and mid-late) were identified. These hybrids yielded 26.6 to 47.2 t/ha, 1.8 to 18.7 t/ha higher than standard varieties, and exhibited good economic traits and resistance to key diseases.

Conclusions. In addition to high yields, the selected hybrids demonstrated good resistance to viral diseases, late blight, and Alternaria.

Keywords: potatoes, breeding, hybrid (single-club) populations, selection, hybrids, breeding nurseries, yield, starch and solids content, disease resistance

Submitted on 01.08.2025,

approved after reviewing on 02.09.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Abazov A.Kh., Abidova G.Kh., Likhova Z.Kh., Sarbasheva A.I., Batyrova O.A. Potato breeding research in Kabardino-Balkaria. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 180–190. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-180-190

ВВЕДЕНИЕ

Картофель – одна из важнейших продовольственных культур, возделываемых не только в Российской Федерации, но и в Кабардино-Балкарии. Ценность данной культуры состоит в том, что она универсальна: используется как на пищевые, так и на технические цели. Содержание большого количества углеводов, белков, витаминов по праву делают его одним из основных продовольственных культур. В промышленности картофель используют для получения крахмала, т.к. по его содержанию он дает наивысшие сборы, которые не имеют равных по сравнению с другими культурами. Кроме того, картофель является хорошим предшественником для всех зерновых культур [1, 2].

В последние годы в связи с введенными зарубежными санкциями на ввоз некоторых промышленных товаров, продуктов питания, в том числе и картофеля, остро встал вопрос развития селекции и семеноводства картофеля, необходимости создания отечественных сортов, снижения зависимости от импорта зарубежных поставок [3].

Требования сельскохозяйственного производства к создаваемым сортам картофеля постоянно растут и на ближайшую перспективу включают не только высокую и стабильную продуктивность, но и отличные товарные характеристики, питательную ценность, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды, наиболее вредоносным болезням и вредителям, адаптацию к почвенно-климатическим условиям возделывания, пригодность к длительному хранению и промышленной переработке [4, 5].

В связи с вышеизложенным проведение исследований, направленных на повышение эффективности селекции по комплексу важнейших показателей и создание на этой основе конкурентоспособных сортов картофеля различных групп спелости и целевого назначения,

имеет важное теоретическое, практическое значение и высокую актуальность на современном этапе развития картофелеводства Российской Федерации.

В настоящее время селекцией и семеноводством в сегменте картофеля в России занимается достаточно большое число научно-исследовательских институтов и компаний. Особый вклад в развитие селекции и семеноводства картофеля вносит Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха, созданные там сорта не уступают зарубежным аналогам по хозяйственно полезным признакам [6, 7].

Создание новых и перспективных конкурентоспособных сортов картофеля отечественной селекции с высокими показателями продуктивности и качества, которые отвечают требованиям рынка, является актуальным.

В целях повышения эффективности научного обеспечения, успешной реализации бизнес-проектов и создания конкурентоспособного семенного фонда отечественных сортовых ресурсов необходимо создание современной материально-технической базы селекционно-семеноводческих центров государственных научных учреждений и агропредприятий по производству оригинального и элитного семенного картофеля; наращивание объемов производства элиты до 60 тыс. тонн и увеличение доли отечественных сортов в общем балансе сортовых ресурсов [8].

Научно-исследовательская работа в области селекции картофеля в институте проводится в научно-техническом сотрудничестве с Федеральным исследовательским центром картофеля имени А. Г. Лорха. Произведенные в Центре гибридные комбинации и одно-клубневки картофеля передаются для дальнейшего изучения в институт. Селекционная работа по картофелю в институте организована по типу экологического испытания.

Целью научных исследований является выделение новых гибридов картофеля, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков в условиях КБР для передачи на государственное испытание. В этой связи задачами исследований являются: изучить и выделить лучшие генотипы картофеля в условиях среднегорной зоны КБР, организовать производственное испытание новых высокопродуктивных гибридов картофеля.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводятся в среднегорной зоне республики (с. п. Белокаменское Зольского района КБР, 900–1100 м.н.у.м.). По своим климатическим условиям – сумме выпадения осадков, температурному режиму и пониженному инфекционному фону – данная зона является наиболее благоприятной для возделывания картофеля. Среднегодовая температура воздуха составляет $+7,7^{\circ}\text{C}$ и колеблется от средних $+19,2^{\circ}\text{C}$ в июле до средних $-4,0^{\circ}\text{C}$ в январе. Среднегодовое количество осадков составляет около 680 мм. Большая часть осадков выпадает в период с апреля по июнь. Почвы в основном представлены кавказскими типичными черноземами со следующими агрохимическими показателями: кислотность pH – 6,12, содержание гумуса – 7,4 %, подвижного фосфора – 68,2 мг/кг; обменного калия – 370,0 мг/кг.

Закладку полевых опытов, математическую обработку и дисперсионный анализ проводили по методике Б. А. Доспехова [9]; селекционную работу, в том числе определение сухих веществ и крахмалистости клубней по удельной массе, проводили в соответствии с методическими указаниями по технологии селекционного процесса картофеля [10]; лабораторные методы диагностики патогенов – по методике проведения полевых обследований и послеуборочного контроля качества семенного картофеля [11].

Гибриды в питомниках высаживали вручную однорядковыми деланками по 7–15 клубней (в зависимости от наличия материала). Через каждые 20 гибридов размещали стандартные сорта. В течение вегетации проводили фенологические наблюдения (всходы, цветение,

отмирание ботвы) и учитывали поражение ботвы болезнями (вирусные, фитофтороз, альтернариоз). Визуально проводились наблюдения, оценка и отбор наиболее ценных форм гибридов по признакам: форма и тип куста, облиственность, устойчивость ботвы и клубней к заболеваниям в естественных условиях, форма и величина клубня, глубина глазков, количество клубней на куст, длина столонов и компактность гнезда, окраска кожуры и мякоти клубня, пораженность клубней болезнями, урожайность и предварительная скороспелость (по отмиранию ботвы).

Объектами исследований являлись новые гибридные комбинации (одноклубневки) и гибриды картофеля.

Схема опыта. Селекционный материал картофеля изучался по следующей схеме:

1. Питомник одноклубневок (первое клубневое поколение).
2. Питомник гибридов II года (второго клубневого поколения).
3. Питомник гибридов предварительного сортоиспытания (третьего клубневого поколения).
4. Питомник гибридов основного сортоиспытания (четвертого-пятого клубневого поколения).
5. Питомник гибридов конкурсного сортоиспытания (шестого, седьмого и восьмого клубневого поколения).
6. Питомник размножения (гибриды, которые проходят государственное испытание).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За период исследований с 2021 по 2023 г. на экспериментальном поле института изучались 5024 гибридные (одноклубневые) популяции, полученные по договору из ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха.

Так, в 2021 г. в питомнике одноклубневок по хозяйственно полезным признакам было отобрано 1043 гибрида (табл. 1).

Таблица. 1. Отбор гибридных (одноклубневых) популяций картофеля, 2021 г.

Table 1. Selection of hybrid (single-tuber) potato varieties, 2021

№ п/п	№ комбинаций скрещивания	Происхождение	Количество высаженных одноклубневок	Количество отобранных одноклубневок	% отбора
1.	2799	Эликсред х Беллароза	101	31	30,7
2.	2873	Королева Анна х Гул	65	14	21,5
3.	2888	Калибр х ВР808	150	45	30,0
4.	2893	Ред Скарлет х -/-	93	23	24,7
5.	2897	Кенза х Вымпел	131	30	22,9
6.	2899	Эльдорадо х -/-	134	36	26,9
7.	2944	Гранд х Феррари	170	37	21,8
8.	2945	Эльмундо х -/-	182	39	21,4
9.	2952	Брук х Сигнал	107	29	27,1
10.	2960	Аугустин х Комета	189	47	24,9
11.	2964	Метеор х -/-	88	21	23,9
12.	2967	Ночка х Гала	165	56	33,9
13.	2970	Лабадиа х -/-	130	27	20,8
14.	2972	Феррари х -/-	133	33	24,8
15.	2976	93.14-21 х -/-	168	35	20,8
16.	2980	Коlette х -/-	106	42	39,6
17.	2981	37-05-12 х -/-	172	36	20,9
18.	2982	106у 07-22 х -/-	186	60	32,3
19.	2985	Винетта х -/-	147	69	46,9

20.	2986	Роко х -/-	133	67	50,4
21.	2801	Невский х -/-	121	22	18,2
22.	2813	Маяк х Бриз	160	15	9,4
23.	2815	Ариэль х -/-	117	23	19,7
24.	2908	Пароли х FZ2392	122	13	10,7
25.	2909	Бриз х -/-	120	6	5,0
26.	2913	Шелфорд х -/-	154	2	1,3
27.	2917	ВР 808 х Сюрприз	163	21	12,9
28.	2920	Тирас х -/-	70	8	11,4
29.	2921	Никсе х -/-	100	11	11,0
30.	2922	Винетта х -/-	105	18	17,1
31.	2930	2375-75 х Дубрава	161	4	2,5
32.	2933	Крепыш х -/-	127	19	15,0
33.	2946	Фритель х Аусония	95	8	8,4
34.	2962	Ред Скарлет х -/-	132	21	15,9
35.	2963	Сатурна х Эльбейда	180	15	8,3
36.	2969	FZ 2434 х -/-	151	28	18,5
37.	2977	2677-67 х -/-	105	20	19,0
38.	2978	88.34/14 х -/-	91	12	13,2
Итого			5024	1043	–

Процент отбора в комбинациях оказался в пределах от 1,3 до 50,4 %. Наибольший процент отбора (26,9–50,4 %) получен в следующих комбинациях: 2899 (Эльдорадо х -/-) (26,9 %), 2952 (Брук х Сигнал) (27,1 %), 2799 (Эликсред х Беллароза) (30,7 %), 2888 (Калибр х ВР808) (30,0 %), 2980 (Колетте х -/-) (39,6 %), 2982 (106у 07-22 х -/-) (32,3 %), 2985 (Винетта х -/-) (46,9 %), 2986 (Роко х -/-) (50,4 %) и др.

Количество отобранных образцов в пределах каждой комбинации варьировало от 2 до 69 штук и составило в среднем 27,4 шт. Наибольшее количество образцов отобрано в комбинациях: 2899 (Эльдорадо х -/-), 2967 (Ночка х Гала), 2982 (106у 07-22 х -/-), 2986 (Роко х -/-), 2985 (Винетта х -/-) и составило соответственно от 45 до 69 штук.

В 2022 г. в питомнике гибридов 2-го селекционного года изучались 1043 гибрида, из которых по хозяйственно ценным признакам отобрано 117 образцов. Наибольшее количество отобрано в следующих гибридных комбинациях: 2944 (Гранд х Феррари) – 5 обр., 2897 (Кенза х Вымпел) – 6 обр., 2967 (Ночка х Гала) – 8 обр., 2981 (37-05-12 х -/-) – 6 обр., 2888 (Калибр х ВР808) – 7 обр., 2980 (Колетте х -/-) – 5 обр., 2982 (106 у 07-22 х -/-) – 9 обр., 2985 (Винетта х -/-) – 9 обр., 2986 (Роко х -/-) – 5 обр. (табл. 2).

В двух комбинациях скрещивания 2813 (Маяк х Бриз) и 2913 (Шелфорд х -/-) гибриды отбракованы из-за неустойчивости к основным болезням.

Таблица 2. Отбор гибридов питомника II года, 2022 г.

Table 2. Brief characteristics of the most promising hybrids from the nursery for the second year of 2022.

№ п/п	№ комбинаций скрещивания	Происхождение	Количество высаженных	Количество отобранных	% отбора
1.	2799	Эликсред х Беллароза	31	2	31,0
2.	2873	Королева Анна х Гул.	14	2	14,3
3.	2888	Калибр х ВР808	45	7	15,5
4.	2893	Ред Скарлет х -/-	23	2	8,7
5.	2897	Кенза х Вымпел	30	6	20,0
6.	2899	Эльдорадо х -/-	36	5	13,9

7.	2944	Гранд х Феррари	37	5	13,5
8.	2945	Эльмундо х -/-	39	2	5,1
9.	2952	Брук х Сигнал	29	2	6,9
10.	2960	Августин х Комета	47	3	6,4
11.	2964	Метеор х -/-	21	2	9,5
12.	2967	Ночка х Гала	56	8	14,3
13.	2970	Лабадиа х -/-	27	1	3,7
14.	2972	Феррари х -/-	33	3	9,1
15.	2976	93.14-21 х -/-	35	2	5,7
16.	2980	Коlette х -/-	42	5	11,9
17.	2981	37-05-12 х -/-	36	6	16,7
18.	2982	106у 07-22 х -/-	60	9	15,0
19.	2985	Винетта х -/-	69	9	13,0
20.	2986	Роко х -/-	67	5	7,5
21.	2801	Невский х -/-	22	3	13,6
22.	2815	Ариэль х -/-	23	2	8,7
23.	2908	Пароли х FZ2392	13	2	15,4
24.	2909	Бриз х -/-	6	1	16,7
25.	2917	ВР 808 х Сюрприз	21	2	9,5
26.	2920	Тирас х -/-	8	2	25,0
27.	2921	Никсе х -/-	11	1	9,1
28.	2922	Винетта х -/-	18	2	11,1
29.	2930	2375-75 х Дубрава	4	1	25,0
30.	2933	Крепыш х -/-	19	3	15,8
31.	2946	Фритель х Аусония	8	2	25,0
32.	2962	Ред Скарлет х -/-	21	3	14,3
33.	2963	Сатурна х Эльбейда	15	2	13,3
34.	2969	FZ 2434 х -/-	28	1	3,6
35.	2977	2677-67 х -/-	20	3	15,0
36.	2978	88.34/14 х -/-	12	1	8,3
Итого				63	

В 2023 г. в питомнике предварительного испытания изучено 117 гибридов, отобранных с питомника 2-го селекционного сортоиспытания (с 2022 года).

Из 117 гибридных комбинаций по комплексу хозяйственно ценных признаков были выделены 28 лучших гибридов картофеля (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика лучших гибридов предварительного сортоиспытания, 2023 г.

Table 3. Structure of the yield for the best hybrids from the preliminary variety testing in 2023.

№ п/п	Селекционный номер	Происхождение	Урожайность, т/га	Содержание крахмала, %	Устойчивость к болезням, баллов		
					вирусные	фитофтороз	альтернариоз
1	Ст.	Удача	26,8	15,5	5	7	5
2	2985/54	Винетта × -/-	29,6	12,8	5	7	7
3	2982/1	106у07-22 × -/-	37,4	15,3	7	9	7
4	2801/7	Невский × -/-	29,2	11,9	5	7	5
5	2977/13	2677-67 × -/-	30,8	14,9	9	5	7
НСР ₀₅ т/га			0,40	0,36	—	—	—
t, %			0,41	0,74	—	—	—

6	Ст.	Нарт 1	21,3	16,8	5	5	7
7	2982/24	106у07-22 × -/-	31,6	13,6	5	7	7
8	2982/56	106у07-22 × -/-	37,7	15,4	9	7	7
9	2980/18	Колетте × -/-	26,6	13,1	7	7	5
10	2982/17	106у07-22 × -/-	29,1	12,2	5	7	7
11	2888/23	Калибр × Вр 808	27,0	16,6	7	9	5
12	2982/4	106у07-22 × -/-	33,1	15,4	9	9	7
13	2944/21	Гранд × Ферарри	27,4	15,5	7	5	7
14	2801/11	Невский × -/-	30,1	12,8	7	5	5
НСР ₀₅ т/га			2,49	0,31	—	—	—
t, %			2,78	0,69	—	—	—
15	Ст.	Дезире	25,6	13,1	7	9	5
16	2982/41	106у07-22 × -/-	27,1	15,0	7	7	7
17	2982/29	106у07-22 × -/-	38,6	14,3	9	9	7
18	2967/1	Ночка × Гала	35,6	13,1	7	7	9
19	2967/3	Ночка × Гала	37,8	12,4	7	9	7
20	2970/13	Лабиада × -/-	31,1	11,0	7	7	5
21	2813/15	Маяк × Бриз	30,8	14,2	9	5	5
22	2888/1	Калибр × ВР 808	32,0	13,9	7	9	7
23	2977/19	2677-67 × -/-	32,8	13,2	5	7	9
24	2888/28	Калибр × ВР 808	27,7	16,6	5	7	7
25	2967/35	Ночка × Гала	34,6	13,8	7	5	5
НСР ₀₅ т/га			0,30	0,29	—	—	—
t %			0,30	0,70	—	—	—
26	Ст.	Зольский	28,5	18,0	7	9	5
27	2967/57	Ночка × Гала	28,5	10,5	5	7	7
28	2982/13	106у07-22 × -/-	30,3	13,7	9	7	7
29	2888/13	Калибр × ВР 808	30,8	16,5	7	7	5
30	2970/14	Лабиада × -/-	29,5	14,9	5	7	7
31	2888/3	Калибр × ВР 808	29,3	16,5	5	5	7
32	2947/8	2387-26 × Аусония	38,8	13,8	7	7	7
НСР ₀₅ т/га			1,77	0,36	—	—	—
t %			1,63	0,77	—	—	—

В целом по группе выделенных гибридов можно отметить, что их урожайность достаточно высокая и находилась в пределах от 24,1 до 47,2 т/га. Содержание крахмала и сухих веществ варьирует: 10,5–18,0 % и 16,2–23,9 % соответственно.

С учетом группы спелости гибриды проявили себя следующим образом. В ранней группе спелости выделены по урожайности 4 гибрида: 2801/7 – 29,2 т/га, 2985/54 – 29,6 т/га, 2677/13 – 30,8 т/га, 2982/1 – 37,4 т/га, превысившие стандартный сорт (Удача – 26,8 т/га) от 2,4 до 10,6 т/га. Гибрид 2982/1 показал лучшие результаты по урожайности – 37,4 т/га, характеризовался высокими показателями устойчивости к болезням: вирусным – 7, фитофторозу – 9, альтернариозу – 7 баллов, средним содержанием крахмала – 15,3 %.

В среднеранней группе спелости по урожайности выделились 8 гибридов: 2982/24 (31,6 т/га), 2982/56 (37,7 т/га), 2980/18 (26,6 т/га), 2982/17 (29,1 т/га), 2888/23 (27,0 т/га), 2982/4 (33,1 т/га),

2944/21 (27,4 т/га), 2801/11 (30,1 т/га), которые превысили стандарт на 5,3–16,4 т/га. Гибриды 2982/4 и 2982/56 также показали отличные результаты устойчивости к болезням: вирусным – 9, 9; фитофторозу – 7, 9; альтернариозу – 7, 7 балла соответственно. Содержание крахмала у обоих гибридов среднее – 15,4 %.

В среднеспелой группе выделились 10 гибридов, которые показали высокие результаты по структуре урожая. Наибольшая урожайность получена по гибридам: 2970/13 (31,1 т/га), 2888/1 (32,0 т/га), 2977/19 (32,8 т/га), 2967/35 (34,6 т/га), 2967/1 (35,6 т/га), 2967/3 (37,8 т/га), 2982/29 (38,6 т/га), которые превысили стандарт (Дезире – 25,6 т/га) от 5,5 до 13,0 т/га. Отличные результаты устойчивости к болезням показали гибриды 2967/3 и 2982/29 (вирусным – 7, 9; фитофторозу – 9, 9; альтернариозу – 7, 7 балла).

В среднепоздней группе созревания превышение стандарта (сорт Зольский) по разным показателям наблюдалось у всех 6 гибридов. Лучшие результаты урожайности показали гибриды 2982/13 (30,3 т/га), 2888/13 (30,8 т/га), 2947/8 (38,8 т/га), превысившие стандарт (Зольский – 28,5 т/га) от 1,8 до 10,3 т/га. У гибрида 2982/13 высокие показатели устойчивости к основным болезням (вирусным – 9, фитофторозу – 7, альтернариозу – 7 баллов), средние показатели содержания крахмала – 13,7 % соответственно. В дальнейшем выделявшиеся гибриды наблюдаются в питомниках основного и конкурсного сортоиспытания. Наиболее ценные гибриды будут переданы на Государственное сортоиспытание.

Выводы

По итогам изучения в 2023 г. 117 гибридов в предварительном испытании выделены 28 лучших гибридов картофеля, превысивших по урожайности стандартные сорта. В том числе:

- 4 раннеспелых гибрида (ст. Удача – 26,8 т/га) на 2,4–10,6 т/га;
- 8 среднеранних гибридов (ст. Нарт 1 – 21,3 т/га) – на 5,3–16,4 т/га;
- 10 среднеспелых гибридов (ст. Дезире – 25,6 т/га) – на 5,5–13,0 т/га;
- 6 среднепоздних гибридов (ст. Зольский – 28,5 т/га) – на 1,8–10,3 т/га.

Помимо высокой урожайности, выделенные гибриды характеризовались хорошими показателями устойчивости к вирусным болезням, фитофторозу и альтернариозу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молявко А. А., Марухленко А. В., Борисова Н. П. Качество картофеля влияет на потребительские свойства переработанных продуктов // Аграрная наука. 2021. № 7–8. С. 99–103. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-99-103
2. Беспалова Е. С., Агаханов М. М., Архимандритова С. Б. и др. Оздоровление сортов картофеля из коллекции ВИР от вирусов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 4. Т. 181. С. 164–172. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-164-172
3. Сыток С. И., Кузьмин В. Н., Королькова А. П. и др. Опыт реализации комплексных научно-технических проектов подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» ФНТП развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы. М.: Росинформагротех, 2021. 88 с. EDN ESJJPS
4. Журавлева Е. В., Кабунин А. А., Кабунина И. В. Аспекты организации селекции и семеноводства картофеля в России – проблемы и возможные пути их решения // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 10. Т. 32. С. 5–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11001
5. Xiao X.-o., Zhang N., Jin H., Si H. Genetic analysis of potato breeding collection using single-nucleotide polymorphism (SNP) markers // Plants. 2023. No. 12(9). P. 1895. DOI: 10.3390/plants12091895

6. Сташевски З., Кузьмина О. А., Вологин С. Г. и др. Первые результаты экологогеографического испытания новых российских сортов картофеля // *Земледелие*. 2019. № 6. С. 43–48. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10610

7. Абазов А. Х., Батырова О. А., Сарбашева А. И. и др. Селекция картофеля в условиях горной зоны Кабардино-Балкарии // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022. № 6(390). С. 651–654. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_651

8. Жевора С. В., Симаков Е. А., Анисимов Б. В. и др. Селекция и семеноводство картофеля: научное обеспечение и бизнес-проекты // *Картофель и овощи*. 2023. № 4. С. 6–10. DOI: 10.25630/PAV.2023.22.92.003

9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

10. Симаков Е. А., Склярова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. ВНИИКХ им. А.Г. Лорха РАСХН. М.: Изд-во «Достижения науки и техники АПК», 2006. 70 с. EDN: QKYCYN

11. Анисимов Б. В., Усков А. И., Симаков Е. А. и др. Методика проведения полевых обследований и послеуборочного контроля качества семенного картофеля // *Государственная семенная инспекция России*. М.: Икар, 2005. 112 с. EDN: QKXCLH

REFERENCES

1. Molyavko A.A., Marukhlenko A.V., Borisova N.P. Potato quality affects consumer properties of processed products. *Agrarian Science*. 2021. No. 7-8. Pp. 99–103. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-99-103. (In Russian)

2. Bepalova E.S., Agakhanov M.M., Arkhimandritova S.B. et al. Improvement of potato varieties from the VIR collection from viruses. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020. No. 4. Vol. 181. Pp. 164–172. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-164-172. (In Russian)

3. Sypok S.I., Kuzmin V.N., Korolkova A.P. et al. *Opyt realizatsii kompleksnykh nauchno-tekhnicheskikh proektov podprogrammy "Razvitie selektsii i semenovodstva kartofelya v Rossiiskoy Federatsii" FNTP razvitiya sel'skogo khozyaistva na 2017–2025 gody* [Experience in implementing complex scientific and technical projects of the subprogram "Development of potato breeding and seed production in the Russian Federation" of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017–2025]. Moscow: Rosinformagrotech, 2021. 88 p. EDN ESJJPS. (In Russian)

4. Zhuravleva E.V., Kabunin A.A., Kabunina I.V. Aspects of organizing potato breeding and seed production in Russia – problems and possible solutions. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of the Agro-industrial Complex]. 2018. No. 10. Vol. 32. Pp. 5–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11001. (In Russian)

5. Xiao X.-o., Zhang N., Jin H., Si H. Genetic analysis of potato breeding collection using single-nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Plants*. 2023. No. 12(9). P. 1895. DOI: 10.3390/plants12091895

6. Stashevsky Z., Kuzminova O.A., Vologin S.G. et al. First results of ecogeographical testing of new Russian potato varieties. *Zemledelie* [Agriculture]. 2019. No. 6. Pp. 43–48. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10610. (In Russian)

7. Abazov A.Kh., Batyrova O.A., Sarbasheva A.I., et al. Potato breeding in the mountainous zone of Kabardino-Balkaria. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal*. 2022. No. 6(390). Pp. 651–654. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_651. (In Russian)

8. Zhevora S.V., Simakov E.A., Anisimov B.V., et al. Potato breeding and seed production: scientific support and business projects. *Potato and Vegetables*. 2023. No. 4. Pp. 6–10. DOI: 10.25630/PAV.2023.22.92.003. (In Russian)

9. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (In Russian)

10. Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashina I.M. *Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsesssa kartofelya* [Methodical instructions on the technology of the selection process of potatoes]. VNIKH A.G. Lorkh RAAS. Moscow: Publishing house of Achievements of science and technology of the APK, 2006. 70 p. EDN: QKYCYN. (In Russian)

11. Anisimov B.V., Uskov A.I., Simakov E.A. et al. *Metodika provedeniya polevykh obsledovaniy i posleuborochnogo kontrolya kachestva semennogo kartofelya* [Methodology for conducting field surveys and post-harvest quality control of seed potatoes]. State Seed Inspectorate of Russia. Moscow: Ikar, 2005. 112 p. EDN: QKXCLH. (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 № НИОКТР: 123121100047-4.

Funding. The work was carried out within the framework of state assignment No. R&D: 123121100047-4.

Информация об авторах

Абазов Аниуар Хамидович, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. лаборатории селекции и семеноводства картофеля, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360004, Россия, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

ishkbncran@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7389-9833>, SPIN-код: 4301-7579;

Абидова Галимат Хабаловна, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства картофеля, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360004, Россия, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

oxana.abidova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5167-5911>, SPIN-код: 6918-6799

Лихова Загират Хабаловна, мл. научн. сотр. лаборатории селекции и семеноводства картофеля, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360004, Россия, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

ishkbncran@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7632-4245>, SPIN-код: 9213-0748

Сарбашева Асият Идрисовна, зав. лабораторией химических анализов и биологических исследований, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360004, Россия, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

sarbashasi59@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4708-1293>, SPIN-код: 5848-9076

Батырова Ольга Александровна, канд. с.-х. наук, ученый секретарь, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360004, Россия, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;
oliabat66@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6041-9626>, SPIN-код: 2610-6608

Information about the authors

Aniuar Kh. Abazov, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of Laboratory of Potato Breeding and Seed Production, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

224 Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;

ishkbncran@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7389-9833>, SPIN-code: 4301-7579;

Galimat Kh. Abidova, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory of Potato Breeding and Seed Production, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

224 Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;

oxana.abidova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5167-5911>, SPIN-code: 6918-6799

Zagirat Kh. Likhova, Junior Researcher Laboratory of Potato Breeding and Seed Production, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

224 Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;

ishkbncran@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7632-4245>, SPIN-code: 9213-0748

Asiyat I. Sarbasheva, Head of the Laboratory of Chemical Analysis and Biological Research, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

224 Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;

sarbashasi59@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4708-1293>, SPIN-code: 5848-9076

Olga A. Batyrova, Candidate of Agricultural Sciences, Academic Secretary, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

224 Kirov street, Nalchik, 360004, Russia;

oliabat66@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6041-9626>, SPIN-code: 2610-6608

УДК 633.15:631.8

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-191-199

EDN: LRZRJJ

Научная статья

Эффективность применения аммиачной селитры и удобрения КАС-32 при возделывании кукурузы на зерно

В. Н. Багринцева[✉], И. Н. Ивашененко

Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы
357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14а

Аннотация. Аммиачная селитра – эффективное азотное удобрение для прикорневой подкормки кукурузы. Применение этого удобрения на кукурузе ограничивают высокие цены. Альтернативой аммиачной селитре может быть удобрение КАС-32 (карбамидно-аммиачная смесь), стоимость которого ниже и затраты на внесение меньше.

Цель исследования – определить эффективный вариант применения удобрений аммиачная селитра и КАС-32 для прикорневых подкормок кукурузы. Варианты опыта: 1) контроль без удобрений; 2) аммиачная селитра (Naa) 100 кг/га в физическом весе в фазе 6 листьев + в фазе 8 листьев; 3) аммиачная селитра (Naa) 100 кг/га в физическом весе в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев; 4) КАС-32 (107 кг/га) в фазе 6 листьев + 8 листьев. Эффективность подкормок азотными удобрениями изучали на гибриде кукурузы Машук 390 МВ (ФАО 390). Работа выполнена в 2022–2024 гг. в Ставропольском крае.

Результаты. После двойной подкормки аммиачной селитрой высота растений кукурузы в фазе цветения увеличилась в среднем за 2022–2024 гг. на 10 см. При применении аммиачной селитры и удобрения КАС-32 растения стали выше на 12 см. Подкормки кукурузы удобрением КАС-32 увеличили высоту растений на 9 см. Прикорневые подкормки кукурузы в фазе 6 и 8 листьев аммиачной селитрой в дозе 100 кг/га повысили урожайность зерна в среднем за 2022–2024 гг. на 0,71 т/га (11,8 %). Применение аммиачной селитры для подкормки кукурузы в фазе 6 листьев и КАС-32 в фазе 8 листьев повысило урожайность зерна в среднем на 0,81 т/га (13,4 %). Двукратная подкормка растений кукурузы в фазе 6 и 8 листьев только жидким азотным удобрением КАС-32 увеличила урожайность зерна в среднем на 0,71 т/га (11,8 %). Наименьшие затраты (4535,09 руб./га в среднем за 2022–2024 гг.) складывались при применении для подкормок кукурузы жидкого удобрения КАС-32 в дозе 107 кг/га, наибольшие (4973,96 руб./га) – при применении аммиачной селитры. Наибольшую окупаемость 1 рубля затрат, составлявших 4754,52 руб./га, обеспечивали подкормки растений аммиачной селитрой в фазе 6 листьев и КАС-32 в фазе 8 листьев, каждый рубль дал 1,04 руб. дохода.

Выводы. В связи с высокой эффективностью и меньшей стоимостью целесообразно проводить подкормку растений кукурузы в фазе 6 листьев аммиачной селитрой Naa (100 кг/га), вторую подкормку в фазе 8 листьев удобрением КАС-32 (107 кг/га) или для подкормок использовать только КАС-32.

Ключевые слова: кукуруза, удобрения, аммиачная селитра, КАС-32, урожайность зерна, затраты, окупаемость

Поступила 08.07.2025, одобрена после рецензирования 11.09.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Багринцева В. Н., Ивашененко И. Н. Эффективность применения аммиачной селитры и удобрения КАС-32 при возделывании кукурузы на зерно // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 191–199. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-191-199

Effectiveness of ammonium nitrate and CAS-32 fertilizer in cultivation of corn

V.N. Bagrintseva[✉], I.N. Ivashenenko

All-Russian Research Institute of Corn
14o Yermolova street, Pyatigorsk, 357528, Russia

Abstract. Ammonium nitrate is a highly effective nitrogen fertilizer that can be used to feed the roots of corn. However, the use of this fertilizer is limited due to its high price. An alternative to ammonium nitrate could be the fertilizer KAS-32, which is a urea-ammonia mixture. the cost of which is lower and the application costs are also lower.

Aim. The research aims to determine the most efficient application of ammonium nitrate and CAS-32 fertilizer for root-zone fertilization of corn plants. The experimental variants includes: 1) control (no fertilizers); 2) ammonium nitrate (Naa) at 100 kg/ha in physical weight applied during the 6-leaf stage + 8-leaf stage; 3) ammonium nitrate (Naa) at 100 kg/ha during the 6-leaf stage + CAS-32 (107 kg/ha) during the 8-leaf stage; 4) CAS-32 (107 kg/ha) applied during both the 6-leaf and 8-leaf stages. The effectiveness of nitrogen fertilization was studied on the corn hybrid Mashuk 390 MV (FAO 390). The study was conducted in the Stavropol Krai from 2022 to 2024.

Results. After double fertilization with ammonium nitrate, the plant height during the flowering phase increased by an average of 10 cm over the 2022–2024 period. When ammonium nitrate and CAS-32 are combined, plants grow 12 cm taller. Fertilization with CAS-32 alone resulted in an increase in plant height of 9 cm. Root-zone fertilization with ammonium nitrate at a rate of 100 kg/ha during the 6-leaf and 8-leaf stages resulted in an average grain yield increase of 0.71 t/ha (11.8%) over three years. The combination of ammonium nitrate applied at the 6-leaf stage and CAS-32 at the 8-leaf stage increased grain yield by an average of 0.81 t/ha, or 13.4%. Double fertilization with liquid nitrogen fertilizer CAS-32 at the 6- and 8-leaf stages increases grain yield by an average of 0.71 t/ha (11.8%). The lowest costs (an average of 4,535.09 rubles/ha for 2022–2024) were observed when using liquid CAS-32 fertilizer at a rate of 107 kg/ha, while the highest costs (4973.96 rubles/ha) are associated with the application of ammonium nitrate. The highest return on investment (4754.52 rubles/ha) was achieved with ammonium nitrate applied during the 6-leaf stage and CAS-32 during the 8-leaf stage, yielding 1.04 rubles for every ruble spent.

Conclusions. Due to its high efficiency and low cost, it is recommended to fertilize corn plants during the 6-leaf stage with ammonium nitrate (Naa 100 kg/ha), followed by a second application of KAS-32 fertilizer during the 8-leaf stage with 107 kg/ha, or alternatively, KAS-32 can be used as the sole fertilizer for both applications.

Keywords: corn, fertilizers, ammonium nitrate, CAS-32, grain yield, costs, profitability

Submitted on 08.07.2025,

approved after reviewing on 11.09.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Bagrintseva V.N., Ivashenenko I.N. Effectiveness of ammonium nitrate and CAS-32 fertilizer in cultivation of corn. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 191–199. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-191-199

ВВЕДЕНИЕ

Растения кукурузы наиболее требовательны к азоту, поэтому на этой сельскохозяйственной культуре азотные удобрения наиболее эффективны [1]. Азот регулирует формирование как вегетативных, так и генеративных органов [2]. Оптимальное снабжение растений азотом обеспечивает образование у кукурузы крупных початков и высокий урожай зерна [3].

Аммиачная селитра – наиболее распространенное азотное удобрение, которое применяется как до посева, так и в подкормки кукурузы [4]. Однако объем применения аммиачной селитры на кукурузе ограничивают высокие цены на это удобрение, что не позволяет вносить необходимое количество азота. Целесообразно изыскивать более дешевые формы азотных удобрений. Замена дорогостоящей аммиачной селитры на более дешевые жидкие азотные удобрения позволит увеличить объемы внесения азота и тем самым повысить урожайность кукурузы.

Альтернативой аммиачной селитре может быть широко известное, но применяемое в недостаточном количестве, удобрение КАС-32 (карбамидно-аммиачная смесь). Стоимость удобрения КАС-32 ниже по сравнению с аммиачной селитрой, поэтому затраты на внесение гораздо меньше [5, 6]. КАС-32 – жидкое азотное удобрение для питания растений пролонгированного действия. Уникальность этого удобрения состоит в том, что оно содержит все три формы азота (нитратная, аммонийная и амидная). За счет такого преимущества по сравнению с другими азотными удобрениями обеспечивается продолжительное получение растениями необходимого азотного питания [7].

Применение жидкого КАС-32 особенно эффективно в засушливых условиях сравнительно с гранулированными (твердыми) азотными удобрениями. Благодаря своему составу удобрение практически полностью усваивается растениями, что позволяет снизить потери азота и гарантирует высокую результативность даже при неблагоприятных погодных условиях [8–10].

Цель исследований – определить эффективный вариант применения удобрений аммиачная селитра и КАС-32 для прикорневых подкормок кукурузы в условиях Ставропольского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу выполняли на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института кукурузы, расположенном в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края. В 2024 г. были продолжены начатые в 2022 г. научные исследования по изучению эффективности удобрений аммиачная селитра и КАС-32 на кукурузе [11].

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный малогумусный мощный тяжелосуглинистый. Элементы питания в слое почвы 0–20 см определяли до проведения подкормок кукурузы в фазе 5 листьев. Содержание нитратного азота по Грандваль-Ляжу (*ГОСТ 26488-85*) было равно в 2022 г. 14,6, в 2023 г. – 11,8, в 2024 г. – 16,8 мг/кг, подвижного фосфора по Мачигину (*ГОСТ 26205-91*) – соответственно 10, 11 и 16,0, обменного калия по Мачигину (*ГОСТ 26205-91*) – 231, 258 и 208 мг/кг. По степени обеспеченности азотом и фосфором почва соответствовала низкому содержанию, калия – среднему.

Схема опыта состояла из 4-х вариантов: 1) контроль без удобрений; 2) аммиачная селитра (Наа) 100 кг/га в физическом в фазе 6 листьев + в фазе 8 листьев; 3) аммиачная селитра (Наа) 100 кг/га в физическом весе в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев; 4) КАС-32 (107 кг/га) в фазе 6 листьев + 8 листьев. Варианты опыта заложены методом рендомизации в четырехкратной повторности. Площадь делянки составляла 39,2 м² (5,6 м x 7,0 м), учетная – 14,7 м².

Эффективность удобрений изучали на среднеспелом гибриде кукурузы Машук 390 МВ. Сеяли кукурузу после озимой пшеницы в оптимальные сроки 20–29 апреля сеялкой Gaspardo MTR-8 с густотой стояния 65–70 тыс. шт./га. После появления всходов в фазе 2–3 листьев вручную формировали оптимальную для гибрида густоту стояния растений 55 тыс. шт. на 1 га.

Аммиачную селитру вносили в почву культиватором-растениепитателем КРН-5,6, КАС-32 – переоборудованным культиватором-подкормщиком КРН-5,6.

Для защиты кукурузы от сорных растений применяли гербицид Аденго. Против гусениц хлопковой совки и стеблевого мотылька кукурузу в фазе выметывания метелки обрабатывали инсектицидом Кораген (0,2 л/га). Внесение гербицида и инсектицида осуществляли навесным опрыскивателем CLASS 600/12 при расходе рабочего раствора 250 л/га.

Среднее многолетнее количество осадков за вегетацию кукурузы (май – август) в месте проведения опытов составляет 295,6 мм. В 2022 г. за активную вегетацию кукурузы (май-август) осадков выпало 181,4 мм, в мае выпало 80,3 мм, в июне – 92,5 мм, в июле – 7,4 мм, в августе – 1,2 мм. Недостаточным количество осадков было в июле во время цветения растений кукурузы и в августе во время налива зерна. В 2023 г. за вегетацию кукурузы (май – август) осадков выпало 272,3 мм. В мае месячная сумма осадков составила 95,3 мм, в июне – 133,5 мм, в июле – 38,5 и августе – 5,0 мм. В 2023 г. погодные условия во время вегетации кукурузы были более благоприятными для кукурузы по сравнению с 2022 г. В 2024 г. осадков за активную вегетацию кукурузы выпало всего лишь 137,3 мм, из них в мае – 76,3 мм, в июне – 56,0 мм, июле – 0, августе – 5,0 мм. Последний год исследований был самым засушливым. Сумма активных температур за вегетационный период кукурузы в 2022 г. составила 2429 °С, в 2023 г. – 2597 °С, в 2024 г. – 2654 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аммиачная селитра и КАС-32, внесенные в подкормки, заметно усиливали рост растений кукурузы. В фазе цветения подкормленные растения были существенно выше по сравнению с контрольными (табл. 1).

Таблица 1. Влияние азотных удобрений на высоту растений кукурузы в среднем за 2022–2024 гг.

Table 1. The effect of nitrogen fertilizer on the average height of corn plants for the years 2022 to 2024.

Вариант опыта	Высота, см	Прирост, см	%
Контроль без удобрений	214	–	–
Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + Наа (100 кг/га) в фазе 8 листьев	224	10	4,7
Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	226	12	5,6
КАС-32 (107 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	223	9	4,2
НСР _{0,05} , см	4		

Степень влияния удобрений на высоту растений по годам исследований была разной. Так, в 2022 г. подкормки кукурузы аммиачной селитрой и удобрением КАС-32 увеличивали высоту растений на 1–3 см. В 2023 г. увеличение высоты растений варьировало от 7 до 12 см и было максимальным при сочетании аммиачной селитры с удобрением КАС-32. В 2024 г. высота растений по сравнению с контролем без прикорневой подкормки увеличивалась на 17–23 см при наибольшем изменении за счет двукратной подкормки аммиачной селитрой. В среднем за 2022–2024 гг. высота растений кукурузы от подкормок увеличивалась на 9–12 см при несущественных различиях между вариантами опыта. Наибольшее увеличение высоты растений в среднем на 12 см отмечено при прикорневом внесении аммиачной селитры в фазе 6 листьев и второй прикорневой подкормке КАС-32 в фазе 8 листьев.

Прикорневые подкормки азотсодержащими удобрениями положительно повлияли на формирование початков кукурузы (табл. 2). В 2022 г. даже в контроле без подкормок на каждом растении было по одному озерненному початку. Удобрение растений азотом, содержащимся в аммиачной селитре и КАС-32, способствовало образованию на некоторых растениях по два початка и их число в расчете на 100 растений увеличилось на 2. В 2023 г. влияние азотных подкормок на число початков было более значительным, увеличение варьировало от 2 до 6 штук. В 2024 г. подкормки увеличивали число початков на 100 растениях на 2.

Таблица 2. Влияние удобрений на показатели структуры початков кукурузы в среднем за 2022–2024 гг.

Table 2. The impact of fertilizers on the average corn cob structure indicators for the years 2022–2024.

Вариант опыта	Початков на 100 растений, шт.	Масса, г	
		початка	зерна в початке
Контроль без удобрений	100	153,4	124,3
Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + Наа (100 кг/га) в фазе 8 листьев	103	164,9	133,4
Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	101	167,4	136,1
КАС-32 (107 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	101	167,0	136,5
НСР _{0,05}	2	6,5	9,7

Прибавки массы початков и массы зерна с початка от применяемых удобрений по сравнению с контролем были существенными во все годы исследований. В 2022 г. масса початков кукурузы увеличилась на 16,7–23,1 г, масса зерна в початке возросла на 11,4–18,7 г, в 2023 г. увеличение составило соответственно 13,6–22,2 г и 12,4–18,5 г., в 2024 г. – 1,9–5,4 г и 3,4–4,2 г.

В среднем за три года наибольшее увеличение массы початка на 14,0 г отмечено при применении в подкормку растений в фазе 6 листьев аммиачной селитры и в фазе 8 листьев КАС-32. Масса зерна с одного початка наиболее значительно (на 12,2 г) выросла от применения в подкормки удобрения КАС-32. При этом увеличение массы зерна с початка при сочетании аммиачной селитры и КАС-32 было равно 11,8 г, что несущественно меньше, чем при применении удобрения КАС-32.

Прикорневое внесение азотных удобрений под междурядную культивацию по изучаемым схемам питания существенно увеличило урожайность зерна кукурузы (табл. 3). В 2022 г. максимальную прибавку урожая зерна (0,84 т/га, или 14,5%) дало сочетание Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев. В 2023 г. самую высокую прибавку урожая зерна (1,04 т/га, или 14,2%) дало двукратное применение в подкормки аммиачной селитры. В 2024 г., как и в 2022 г., наибольшую прибавку урожая зерна 0,85 т/га (17,1%) обеспечила подкормка аммиачной селитрой в фазе 6 листьев в сочетании с подкормкой удобрением КАС-32 в фазе 8 листьев. В среднем за 3 года в этом варианте опыта прибавка урожая зерна была выше по сравнению с другими вариантами, но не существенно. По средней за 3 года урожайности зерна все варианты применения аммиачной селитры и удобрения КАС-32 в подкормку кукурузы были равнозначными.

Таблица 3. Влияние азотных удобрений на урожайность зерна кукурузы при 14 % влажности в среднем за 2022–2024 гг.

Table 3. Effect of nitrogen fertilizers on corn grain yield with an average moisture content of 14% for the years 2022–2024.

	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
Контроль без удобрений	6,03	–	–
Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + Наа (100 кг/га) в фазе 8 листьев	6,74	0,71	11,8
Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	6,84	0,81	13,4
КАС-32 (107 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	6,74	0,71	11,8
НСР _{0,05} , т/га	0,21		

Важным показателем эффективности удобрений является сравнительная экономическая оценка вариантов их применения (табл. 4).

Стоимость гектарной нормы удобрения КАС-32, внесенного в подкормку, меньше по сравнению с двукратным применением аммиачной селитры на 441 руб. Затраты на две подкормки аммиачной селитрой (4973,96 руб./га) на 438,87 руб. выше по сравнению с затратами на применение удобрения КАС-32. Промежуточное положение занимают затраты на подкормки аммиачной селитрой и КАС-32. В варианте опыта с внесением аммиачной селитры под междурядную культивацию в фазе 6 листьев, а затем КАС-32 в фазе 8 листьев получен наибольший чистый доход с 1 га – 4965,48 рублей. Сопоставление затрат на применение в подкормки аммиачной селитры и удобрения КАС-32 с полученным доходом показывает, что наиболее высокий доход на 1 рубль затрат получен в варианте Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев, дохода получено 1,04 рубля.

Таблица 4. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений на кукурузе в среднем за 2022–2024 гг.

Table 4. The payback period for nitrogen fertilizer costs used in corn production, on average for the period 2022–2024.

Показатель эффективности	Вариант опыта		
	Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + Наа (100 кг/га) в фазе 8 листьев	Наа (100 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев	КАС-32 (107 кг/га) в фазе 6 листьев + КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев
Прибавка урожая, т/га	0,71	0,81	0,71
Стоимость дополнительной продукции, руб./га	8520,00	9720,00	8520,00
Затраты на внесение удобрений, руб./га	573,96	575,02	576,09
Стоимость удобрений, руб./га	4400,00	4179,50	3959,00
Затраты на внесение и стоимость удобрений, руб./га	4973,96	4754,52	4535,09
Условный чистый дополнительный доход, руб./га	3546,04	4965,48	3984,91
Получено дохода в рублях на 1 рубль затрат, руб.	0,71	1,04	0,88

При двукратной подкормке кукурузы удобрением КАС-32 затраты на его применение выше полученного дохода, на рубль затрат получено 0,88 руб. дохода. При двукратном внесении в подкормки кукурузы аммиачной селитры затраты на удобрения еще выше, в виду чего их окупаемость самая низкая.

Выводы

Наибольшее увеличение высоты растений гибрида Машук 390 МВ в фазе цветения в среднем за 2022–2024 гг. на 12 см вызывало применение в подкормки аммиачной селитры в фазе 6 листьев и КАС-32 в фазе 8 листьев. Это сочетание удобрений также обеспечивало наибольшую прибавку урожая зерна (0,81 или 13,4%).

Наименьшие затраты складывались при применении для прикорневых подкормок кукурузы в фазе 6 и 8 листьев жидкого удобрения КАС-32 в дозе 107 кг/га. При использовании для прикорневых подкормок кукурузы удобрения КАС-32 (107 кг/га) окупаемость затрат выше по сравнению с применением аммиачной селитры (100 кг/га). Наибольший условный чистый доход получен при применении для подкормок растений кукурузы аммиачной селитры в дозе 100 кг физ. веса /га в фазе 6 листьев и КАС-32 (107 кг/га) в фазе 8 листьев. На 1 рубль затрат получено 1,04 руб. дохода. В связи с достаточно высокой эффективностью на кукурузе и меньшей стоимостью целесообразно сочетание подкормки аммиачной селитрой с удобрением КАС-32, а также замена аммиачной селитры на КАС-32.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин Е. А., Барабанищикова Л. Н. Вынос элементов питания кукурузой, выращиваемой на зеленую массу по зерновой технологии в условиях лесостепной зоны Зауралья // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 2(61). С. 90–94. EDN: GUNFSY
2. Васин В. Г., Кошелев И. К. Урожайность и кормовые достоинства гибридов кукурузы при внесении минеральных удобрений и стимуляторов роста // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2(42). С. 45–53. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-2-45-53
3. Куркина Г. Н. Эффективность доз, способов и сроков внесения азотных удобрений под кукурузу // Мелиорация. 2020. № 1. С. 61–70. EDN: KZJRCI
4. Багринцева В. Н., Никитин С. Н., Черкасова М. А. и др. Эффективность применения азотных удобрений при выращивании различных гибридов кукурузы в Ставропольском крае // Агрохимия. 2018. № 10. С. 34–39. DOI: 10.1134/S0002188118100046
5. Есаулко А. Н., Гарибджанян Г. А., Голосной Е. В. и др. Эффективность применения жидких и твердых азотных минеральных удобрений в ранневесеннюю подкормку посевов озимой пшеницы // Земледелие. 2020. № 3. С. 38–40. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10310
6. Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Гунгер М. В. Эффективность припосевного внесения карбамидно-аммиачной смеси в условиях Северного Зауралья // Земледелие. 2023. № 4. С. 18–22. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-18-22
7. Лазарев В. И., Лазарева Р. И., Иванова Е. В., Пироженко В. В. Эффективность использования карбамидно-аммиачного удобрения (КАС-32) на яровой пшенице в Курской области // Плодородие. 2019. № 4. С. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.03
8. Милюткин В. А., Сысоев В. Н., Макушин А. Н., Длужевский Н. Г. Комплексное обеспечение инновационных технологий производства сельскохозяйственных культур с применением жидких азотных удобрений КАС // Вестник ИрГСХА. 2022. № 108. С. 19–31. DOI: 10.51215/1999-3765-2022-108-19-31

9. Багринцева В. Н., Иващенко И. Н. Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе // *Агрохимия*. 2020. № 2. С. 85–92. DOI: 10.31857/S0002188120020039

10. Милюткин В. А., Сысоев В. Н., Макушин А. Н. и др. Преимущество жидких минеральных удобрений на базе КАС-32 по сравнению с твердыми – аммиачная селитра – на подсолнечнике и кукурузе // *Нива Поволжья*. 2020. № 3. С. 73–79. DOI: 10.36461/NP.2020.56.3.018

11. Багринцева В. Н., Иващенко И. Н., Дридигер В. В. и др. Эффективность применения на кукурузе аммиачной селитры и КАС-32 в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края // *Земледелие*. 2024. № 3. С. 22–25. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-3-1-48

REFERENCES

1. Demin E.A., Barabanshchikova L.N. Removal of nutrient elements by corn grown for green forage using grain technology in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2020. No. 2(61). Pp. 90–94. EDN: GUNFSY. (In Russian)

2. Vasin V.G., Koshelev I.K. Yield and feed values of corn hybrids with the application of mineral fertilizers and growth stimulants. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018. No. 2(42). Pp. 45–53. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-2-45-53. (In Russian)

3. Kurkina G.N. Efficiency of doses, methods, and timing of application of nitrogen fertilizers for corn. *Melioratsiya* [Melioration]. 2020. No. 1. Pp. 61–70. EDN: KZJRCI. (In Russian)

4. Bagrintseva V.N., Nikitin S.N., Cherkasova M.A. et al. Efficiency of nitrogen fertilizer application in growing various corn hybrids in Stavropol Krai. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2018. No. 10. Pp. 34–39. DOI: 10.1134/S0002188118100046. (In Russian)

5. Esaulko A.N., Garibdzhanian G.A., Golosnoy E.V. et al. Efficiency of liquid and solid nitrogen mineral fertilizers application in early spring top dressing of winter wheat crops. *Zemledelie*. 2020. No. 3. Pp. 38–40. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10310. (In Russian)

6. Abramov N.V., Semizorov S.A., Gunger M.V. Efficiency of pre-sowing application of urea-ammonia mixture in the Northern Trans-Urals. *Zemledelie*. 2023. No. 4. Pp. 18–22. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-4-18-22. (In Russian)

7. Lazarev V.I., Lazareva R.I., Ivanova E.V., Pirozhenko V.V. Efficiency of using urea-ammonia fertilizer (UAS-32) on spring wheat in the Kursk region. *Plodorodie*. 2019. No. 4. Pp. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.03. (In Russian)

8. Milyutkin V.A., Sysoev V.N., Makushin A.N., Dluzhevsky N.G. Comprehensive support of innovative technologies for the production of agricultural crops using liquid nitrogen fertilizers UAN. *Bulletin of IrGSKhA*. 2022. No. 108. Pp. 19–31. DOI: 10.51215/1999-3765-2022-108-19-31. (In Russian)

9. Bagrintseva V.N., Ivashchenko I.N. Influence of weather conditions in the Stavropol Territory on the efficiency of nitrogen fertilizer doses on corn. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2020. No. 2. Pp. 85–92. DOI: 10.31857/S0002188120020039. (In Russian)

10. Milyutkin V.A., Sysoev V.N., Makushin A.N. et al. Advantage of liquid mineral fertilizers based on KAS-32 compared to solid ones – ammonium nitrate – on sunflower and corn. *Niva Povolzhya*. 2020. No. 3. Pp. 73–79. DOI: 10.36461/NP.2020.56.3.018. (In Russian)

11. Bagrintseva V.N., Ivashchenko I.N., Dridiger V.V. et al. Efficiency of applying ammonium nitrate and UAN-32 to corn in the zone of sufficient moisture of Stavropol Krai. *Zemledelie*. 2024. No. 3. Pp. 22–25. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-3-1-48. (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. Научные исследования, представленные в статье, выполнены в рамках договора № МХК 24/40А с АО «МХК ЕвроХим».

Funding. The scientific research presented in the article was carried out under Contract No. MHC 24/40A with MHC EuroChem JSC.

Информация об авторах

Багринцева Валентина Николаевна, д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. лаборатории агротехники, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы;

357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14о;

maize-tehno@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7116-1974>

Ивашенко Иван Николаевич, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр. лаборатории агротехники, Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы;

357528, Россия, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14о;

ivan-grass@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2316-1769>, SPIN-код: 8961-4440

Information about the authors

Valentina N. Bagrintseva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher of the Agricultural Engineering Laboratory, All-Russian Research Institute of Corn;

14o Yermolova street, Pyatigorsk, 357528, Russia;

maize-tehno@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7116-1974>

Ivan N. Ivashenenko, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Agricultural Engineering, All-Russian Research Institute of Corn;

14o Yermolova street, Pyatigorsk, 357528, Russia;

ivan-grass@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2316-1769>, SPIN-code: 8961-4440

Оптимизация производства кукурузы путем применения цифровых и умных технологий

В. М. Шуганов[✉], А. Х. Шогенов, З. Ю. Кантиев, Р. В. Бижоев

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

Аннотация. В условиях постоянных глобальных вызовов, таких как рост численности населения, изменение климатических условий и ухудшение состояния почв, все более актуальной становится потребность в повышении урожайности зерновых культур на основе цифровой трансформации отрасли. Большое значение при этом имеет ведение умного земледелия на основе широкого применения цифровых и умных технологий, интеллектуальных робототехнических устройств, беспилотных летательных аппаратов для повышения объемов производства зерновой продукции и рационального управления ресурсами. Одним из основных направлений применения беспилотных летательных аппаратов является мультиспектральная съемка для эффективного мониторинга сельскохозяйственных угодий, предоставляющая производителям растениеводческой продукции подробную информацию о состоянии посевов, что особенно важно для оперативного и своевременного выполнения управленческих задач в области селекции и семеноводства зерновых культур.

Цель исследования – изучение особенностей мониторинга и дифференцированной защиты посевов кукурузы от пузырчатой головни с использованием цифровых и умных технологий.

Материалы и методы исследования. Материал исследования – систематический контроль посевов кукурузы на наличие болезни пузырчатой головни и последующее опрыскивание различными современными техническими средствами: традиционным и с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА). Исследования проводили в полевых условиях на экспериментальном участке с.п. Опытное Терского муниципального района Кабардино-Балкарской Республики на посевах кукурузы в 2022–2024 гг. Оперативный мониторинг участков под кукурузу проводили с помощью БПЛА DJI Mavic 3M, а для опрыскивания посевов в различные годы применяли DJI AGRAS MG-1, DJI Agras T10.

Результаты. В данной статье представлены результаты исследований при варьировании технических параметров БПЛА для проведения мультиспектрального мониторинга и дифференцированного внесения средств защиты растений на посевах кукурузы. Использование БПЛА DJI Mavic 3M на высоте 150 м при автоматической регулировке скорости полета от 5 до 9 м/с позволяет проводить мультиспектральную съемку, обеспечивающую высокопроизводительное и качественное фенотипирование посевов зерновых культур. Дифференцированное внесение фунгицидов с помощью БПЛА DJI Agras T10 при концентрации рабочего раствора в количестве 75 % от рекомендуемой нормы обеспечивало повышение урожайности на опытных участках по сравнению с контрольным на 10,7–22,6 %.

Выводы. Оптимальная схема внесения препаратов на экспериментальных участках не только обеспечила равномерное покрытие растений и повышение эффективности борьбы с пузырчатой головней, но и способствовала снижению затрат на средства защиты растений, уменьшению химической нагрузки, сохранению экологического состояния почвы и окружающей среды.

Ключевые слова: цифровые и умные технологии, посевы кукурузы, пузырчатая головня, беспилотные летательные аппараты, мультиспектральная съемка, мониторинг, опрыскивание

Поступила 02.09.2025, одобрена после рецензирования 29.09.2025, принята к публикации 03.10.2025

Для цитирования. Шуганов В. М., Шогенов А. Х., Кантiev З. Ю., Бижоев Р. В. Оптимизация производства кукурузы путем применения цифровых и умных технологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 200–210. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-200-210

Original article

Optimizing corn production through digital and smart technologies

V.M. Shuganov[✉], A.Kh. Shogenov, Z.Yu. Kantiev, R.V. Bizhoviev

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

Abstract. In the face of ongoing global challenges such as population growth, climate change, and soil degradation, the need to increase grain yields through digital transformation is becoming an urgent issue. Smart farming, through the widespread use of digital and intelligent technologies, robotics, and unmanned aerial vehicles, is crucial for increasing grain production and efficient resource management. One of the primary applications of unmanned aerial vehicles is multispectral imaging for effective agricultural monitoring, providing crop producers with detailed information on crop condition, which is particularly important for the prompt and timely implementation of management tasks related to grain crop breeding and seed production.

Aim. The paper aims to explore the monitoring and differentiated crop protection against common smut using digital and smart technologies.

Materials and methods. The study involves systematic monitoring for corn smut symptoms and subsequent spraying using various modern technologies, including traditional and unmanned aerial vehicles (UAVs). The research was conducted at an experimental site in the rural settlement of Opytnoye in the Tersky Municipal District, Kabardino-Balkarian Republic, during corn crops in 2022–2024. Operational monitoring of corn plots was conducted using a DJI Mavic 3M UAV, while the DJI AGRAS MG-1 and DJI Agras T10 were used for crop spraying in various years.

Results. This article presents the results of studies using different technical parameters of UAVs for multispectral monitoring and differentiated application of plant protection products to corn crops. Using a DJI Mavic 3M unmanned aerial vehicle (UAV) at an altitude of 150 m with automatic flight speed control from 5 to 9 m/s enables multispectral imaging, ensuring high-performance and high-quality phenotyping of grain crops. Variable-rate fungicide application using a DJI Agras T10 UAV at a working solution concentration of 75% of the recommended rate resulted in a 10.7–22.6% increase in yield in the experimental plots compared to the control plot.

Conclusion. The optimal fungicide application schedule in the experimental plots not only ensured uniform plant coverage and increased effectiveness in controlling common smut, but also reduced the cost of crop protection products, reduced chemical loads, and preserved the soil and environment.

Keywords: digital and smart technologies, corn crops, bladder smut, drones, multispectral imaging, monitoring, spraying

Submitted 02.09.2025, approved after reviewing 29.09.2025, accepted for publication 03.10.2025

For citation. Shuganov V.M., Shogenov A.Kh., Kantiev Z.Yu., Bizhoviev R.V. Optimizing corn production through digital and smart technologies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 200–210. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-200-210

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в России отмечается тренд в сторону повышения цифровизации производства зерна, что привело к значительному увеличению урожайности. Так, среднегодовая урожайность кукурузы в России в 1994–2003 гг. составляла 23,9 ц/га, в 2004–2013 гг. возросла до 38,4 ц/га, в 2014–2023 гг. достигла 53,5 ц/га, а в 2024 г. отмечалось снижение урожайности до 51,2 ц/га.

В Кабардино-Балкарской Республике валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в 2024 г. достиг 1157 тыс. тонн, из которых 881,7 тыс. тонн, или 76,2 %, приходится на основную зерновую культуру региона – кукурузу. Урожайность зерновых по республике в 2024 г. превышала средние показатели по стране на 29,9 %. Для дальнейшего повышения объемов производства и успешного ведения селекции и семеноводства кукурузы необходимо использование современных цифровых технологий, в первую очередь обеспечивающих переход к интегрированной системе защиты посевов от сорняков, вредителей и болезней. К числу наиболее вредоносных заболеваний кукурузы в регионе относится пузырчатая головня, которую вызывает головневый гриб *Ustilago zeae* (Link) Unger, способный заразить культуру в любой период вегетации – от появления всходов до созревания. Болезнь способна поражать стебли, листья, междоузлия, султаны, початки и воздушные корни.

Возбудитель пузырчатой головни может перезимовать в растительных остатках, на поверхности почвы, в пахотном слое, а также на початках и семенах. Источники заражения сохраняют жизнеспособность до 4 лет, поэтому во всех районах возделывания наблюдается распространение пузырчатой головни, которая приводит к значительному снижению урожайности кукурузы: зеленой массы – на 25–50 %, зерна – на 50 % и более, то есть степень ущерба от болезни зависит от поражаемого органа.

Первичное заражение молодых растений кукурузы начинается при умеренно теплых температурах от +15°C до +25°C и наличии капельно-жидкой влаги, понижение температуры ниже +12°C приводит к прекращению процесса прорастания спор. Есть мнение, что наступление жаркой сухой погоды особенно благоприятно для прорастания спор и внедрения в покровную ткань растения [1]. Минимальная скорость роста заболевания отмечается при влажности около 60 %, колебания в сторону уменьшения или увеличения приводят к значительному увеличению скорости развития пузырчатой головни.

На побегах и узлах головня проявляется в форме шаровидно-клубневых вздутий диаметром до 15 см и более. На листьях вздутия образуются вдоль жилок, а на початках имеют удлиненную форму. На султанах (метелках) поражаются цветки, образуя пузыри.

Появление на молодых тканях кукурузы вздутий различного размера и желваков светлого и светло-серого оттенка свидетельствует о появлении заболевания. Позже они темнеют, покрываются сверху беловато-серой пленкой, она, подсыхая, трескается, и споры распыляются, вызывая вторичное заражение. В основном споры проникают внутрь растения через поврежденные (градобоем, сельскохозяйственной техникой или насекомыми-вредителями) молодые части растений [2].

Выделяют несколько причин распространения пузырчатой головни кукурузы:

- благоприятные климатические условия, когда высокая температура и избыточная влажность способствуют активизации пузырчатой головни кукурузы;
- при применении гербицидов в фазе развития 6–7 листьев кукуруза сильно угнетается, и споры гриба поражают ткани растения, в первую очередь стеблевой конус и початки, недостаточно укрытые обертками;
- распространение вредителей, например, хлопковая совка, луговой мотылек и др. способны разносить споры пузырчатой головни и других грибов, в основном через поврежденные участки молодых тканей споры проникают в растение и начинают развиваться;

- несоблюдение севооборота, болезнь чаще поражает поля, на которых кукуруза растет несколько лет подряд, так как происходит накопление в почве патогенов и создаются благоприятные условия для развития болезни;

- использование неустойчивых к заболеваниям гибридов и сортов.

Для предотвращения или значительного снижения заболевания необходимо соблюдать меры профилактики от пузырчатой головни: использование здорового семенного материала (после протравливания с помощью фунгицидов), применение устойчивых к болезни сортов кукурузы, высев в прогретую землю, глубокая зяблевая вспашка почвы осенью и др.

Вместе с тем очень важно проведение качественного мониторинга посевов для оперативного обнаружения заболевания на посевах кукурузы. Максимальная восприимчивость культуры к пузырчатой головне отмечается в период от выбрасывания метелок до молочной спелости. Поэтому самым подходящим моментом мониторинга для защиты посевов кукурузы от болезни считается период с момента появления 8-го листа и до выметывания метелки.

Своевременное проведение мониторинга снижает распространение и наносимый ущерб от заболевания, повышает объемы и качество урожая [3]. Благодаря этому можно проводить профилактические обработки или начать борьбу с болезнью в самом начале ее развития, что значительно повышает эффективность защиты.

В случае появления на посевах кукурузы пузырчатой головни следует незамедлительно приступить к борьбе с помощью фунгицидов. На рынке представлено достаточное количество различных препаратов для защиты от болезней, однако в приоритете должны быть содержащие несколько действующих веществ, применение которых повышает эффективность защиты посевов, а также исключает возможность возникновения резистентности к фунгициду.

Исследования ученых [4–6] по изучению развития, распространенности и вредоносности пузырчатой головни свидетельствуют о необходимости осуществления качественного мониторинга посевов, так как только систематическое получение оперативной информации о состоянии посевов позволит целенаправленно применять фунгициды для сохранения урожая. Оптимальным способом мониторинга посевов является использование беспилотных летательных аппаратов с мультиспектральными камерами, позволяющих не только своевременно обнаружить участки с заболеваниями, но и снизить внесение агрохимикатов при улучшении качества обработки [7–9].

Цель исследования – изучение особенностей мониторинга и дифференцированной защиты посевов кукурузы от пузырчатой головни с использованием цифровых и умных технологий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал исследования – систематический контроль посевов кукурузы на наличие болезни пузырчатой головни и последующее опрыскивание различными современными техническими средствами: традиционным и с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА).

Исследования проводили в полевых условиях на экспериментальном участке с.п. Опытное Терского муниципального района Кабардино-Балкарской Республики на посевах кукурузы в 2022–2024 гг.

Ежегодно поле делили на 10 экспериментальных участков по 0,8–1,0 га с однородными почвенными характеристиками. Они были пронумерованы и зонально разделены под использование фунгицидов различных концентраций – 50 %, 75 % и 100 %. Достаточный объем данных для анализа обеспечивали обработкой 3 опытных участков при определенной концентрации.

Наряду с опытными были выделены контрольные участки, на которых не применялись средства защиты растений, они служили для оценки результатов и позволяли выявить разницу в состоянии посевов.

Почва экспериментальных участков – чернозем обыкновенный, карбонатный, тяжело-суглинистого гранулометрического состава. Мощность гумусового слоя 32–65 см. Содержание гумуса 3,1–3,3 %, подвижных форм Р – 2,1–2,3 и К – 32–35 мг/100 г (по Мачигину). Глубина залегания грунтовых вод 13–17 м.

Агротехника возделывания кукурузы соответствовала общепринятым параметрам технологии для условий степной зоны Кабардино-Балкарской Республики.

В данном исследовании оперативный мониторинг участков под кукурузу проводили с помощью БПЛА DJI Mavic 3М, а для опрыскивания посевов в различные годы применяли DJI AGRAS MG-1, DJI Agras T10. Кроме того, использовали мобильную станцию смешивания пестицидов, которая облегчала операцию по приготовлению в полевых условиях рабочих растворов с требуемой концентрацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применение БПЛА в растениеводстве по сравнению с традиционной сельскохозяйственной техникой позволяет: создавать точные электронные карты полей; проводить инвентаризацию сельхозугодий; оценивать объемы работ и следить за их выполнением; контролировать всхожесть и вести оперативный мониторинг состояния посевов; прогнозировать урожайность; оценивать экологическое состояние обрабатываемых земель [10].

К более востребованным направлениям использования БПЛА в сельском хозяйстве относятся картографирование и мониторинг полей, а далее – внесение средств защиты растений на посевах. Необходимо отметить, что эффективность применения БПЛА значительно выше на высокорентабельных культурах и в тех случаях, когда использование наземной техники по тем или иным причинам невозможно.

В КБНЦ РАН начиная с 2020 г. накоплен определенный опыт по использованию БПЛА для опрыскивания посевов сельскохозяйственных культур от сорняков, болезней и вредителей. Применение агродрона при внесении пестицидов позволяет многократно сокращать расход рабочей жидкости на 1 га. Если при традиционном способе опрыскивания расход рабочей жидкости доходит до 200–300 л/га, то для БПЛА этот показатель составляет 7–10 л/га. Отмеченное преимущество объясняется наличием на штангах опрыскивателя распылителей, образующих супермелкодисперсные капли, которые благодаря воздушным потокам пропеллеров попадают на землю, а затем, отражаясь обратно, двигаются снизу вверх по стеблю растений, распределяя рабочий раствор и по нижней (внутренней) поверхности листьев, находящихся под разным углом [11]. Благодаря этому удастся значительно увеличивать количество капель рабочего раствора, попадающего на растение, что способствует определённому повышению качества опрыскивания.

При проведении исследований сбор данных о состоянии посевов кукурузы традиционным способом проводили путем визуального осмотра на наличие симптомов заболеваний. По сравнению с ним применение мультиспектрального мониторинга обеспечивает сбор информации о состоянии посевов в реальном времени, позволяет с высокой точностью разработать стратегию локального внесения агрохимикатов, способствует снижению всех затрат, себестоимости продукции и повышению урожайности [12]. Преимущество мониторинга на основе съемок, проведенных с БПЛА, состоит также в возможности оценки состояния посевов на наличие болезни еще до появления визуальных симптомов, что невозможно при помощи традиционного осмотра.

Большое значение для проведения качественного мониторинга по обнаружению поражения пузырчатой головни посевов кукурузы имеет период вегетации. Необходимо учитывать, что за 10 дней до выметывания и спустя 20 дней после этого кукуруза накапливает до 70–75 % органической массы, поэтому очень важно в этот период провести мониторинг посевов на наличие болезни. Мультиспектральная съемка экспериментальных участков с агродрона DJI Mavic 3M представлена на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Съемка опытного участка 1

Fig. 1. Survey of experimental site 1

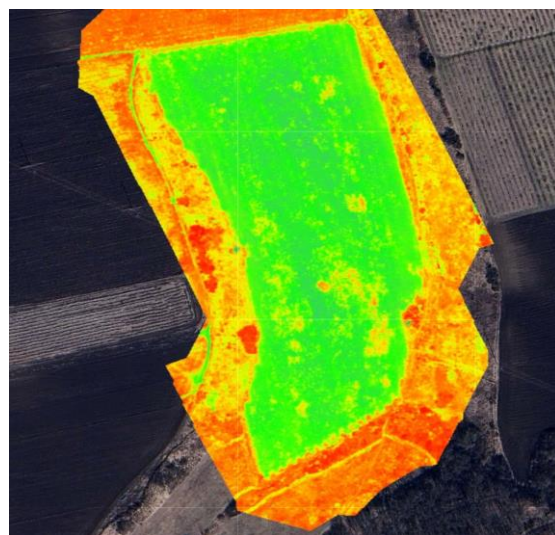


Рис. 2. Съемка опытного участка 2

Fig. 2. Survey of experimental site 2

На основе данных мониторинга, полученных при мультиспектральной съемке с помощью БПЛА, определяли индексы NDVI, GNDVI и NDRE, которые позволили точно оценить состояние растений на разных стадиях вегетации и разработать стратегию внесения средств защиты и удобрений. При этом были установлены зоны с пораженными болезнью участками, а также дефицитом питательных элементов, что облегчило принятие решения по научно обоснованному дифференцированному внесению средств защиты растений и удобрений.

В дальнейшем использование БПЛА для опрыскивания посевов кукурузы способствовало проведению качественного дифференцированного внесения средств защиты растений для борьбы с пузырчатой головней при одновременном снижении затрат на химикаты и уменьшении негативного воздействия на окружающую среду, что совпадает с данными, полученными другими исследователями [10]. Однако для эффективной борьбы с вредными объектами необходимо правильно подбирать скорость и высоту полета агродрона.

Защиту посевов кукурузы от пузырчатой головни в ходе проведения экспериментов обеспечивали путем применения следующих фунгицидов: Титул Трио ККР, Оптимо КЭ, Спирит СК. Концентрации препаратов на опытных участках составляли: 50 %, 75 %, 100 % от рекомендуемой нормы.

Параметры полета БПЛА при внесении фунгицидов варьировали в пределах:

- высота полета – 2 м, 2,5 м, 3 м;
- скорость полета – 4,1–7,0 м/с;
- ширина захвата – 4,8–5,2 м.

Технология проведения опрыскивания с помощью БПЛА включает: подготовку мобильной станции смешивания, калибровку дозирующих устройств, проверку качества воды и совместимости препаратов, заправку бака рабочим раствором согласно схеме экспери-

мента, настройку системы распыления для обеспечения равномерного покрытия. При выполнении полетов строго придерживались заданных маршрутов следования с учетом высоты и скорости полета с одновременным соблюдением и контролем параметров полета и распыления в режиме реального времени.

Последующий мониторинг результатов опрыскивания осуществляли проведением мультиспектральной съемки на 7-й, 14-й и 21-й день после обработки.

Изучаемые нами особенности схемы полета БПЛА для защиты посевов от пузырчатой головни путем подбора высоты и скорости, а также концентраций вносимого раствора представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры обработки фунгицидами посевов кукурузы БПЛА DJI AGRAS T-10

Table 1. Parameters for treating corn crops with fungicides using the DJI AGRAS T-10 UAV

Наименование препарата	Концентрация рабочего раствора, %	Высота полета, м	Скорость полета, м/с	Ширина захвата, м	Норма внесения рабочего раствора, л/га
Титул Трио ККР	50	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	7,50
Титул Трио ККР	75	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	11,25
Титул Трио ККР	100	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	15,00
Оптимо КЭ	50	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	7,50
Оптимо КЭ	75	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	11,25
Оптимо КЭ	100	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	15,00
Спирит СК	50	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	7,50
Спирит СК	75	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	11,25
Спирит СК	100	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	15,00

Опрыскивание экспериментальных участков фунгицидами проводили при высоте полета агродрона 2,0, 2,5 и 3,0 м, скорости от 4,1 до 7,0 м/с, ширине захвата около 5,0 м, что обеспечивало относительно равномерное распределение рабочего раствора по посевам кукурузы.

В процессе проведения многочисленных экспериментов оптимальные результаты обработки были получены при высоте полета 3,0 м, скорости 5,1–5,3 м/с, ширине захвата 5,0 м. Приведенная схема внесения фунгицидов с использованием БПЛА DJI AGRAS T-10 способствовала снижению пораженности растений кукурузы грибковыми заболеваниями на 70 %.

Осуществление полетов агродрона при высоте выше 3 м нецелесообразно, так как система опрыскивания агродрона DJI AGRAS T-10 не обеспечивает необходимое по мощности давление для качественной обработки. В результате не достигается требуемая мощность потока рабочего раствора для пробития стеблей кукурузы до земли и обратное отражение капель средств защиты с целью обработки нижней части листа растений. Помимо этого, увеличиваются снос и испарение рабочего раствора. Кроме того, изменение скорости полета БПЛА как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения указанных величин приводит к снижению качества опрыскивания.

За период проведения эксперимента (2022–2024 гг.) максимальная урожайность кукурузы установлена при обработке фунгицидами с концентрацией 75 % от нормы. Средняя урожайность кукурузы при опрыскивании посевов рабочим раствором препаратов данной концентрации за указанный период представлена в табл. 2.

Таблица 2. Средняя урожайность кукурузы за 2022–2024 гг.**Table 2.** Average corn yield for 2022–2024.

Наименование препарата	Оптимальная концентрация (%)	Урожайность культуры (ц/га)	Прибавка (ц/га)
Титул Трио ККР	75	44,5	8,2
Оптимо КЭ	75	40,2	3,9
Спирит СК	75	43,6	7,3
Без обработки	–	36,3	–

На опытных участках отмечается повышение урожайности с 1 га на 10,7–22,6 %. Применение препарата Титул Трио ККР обеспечило максимальную прибавку к урожайности по сравнению с контрольным участком на 8,2 ц/га и составило 44,5 ц/га, а при использовании фунгицидов Оптимом КЭ и Спирит СК соответственно 3,9, 7,3 ц/га и до 40,2 и 43,6 ц/га.

Результаты проведенных исследований подтверждают, что применение БПЛА DJI Mavic 3M для мультиспектрального мониторинга позволяет заблаговременно обнаруживать наличие сорняков, болезней, вредителей и создавать точные технологические карты полей для оперативного реагирования и предотвращения потери урожая с минимальными затратами.

Достигается это за счет более высокой точности внесения химикатов, благодаря чему сокращается расход удобрений и пестицидов без ущерба для посевов и повышается эффективность производства [13]. Кроме того, использование БПЛА для дифференцированного внесения агрохимикатов снижает затраты на пестициды и удобрения, повышает качество опрыскивания, экономическую эффективность и рентабельность производства зерна кукурузы.

Важное преимущество агродронов состоит в способности проводить работы даже после дождя и на самых труднодоступных участках, когда невозможно использовать традиционную технику для опрыскивания, а также в снижении негативного воздействия на экосистему в целом.

Выводы

Результаты исследований свидетельствуют об эффективности применения БПЛА для мультиспектрального мониторинга и дифференцированного внесения средств защиты растений от пузырчатой головни. Индексы NDVI, GNDVI и NDRE, рассчитанные на основе данных мультиспектральной съемки, позволяют выявить на посевах кукурузы проблемные зоны с пораженными болезнью участками и дефицитом питательных элементов, точно оценить состояние растений на разных стадиях их вегетации, что способствует научно обоснованному дифференцированному внесению химических препаратов.

Анализ полученных данных по борьбе с пузырчатой головней показал, что оптимальные результаты были достигнуты при концентрации препаратов 75 % от рекомендованной нормы и высоте полета агродрона 3 метра со скоростью 5,1–5,3 м/с с шириной захвата 5,0 м. Такие параметры полета БПЛА обеспечивали равномерное покрытие растений, снижение затрат на средства защиты растений и способствовали повышению урожайности на посевах кукурузы на 10,7–22,6 %.

Дальнейшие исследования в данном направлении по регулированию дозировки и интервала внесения химикатов с помощью БПЛА в зависимости от текущего состояния посевов могут быть использованы при создании систем адаптивного управления производства зерновых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иващенко В. Г. Пузырчатая головня кукурузы: этиология, патогенез болезни и проблема устойчивости (уточнение парадигмы) // Вестник защиты растений. № 4. 2011. С. 40–56. EDN: OKRIIR
2. Резвицкий Т. Х., Тикиджан Р. А., Позднякова А. В. и др. Пузырчатая головня на посевах кукурузы // The Scientific Heritage. 2021. № 58-1(58). С. 19–21. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-19-21
3. Артохин К. С., Иващенко В. Г. Особенности диагностики фитофагов, патогенов и сорных растений в системе защиты посевов кукурузы (методологические и практические аспекты) // Вестник защиты растений. 2018. № 4(98). С. 5–12. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-5-12
4. Иващенко В. Г. Болезни кукурузы: этиология, мониторинг и проблемы сортоустойчивости: монография. Приложение к журналу «Вестник защиты растений». СПб, Пушкин: ФГБНУ ВИЗР. 2015. 286 с.
5. Буга С. Ф., Жуковский А. Г., Жердецкая Т. Н. Биологическое обоснование эффективности химической защиты кукурузы от болезней: рекомендации. Минск: Институт защиты растений. 2012. 54 с.
6. Свидинович Н. Л., Жуковский А. Г. Эффективность фунгицидов в защите кукурузы от пузырчатой головни и фузариоза початков в условиях Беларуси // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 107–112. EDN: NOLRNT
7. Mohidem N.A., Che'Ya N.N., Juraimi A.S. et al. How can unmanned aerial vehicles be used for detecting weeds in agricultural fields? // Agriculture. 2021. № 11(10). Article ID: 1004. DOI: 10.3390/agriculture11101004
8. Nagothu S.K., Anitha G., Siranthini B. et al. Weed detection in agriculture crop using unmanned aerial vehicle and machine learning // Materialstoday: proceedings. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.350
9. Librán-Embid F., Klaus F., Tscharncke T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 732. Article ID: 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204
10. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Чащин А. Н., Заболотнова М. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. № 2. 2019. С. 47–51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5
11. Шуганов В. М., Лешкенов А. М., Шогенов А. Х., Кантиев З. Ю. Разработка перспективного метода опрыскивания для производства гибридных семян кукурузы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 236–248. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-236-248
12. Методические рекомендации по применению средств защиты растений с использованием беспилотных авиационных систем. М.: Россельхозцентр, 2021. 150 с.
13. Ram B.G., Oduor P., Igathinathane C. et al. A systematic review of hyperspectral imaging in precision agriculture: Analysis of its current state and future prospects // Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 222. P. 109037. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109037

REFERENCES

1. Ivaschenko V.G. Common smut of corn: etiology, pathogenesis of the disease and the problem of resistance (refinement of the paradigm). *Plant Protection News*. No. 4. 2011. Pp. 40–56. EDN: OKRIIR. (In Russian)
2. Rezvitsky T.Kh., Tikidzhan R.A., Pozdnyakova A.V. et al. Common smut on corn crops. *The Scientific Heritage*. 2021. No. 5-1(58). Pp. 19–21. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-19-21

3. Artokhin K.S., Ivaschenko V.G. Features of the diagnosis of phytophagous, pathogens and weeds in the corn crop protection system (methodological and practical aspects). *Plant Protection News*. 2018. No. 4(98). Pp. 5–12. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-5-12. (In Russian)
4. Ivaschenko V.G. Corn diseases: etiology, monitoring, and problems of variety resistance. *Suppl. Plant Protection News*. St. Petersburg: Pushkin: FGBNU VIZR. 2015. 286 p. (In Russian)
5. Buga S.F., Zhukovsky A.G., Zherdetskaya T.N. *Biologicheskoye obosnovaniye effektivnosti khimicheskoy zashchity kukuruzy ot bolezney: rekomendatsii* [Biological substantiation of the effectiveness of chemical protection of corn from diseases: recommendations]. Minsk: Institute zashchity rasteniy, 2012. 54 p. (In Russian)
6. Svidunovich N.L., Zhukovsky A.G. Efficiency of fungicides in protecting corn against common smut and fusarium ear blight in Belarus. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skohozyajstvennoy akademii* [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]. 2021. No. 2. Pp. 107–112. EDN: NOLRNT. (In Russian)
7. Mohidem N.A., Che'Ya N.N., Juraimi A.S. et al. How can unmanned aerial vehicles be used for detecting weeds in agricultural fields? *Agriculture*. 2021. No. 11(10). Article ID: 1004. DOI: 10.3390/agriculture11101004
8. Nagothu S.K., Anitha G., Siranthini B. et al. Weed detection in agriculture crop using unmanned aerial vehicle and machine learning. *Materialstoday: proceedings*. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr. 2023.03.350
9. Librán-Embíd F., Klaus F., Tschardt T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 732. Article ID: 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204
10. Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. Use of unmanned aerial vehicles in agriculture. *Bulletin of the Perm Federal Research Center*. No. 2. 2019. Pp. 47–51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. (In Russian)
11. Shuganov V.M., Leshkenov A.M., Shogenov A.Kh., Kantiev Z.Yu. Development of a promising spraying method for the production of hybrid corn seeds. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 236–248. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-236-248. (In Russian)
12. *Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu sredstv zashchity rasteniy s ispol'zovaniyem bespilotnykh aviatsionnykh sistem* [Methodological recommendations for the application of plant protection products using unmanned aerial systems]. Moscow: Rossel'khozsentr, 2021. 150 p. (In Russian)
13. Ram B.G., Oduor P., Igathinathane C. et al. A systematic review of hyperspectral imaging in precision agriculture: Analysis of its current state and future prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 222. P. 109037. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109037

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

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

Шогенов Анзор Хасанович, канд. с.-х. наук, науч. сотр. лаборатории «Интеллектуальные распределительные сельскохозяйственные системы» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

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

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1184-5397>, SPIN-код: 5996-3532

Кантиев Заурбек Юрьевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Сельскохозяйственной робототехники» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

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

kantvako@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-1177>

Бижоев Руслан Валерьевич, науч. сотр. лаборатории «Сельскохозяйственная робототехника» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

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

bizhoeva49@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5408-3006>, SPIN-код: 4821-0152

Information about the authors

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

Anzor Kh. Shogenov, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Intelligent Distribution Agricultural Systems, 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;

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1184-5397>, SPIN-code: 5996-3532

Zaurbek Yu. Kantiev, Junior Researcher, Agricultural Robotics Laboratory, 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;

kantvako@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-1177>

Ruslan V. Bizhiev, Researcher, Agricultural Robotics Laboratory, 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;

bizhoeva49@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5408-3006>, SPIN-code: 4821-0152

УДК 334.02

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-211-222

EDN: MEZNNO

Научная статья

Социально-экономическое развитие России: анализ влияния внешних шоков и структурных ограничений на уровень жизни

С. В. Дохолян

Институт социально-экономических проблем народонаселения,
Федеральный научно-исследовательский социологический центр РАН
117218, Россия, Москва, Нахимовский проспект, 32

Аннотация. Статья посвящена анализу парадоксальной динамики уровня жизни населения России в период с 2014-го по 2024 год, характеризующийся серьезными макроэкономическими шоками и активным вмешательством государства в социальную сферу.

Цель. Выявление причин расхождения между траекториями стагнирующих реальных доходов населения и официально снижающимся уровнем бедности.

Методология. Исследование основано на системном анализе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) о доходах, расходах, бедности и неравенстве, а также на обзоре и синтезе актуальных научных работ российских экономистов и социологов.

Результаты. В ходе анализа установлено, что падение реальных располагаемых доходов в 2014–2020 гг. было обусловлено внешними шоками и структурными особенностями экономики. Выявлено, что последующее беспрецедентное снижение официального уровня бедности было вызвано не органическим ростом благосостояния, а преимущественно масштабными адресными социальными выплатами семьям с детьми и специфическими экономическими факторами 2022–2024 гг. При этом высокий уровень неравенства (коэффициент Джини) продолжает выступать структурным барьером на пути к росту качества жизни большинства граждан.

Выводы. Существующая модель социальной политики в России эффективно справляется с задачей статистического купирования экстремальной нищеты, но не решает фундаментальных проблем рынка труда, таких как феномен «работающих бедных» и низкая стоимость труда. Это маскирует стагнацию реального благосостояния и консервирует структурные диспропорции в экономике.

Ключевые слова: уровень жизни, реальные доходы, бедность, неравенство, коэффициент Джини, социальная политика, российская экономика, работающие бедные, макроэкономические шоки, потребительские расходы, государственное регулирование

Поступила 11.07.2025, одобрена после рецензирования 29.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Дохолян С. В. Социально-экономическое развитие России: анализ влияния внешних шоков и структурных ограничений на уровень жизни // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 211–222. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-211-222

Socio-economic development of Russia: analysis for impact of external shocks and structural constraints on living standards

S.V. Dokholyan

Institute of Socio-Economic Problems of Population,
Federal Research Sociological Center of the Russian Academy of Sciences
32 Nakhimovsky prospekt, Moscow, 117218, Russia

Abstract. The article analyzes the paradoxical changes in the standard of living of the Russian population between 2014 and 2024, characterized by serious macroeconomic shocks and government active interventions in the social sector.

Aim. The purpose of the study is to identify the causes of the discrepancy between the trajectories of stagnating real incomes of the population and the officially declining poverty rate.

Methodology. The study is based on a systematic analysis of data from the Federal State Statistics Service (Rosstat) on income, expenses, poverty and inequality, as well as on a review and synthesis of current scientific papers by Russian economists and sociologists.

Results. The analysis revealed that the decline in real disposable incomes in 2014–2020 was due to external shocks and structural features of the economy. It was revealed that the subsequent unprecedented decrease in the official poverty level was caused not by an organic increase in well-being, but rather by large-scale targeted social payments to families with children and specific economic factors in 2022–2024. At the same time, the high level of inequality (the Gini coefficient) continues to act as a structural barrier to improving the quality of life for the majority of citizens.

Conclusions. It is concluded that the existing model of social policy in Russia effectively copes with the task of statistical relief of extreme poverty, but does not solve the fundamental problems of the labor market, such as the phenomenon of the "working poor" and low labor costs. This masks the stagnation of real wealth and preserves structural imbalances in the economy.

Keywords: standard of living, real incomes, poverty, inequality, Gini coefficient, social policy, Russian economy, working poor, macroeconomic shocks, consumer spending, government regulation

Submitted on 11.07.2025,

approved after reviewing on 29.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Dokholyan S.V. Socio-economic development of Russia: analysis for impact of external shocks and structural constraints on living standards. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 211–222. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-211-222

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы. Низкий уровень жизни значительной части населения остается одной из наиболее острых социально-экономических проблем современной России. Несмотря на периоды экономического роста и декларируемые успехи в социальной политике, разрыв в доходах, высокий уровень бедности и неудовлетворенность качеством жизни продолжают вызывать обеспокоенность как в экспертном сообществе, так и среди граждан. Настоящее исследование направлено на выявление и анализ ключевых причин, обусловивших низкий уровень жизни населения России в период с 2014-го по 2024 год. Этот временной отрезок характеризуется серьезными внешними и внутренними вызовами: от введения международных санкций и падения цен на энергоносители до пандемии COVID-19 и структурных изменений в экономике.

В рамках данного исследования будет проведен анализ динамики основных показателей уровня жизни, таких как доходы, расходы, уровень бедности и коэффициент Джини, на основе данных российских государственных организаций. Кроме того, будет представлен обзор научной литературы с изложением мнений российских ученых и экспертов относительно фундаментальных причин исследуемой проблемы. Итогом работы станут предложения по возможным направлениям для дальнейшего, более глубокого научного анализа.

Цель данной статьи – выявить и проанализировать, каким образом внешние макроэкономические шоки и ответные меры государственной политики повлияли на ключевые индикаторы уровня жизни в России (доходы, бедность, неравенство, потребление) в период с 2014-го по 2024 год.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Теоретический анализ

Анализ научной литературы, опубликованной в период с 2020-го по 2024 год, позволяет выделить несколько ключевых направлений в объяснении причин низкого уровня жизни в России. Мнения экспертов сходятся в том, что проблема носит комплексный характер, обусловленный как макроэкономическими, так и институциональными факторами.

Макроэкономические и структурные факторы. Многие исследователи указывают на долгосрочную стагнацию реальных доходов населения как на основной фактор. Так, А. В. Вахрушев отмечает в [1], что экономическая модель, сложившаяся в России, не обеспечивает устойчивого роста доходов для большинства граждан. Исследователи подчеркивают зависимость экономики от экспорта сырья, что делает ее уязвимой к колебаниям мировых цен.

В. Н. Бобков, Е. В. Одинцова, В. В. Коваленко и А. А. Гулюгина в своих работах [2] акцентируют внимание на проблеме «работающих бедных», когда наличие занятости не гарантирует достойный уровень жизни. По их мнению, низкая стоимость рабочей силы является одной из фундаментальных проблем российской экономики. С ними согласна Н.В. Зубаревич, которая также указывает на глубокую региональную дифференциацию в уровне доходов и качества жизни, обусловленную неравномерным экономическим развитием регионов [3]. Наши исследования дополняют работы Н.В. Зубаревич, показывая, что проблема регионального неравенства требует системного подхода, основанного на принципах устойчивого развития, который включает не только экономическую, но и социальную и экологическую составляющие [4, 5].

Влияние внешних шоков. Влияние санкций, введенных в 2014 году, и последующих их волн на уровень жизни населения является предметом дискуссий. Аналитические данные свидетельствуют о глубоком и затяжном падении реальных располагаемых доходов населения, которое продолжалось четыре года подряд (2014–2017). Это падение было прямым следствием «двойного шока», описанного в работах С. А. Афонцева [6], М. Ю. Малкиной и Р. В. Балакина [7], – одновременного эффекта от падения мировых цен на нефть и введения экономических санкций. На фоне общих экономических проблем вопросы продовольственной безопасности и устойчивости аграрного сектора стали критически важными для поддержания минимального уровня жизни, особенно в аграрных и периферийных регионах. Это добавляет еще один важный аспект к анализу благосостояния населения [8, 9].

М. Ю. Малкина и Р. В. Балакин утверждают в [7], что санкции привели к росту цен на потребительские товары и ограничили доступ к дешевым кредитным ресурсам, что негативно сказалось на благосостоянии домохозяйств. В свою очередь С. А. Афонцев в [6] отмечает, что хотя прямой эффект санкций был значительным, более существенное влияние оказало падение цен на нефть в 2014–2015 годах, которое привело к девальвации рубля и сокращению бюджетных возможностей.

Пандемия COVID-19 также внесла свой вклад. А. А. Широ и В. В. Потапенко в своих исследованиях [10] подчеркивают, что пандемия наиболее сильно ударила по доходам работников сферы услуг и неформального сектора, углубив существующее неравенство.

Социальное неравенство и бедность. Проблема высокого неравенства доходов является центральной в работах многих российских социологов и экономистов. М. К. Горшков, основываясь на данных социологических опросов [11], делает вывод о глубоком расколе в обществе по уровню доходов и доступу к социальным благам. А. А. Мотыльков [12] исследует факторы, консервирующие бедность, среди которых выделяет низкий уровень образования и квалификации, а также ограниченные возможности для вертикальной социальной мобильности.

Ю. Г. Лежнина в своей работе [13] обращает внимание на структуру бедности, подчеркивая, что наиболее уязвимыми группами являются семьи с детьми и жители сельской местности. Н. М. Римашевская, И. А. Денисова, М. А. Карцева критически оценивают эффективность мер социальной поддержки, указывая на их недостаточный объем и слабую адресность [14, 15].

Институциональные факторы. Ряд экспертов связывают низкий уровень жизни с особенностями институциональной среды. А. А. Аузан говорит в [16] о «колее» институционального развития, которая препятствует формированию конкурентной среды и росту производительности труда.

А. Г. Аганбегян в [17] настаивает на необходимости структурных реформ, направленных на диверсификацию экономики, развитие человеческого капитала и поддержку малого и среднего бизнеса как ключевых условий для роста благосостояния населения. В. А. Мау, анализируя в [18] экономическую политику, отмечает противоречивость принимаемых мер, когда фискальная консолидация и сдерживание инфляции ставятся в приоритет перед стимулированием роста доходов. Наконец, С. Ю. Глазьев [19] связывает проблемы в уровне жизни с проводимой денежно-кредитной политикой, которая, по его мнению, ограничивает экономический рост.

2. Эмпирический анализ

На основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) и Минэкономразвития можно провести комплексную оценку динамики уровня жизни населения России за период с 2013-го по 2024 год. Анализ охватывает ключевые показатели: доходы населения, их соотношение с прожиточным минимумом, уровень бедности и степень социального неравенства.

За исследуемый период наблюдался уверенный рост номинальных показателей благосостояния (табл. 1). Среднедушевые денежные доходы населения выросли более чем вдвое: с 25 684 рублей в месяц в 2013 году до 63 083 рублей в 2024 году. Параллельно увеличивалась и величина прожиточного минимума – с 7 326 рублей до 15 453 рублей за тот же период.

Таблица 1. Соотношение среднедушевых денежных доходов населения с величиной прожиточного минимума за 2013–2024 гг.**Table 1.** The ratio of the average per capita monetary income of the population to the minimum subsistence level for 2013–2024.

Годы	Среднедушевые денежные доходы населения, рублей в месяц	Величина прожиточного минимума, в целом по Российской Федерации, в расчете на душу населения*	Отношение среднедушевых денежных доходов населения к прожиточному минимуму в РФ, в процентах
2013	25684	7326	350,59
2014	27412	7688	356,56
2015	30254	9662	313,12
2016	30865	9776	315,72
2017	31897	9909	321,90
2018	33361	10038	332,35
2019	35506	10753	330,20
2020	36240	10 843	334,22
2021	40304	11653	345,87
2022	44937	12654	355,12
2023	47386	14375	329,64
2024	63083	15453	408,22

*Российская Федерация без учета новых субъектов (с 01.01.2023)

Источники: таблица составлена на основе информации из статистических сборников и отчетов Федеральной службы государственной статистики (Росстат) за соответствующие годы

Ключевым индикатором является отношение доходов к прожиточному минимуму, которое показывает покупательную способность среднего дохода в «прожиточных минимумах». Этот показатель демонстрировал колебания: после роста до 356,56 % в 2014 году он заметно снизился в 2015 году до 313,12 %, что совпало с экономическими трудностями того периода. В последующие годы он восстанавливался, достигнув исторического максимума в 408,22 % в 2024 году, что свидетельствует о существенном превышении средних доходов над базовым уровнем потребностей.

Однако для полной картины необходимо учитывать реальные располагаемые доходы, которые корректируются на инфляцию (табл. 2). Их динамика была крайне нестабильной. Период с 2014-го по 2017 год характеризовался спадом с наиболее резким падением в 2016 году (-4,6 %). После кратковременного роста в 2018–2019 гг. в 2020 году вновь последовало снижение (-2,0 %). Наиболее позитивным годом стал 2023-й, когда реальные доходы выросли на 5,4 %. Эта волатильность показывает, что несмотря на рост номинальных зарплат, их реальная покупательная способность подвергалась серьезным колебаниям из-за инфляционных процессов.

Одним из наиболее значимых положительных трендов за рассматриваемый период стало последовательное снижение уровня бедности. Если в 2015 году 13,4 % населения имели доходы ниже прожиточного минимума, то к 2024 году этот показатель сократился почти вдвое, достигнув рекордно низкого значения в 7,2 %.

Это снижение было особенно заметным в последние годы: с 11,0 % в 2021 году до 9,3 % в 2023 году. Такой прогресс можно связать как с ростом номинальных доходов, опережающим рост прожиточного минимума, так и, вероятно, с мерами государственной соци-

альной поддержки, направленными на наименее обеспеченные слои населения. Успешное сокращение бедности является важным индикатором повышения базового уровня жизни в стране.

Таблица 2. Динамика показателей благосостояния населения РФ за 2014–2024 гг.

Table 2. Dynamics of welfare indicators for the population of the Russian Federation for 2014–2024

Год	Реальные располагаемые доходы (изменение, % к пред. году)	Уровень бедности (%)	Коэффициент Джини
2014	–1,2	11,2	0,416
2015	–2,8	13,4	0,413
2016	–4,6	13,2	0,412
2017	–0,9	12,9	0,411
2018	+0,5	12,6	0,413
2019	+1,2	12,3	0,411
2020	–2,0	12,1	0,406
2021	+3,2	11,0	0,409
2022	–1,0	9,8	0,398
2023	+5,4	9,3	0,405
2024	+1,2	7,2	0,408

Источники: данные Росстата, Минэкономразвития.

Для оценки равномерности распределения доходов в обществе используется коэффициент Джини, где 0 означает абсолютное равенство, а 1 – абсолютное неравенство. На протяжении всего периода с 2014-го по 2024 год этот показатель в России оставался на удивление стабильным. Коэффициент колебался в очень узком коридоре: от максимального значения 0,416 в 2014 году до минимального 0,398 в 2022 году. В 2024 году он составил 0,408. Такая стабильность свидетельствует о том, что несмотря на экономические потрясения, рост доходов и снижение бедности, фундаментальная структура распределения благ в обществе практически не изменилась. Экономический рост и социальные трансферты позволили поднять доходы наименее обеспеченных граждан выше черты бедности, но не привели к существенному сокращению разрыва между богатыми и бедными.

Структура расходов (табл. 3) показывает увеличение доли затрат на продукты питания, что является характерным признаком снижения реальных доходов у значительной части населения. Согласно закону Энгеля увеличение доли трат на продовольствие в бюджете домохозяйства может свидетельствовать о снижении реальных располагаемых доходов, поскольку еда является товаром первой необходимости, от которого сложнее отказаться.

Таблица 3. Структура потребительских расходов домашних хозяйств, 2014 и 2023 гг. (%)

Table 3. Structure of household consumer expenditures, 2014 and 2023 (%)

Статьи расходов	2014 г.	2023 г.
Продукты питания	29,8	32,3
Непродовольственные товары	36,9	35,5
Услуги	25,1	24,2
Алкогольные напитки, табачные изделия	3,1	3,0
Прочие расходы	5,1	5,0

Источники: данные Росстата, Минэкономразвития.

Сравнение структуры расходов за 2014 и 2023 годы указывает на смещение потребительских приоритетов в сторону базовых потребностей. Увеличение доли расходов на продукты питания на фоне сокращения трат на непродовольственные товары и услуги является признаком того, что домохозяйства испытывают определенное экономическое давление.

В условиях, когда рост цен на продовольствие опережает рост доходов или когда реальные доходы стагнируют либо снижаются, потребители вынуждены выделять большую часть своего бюджета на еду, сокращая при этом менее обязательные траты. Таким образом, анализ таблицы 3 свидетельствует о возможном ухудшении материального положения или, как минимум, о пересмотре потребительской модели средней российской семьи в сторону большей экономии за указанный период.

Анализ статистических данных за 2013–2024 годы позволяет сформировать комплексное заключение об уровне жизни в России:

- Наблюдается значительный рост номинальных доходов, что привело к увеличению разрыва между средней зарплатой и прожиточным минимумом. Однако из-за инфляции реальные доходы населения переживали периоды спада, что сказывалось на ощущении экономического благополучия граждан. Период с 2014-го по 2017 год был отмечен глубоким спадом (–0,7 %, –3,2 %, –5,8 %, –1,2 % последовательно), который фактически отбросил благосостояние населения на несколько лет назад. Этот спад, как верно отмечают А. С. Булатов, Ю. Д. Квашнин и С. А. Афонцев, был спровоцирован двойным шоком: падением мировых цен на нефть и введением западных санкций, что привело к девальвации рубля и всплеску инфляции [17]. Последующий рост был либо незначительным (2018–2019), либо прерывался новыми кризисами, как пандемия в 2020 году (–2,0 %), о чем пишут Л. Н. Овчарова и Е. Г. Попова. Даже с учетом позитивной динамики 2021 и 2023 годов для многих домохозяйств десятилетие в целом не принесло ощутимого роста реального благосостояния.

- Главным достижением за этот период стало последовательное и существенное снижение уровня бедности до исторического минимума. На фоне стагнирующих доходов официальная статистика демонстрирует значительное снижение уровня бедности, особенно в 2022–2023 годах (с 11,0 % до 9,3 %). Это расхождение можно объяснить несколькими факторами, которые активно обсуждаются в научной среде: во-первых, эффективность адресной поддержки – государство действительно нарастило объем социальных выплат, особенно для семей с детьми, что позволило вывести доходы части населения формально выше черты прожиточного минимума. Это частично отражает критику Л. С. Ржаницыной и Н. М. Римашевской о необходимости повышения адресности помощи [14]. Во-вторых, изменение методологии: методика расчета прожиточного минимума и границы бедности менялась, что могло повлиять на итоговые цифры. И в-третьих, это специфические факторы 2022–2024 гг.: значительные выплаты, связанные с участием в СВО, и рост зарплат в оборонно-промышленном комплексе могли повысить доходы определенных групп населения, что статистически снизило общий уровень бедности.

- Уровень социального неравенства, измеряемый коэффициентом Джини, оставался практически неизменным. Коэффициент Джини, несмотря на небольшое снижение до 0,395, остается на высоком уровне. Это говорит о том, что плоды даже ограниченного экономического роста распределяются крайне неравномерно. Это подтверждает тезисы М. К. Горшкова о социальном расколе [11] и Н. В. Зубаревич о глубоком региональном неравенстве [3]. Снижение коэффициента может быть связано с ростом доходов в нижней части шкалы за счет социальных выплат, но не отменяет колоссальной концентрации богатства наверху. Это указывает на то, что плоды экономического роста распределялись пропорционально существующим долям, не меняя сложившуюся в обществе иерархию доходов.

Таким образом, можно констатировать улучшение базовых показателей уровня жизни, особенно в части борьбы с бедностью, при сохранении стабильной структуры социального

расслоения и высокой чувствительности реальных доходов населения к макроэкономической конъюнктуре.

Представленные данные позволяют верифицировать мнения экспертов:

Авторы	Тезис	Подтверждение в эмпирическом анализе
Аганбегян А.Г., Аузан А.А.	Необходимость структурных реформ, зависимость от сырьевой модели	Периоды падения реальных доходов совпадают с падением цен на энергоносители, что доказывает уязвимость экономики.
Бобков В.Н., Гулюгина А.А.	Проблема «работающих бедных»	Рост номинальных доходов при стагнации реальных и высокой доле трат на еду.
Зубаревич Н.В.	Глубокая региональная дифференциация	Высокий коэффициент Джини отражает в том числе и межрегиональное неравенство в доходах и качестве жизни.
Мотыльков А.А.	Высокий уровень неравенства консервирует бедность	Стабильно высокий коэффициент Джини показывает, что несмотря на снижение официальной бедности фундаментальная проблема разрыва в доходах сохраняется.
Широв А. А., Потапенко В. В.	Влияние пандемии на доходы	Падение реальных доходов в 2020 году на 2,0 % является прямым отражением последствий локдаунов.

Источник: составлено автором

Основной вывод, следующий из анализа данных, – это парадокс между стагнацией реальных доходов и официальным снижением уровня бедности. Этот феномен является центральным для понимания социально-экономической ситуации в России в 2014–2024 годах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При анализе официальных статистических данных за рассматриваемый период обнаруживается фундаментальное противоречие. С одной стороны, показатели реальных располагаемых денежных доходов населения демонстрируют длительную стагнацию, а в отдельные годы – и существенное падение. Структура потребительских расходов также указывает на признаки ухудшения благосостояния, в частности, через рост доли затрат на продовольствие. С другой стороны, официальная статистика фиксирует устойчивое снижение уровня бедности, достигшее к 2023 году исторических минимумов. Это расхождение ставит под сомнение однозначность трактовок и требует глубокого анализа: является ли снижение бедности результатом устойчивого роста благосостояния или следствием иных, в том числе и статистических, факторов?

Наиболее интересный с аналитической точки зрения период начинается в 2021 году. Именно здесь возникает ключевой парадокс исследования: на фоне весьма скромного и волатильного восстановления реальных доходов происходит резкое, беспрецедентное снижение официального уровня бедности, который упал с 12,1 % в 2020 году до 9,3 % в 2023 году.

Объяснение этого феномена лежит не в плоскости всеобщего экономического процветания, а в сфере государственной политики. Этот период характеризуется двумя основными факторами:

1. Масштабирование адресной социальной поддержки. Введение и расширение ежемесячных выплат на детей в возрасте от 3 до 7 лет, а затем и для всех нуждающихся семей с детьми до 17 лет, а также другие программы поддержки позволили таргетированно повысить доходы самых бедных домохозяйств. Эти трансферты, пусть и не всегда значительные

по размеру, позволили миллионам людей формально пересечь черту прожиточного минимума, что напрямую отразилось на статистике.

2. Специфические факторы экономики 2022–2024 гг. Новая фаза экономической трансформации, связанная с проведением СВО, привела к резкому росту бюджетных расходов. Значительные денежные выплаты военнослужащим по контракту, мобилизованным и их семьям, а также рост заработных плат в оборонно-промышленном комплексе и смежных отраслях создали новый, статистически весомый источник доходов для определенных социальных групп.

Таким образом, снижение бедности и некоторое сглаживание неравенства (табл. 2, снижение коэффициента Джини до 0,395) произошли не за счет органичного роста экономики, а в результате прямого государственного вмешательства и перераспределения финансовых потоков. Это создало ситуацию, при которой медианный уровень жизни большинства населения мог не улучшаться или даже стагнировать, в то время как формальные показатели бедности демонстрировали позитивную динамику за счет «подтягивания» самых низких доходов и появления новых высокодоходных (в сравнении со средними) групп.

Хотя последние данные показывают некоторое снижение коэффициента Джини (табл. 2), его абсолютное значение, стабильно державшееся выше 0,400 на протяжении почти всего периода и составившее 0,395 в 2023 году, свидетельствует о сохранении высокого уровня социально-экономического неравенства. Этот показатель является не просто статистической метрикой, а маркером глубокой структурной проблемы, которая выступает фундаментальным барьером на пути роста уровня жизни всего населения.

Высокий уровень неравенства фактически раскалывает общество на две части, живущие в разных экономических реальностях. Это приводит к тому, что средние макроэкономические показатели, такие как рост ВВП или среднедушевых доходов (табл. 1), теряют свою репрезентативность. Рост может быть сконцентрирован в узком сегменте населения, в то время как доходы медианной семьи (условной семьи, находящейся в середине шкалы доходов) остаются на прежнем уровне или даже снижаются. Именно поэтому анализ реальных располагаемых доходов (табл. 2) и структуры потребления (табл. 3) дает более адекватное представление о благосостоянии большинства. Без новой индустриализации и структурной модернизации экономики невозможно преодолеть стагнацию и высокий уровень региональной дифференциации. Наши работы [20] доказывают, что проблемы депрессивных регионов требуют целенаправленной промышленной политики, что напрямую связано с повышением уровня жизни.

Структурное неравенство создает порочный круг. С одной стороны, оно подавляет совокупный внутренний спрос, поскольку большая часть населения имеет ограниченную покупательную способность, что сдерживает развитие малого и среднего бизнеса, ориентированного на внутренний рынок. С другой стороны, оно ограничивает инвестиции в человеческий капитал. Для семей с низкими доходами доступ к качественному образованию и медицине затруднен, что консервирует их положение и снижает шансы для их детей на социальную мобильность. Это полностью соответствует выводам А. Г. Аганбегяна и А. А. Аузана об институциональных ловушках, которые препятствуют долгосрочному экономическому развитию. Таким образом, даже при наличии формального снижения бедности высокий уровень неравенства продолжает воспроизводить низкое качество жизни для значительной части граждан.

Выводы

Проведенное исследование динамики уровня жизни населения России в период с 2014 по 2024 год выявило сложную и противоречивую картину, центральным элементом которой является парадокс между стагнацией реальных доходов и официальным снижением уровня бедности.

Результаты анализа подтверждают выдвинутую гипотезу. Снижение уровня бедности, особенно заметное в 2021–2023 годах, было достигнуто не за счет органичного роста экономики и повсеместного повышения благосостояния, а преимущественно благодаря прямому государственному вмешательству. Масштабные и целенаправленные социальные трансферты (в первую очередь выплаты семьям с детьми), а также специфические факторы, связанные со структурной перестройкой экономики с 2022 года (выплаты военнослужащим и рост зарплат в ОПК), позволили повысить доходы наиболее уязвимых групп населения выше формальной черты бедности. Эти меры, однако, замаскировали, но не решили фундаментальные проблемы, сдерживающие рост качества жизни.

Ключевой вывод заключается в том, что социально-экономическая модель, функционирующая в России в рассматриваемый период, продемонстрировала способность эффективно купировать риски экстремальной нищеты и поддерживать социальную стабильность через механизмы перераспределения. Однако она не смогла обеспечить устойчивый рост реальных доходов и благосостояния для большинства населения. Проблемы «работающих бедных», низкой стоимости труда и глубокого социально-экономического неравенства остаются нерешенными и выступают главным структурным тормозом на пути к повышению уровня жизни. Текущая модель, скорее, борется с симптомами, чем с причинами низкой экономической эффективности и ее социальных последствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушев А. В. Основные факторы бедности в современном российском обществе // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2023. № 1(65). С. 123–134. DOI: 10.21685/2072-3016-2023-1-12
2. Бобков В. Н., Гулюгина А. А. Неравенство качества и уровня жизни населения регионов // Экономика региона. 2012. № 2(30). С. 170–178. DOI: 10.17059/2012-2-15
3. Зубаревич Н. В. Регионы России: неравенство, кризис, модернизация. М.: Независимый институт социальной политики, 2010. 160 с. ISBN: 978-5-903599-10-3
4. Дохолян С. В., Петросянц В. З., Садыкова А. М. Устойчивое развитие региональных экономических систем: теоретический аспект // Региональные проблемы преобразования экономики. 2013. № 2 (36). С. 60–71. EDN: RAGTMF
5. Дохолян С. В. Механизм устойчивого социально-экономического развития проблемных регионов // Региональные проблемы преобразования экономики. 2022. № 9(143). С. 27–35. DOI: 10.26726/1812-7096-2022-9-27-35
6. Афонцев С. А. Политические парадоксы экономических санкций // Журнал Новой экономической ассоциации. 2022. № 3(55). С. 193–198. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-55-3-10
7. Малкина М. Ю., Балакин Р. В. Тенденции развития российской экономики в период новых антироссийских санкций // Russian Journal of Economics and Law. 2024. Т. 18. № 2. С. 287–313. DOI: 10.21202/2782-2923.2024.2.287-313
8. Дохолян С. В., Вартанова М. Л. Обеспечение продовольственной безопасности России как первоочередная задача российской экономики // Продовольственная политика и безопасность. 2016. Т. 3. № 4. С. 217–225. DOI: 10.18334/ppib.3.4.37570
9. Дохолян С. В., Вартанова М. Л. Обеспечение эффективности функционирования продовольственного рынка региона в условиях конкурентной среды // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 17. С. 2153–2178. DOI: 10.18334/rp.17.17.36538
10. Широв А. А., Потапенко В. В. Парадокс российского потребления // ЭКО. 2020. № 6(552). С. 8–25. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2020-6-8-25
11. Горшков М. К. Российское общество как оно есть. М.: Новый хронограф, 2016. 672 с.

12. Мотыльков А. А. Бедность в современной России: вызовы социально-экономической стабильности // Креативная экономика. 2025. Т. 19, № 4. С. 827–842.
13. Лежнина Ю. Г. Социально-демографические особенности бедности в Российской Федерации // Социологические исследования. 2014. № 1. С. 20–28. EDN: RXTMNP
14. Римашиевская Н. М. Гендерные асимметрии в современной России // Народонаселение. 2010. № 3(49). С. 4–18. EDN: OCSUFF
15. Денисова И. А., Карцева М. А. Гендерные аспекты бедности в России: абсолютный и многокритериальный подход // Женщина в российском обществе. 2020. № 2. С. 138–155. DOI: 10.21064/WinRS.2020.2.12
16. Аузан А. Экономика всего. Как институты определяют нашу жизнь. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. 160 с.
17. Аганбегян А. Г. О преодолении стагнации, рецессии и достижении пятипроцентного роста // Экономическое возрождение России. 2019. № 2(60). С. 17–23. EDN: QBZBNC
18. Мау В. А. Экономическая политика в условиях пандемии: опыт 2021–2022 гг. // Вопросы экономики. 2022. Т. 3. С. 5–28. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-3-5-28
19. Глазьев С. Ю. О глубинных причинах нарастающего хаоса и мерах по преодолению экономического кризиса // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2020. № 2(32). С. 11–22. DOI: 10.22394/2073-2929-2020-2-11-22
20. Дохолян С. В., Петросянц В. З., Садыкова А. М. Современные проблемы инновационного социально-экономического развития региона // Региональные проблемы преобразования экономики. 2012. № 3(33). С. 43–51. EDN: PICDQP

REFERENCES

1. Vakhrushev A.V. The main factors of poverty in modern Russian society. *University Proceedings. Volga Region. Social Sciences*. 2023. No. 1(65). Pp. 123–134. DOI: 10.21685/2072-3016-2023-1-12. (In Russian)
2. Bobkov V.N., Gulyugina A.A. The inequality of the quality and standards of life of the population of the regions. *Economy of Regions*. 2012. No. 2. Pp. 170–178. DOI: 10.17059/2012-2-15. (In Russian)
3. Zubarevich N.V. *Regiony Rossii: neravenstvo, krizis, modernizaciya* [Regions of Russia: Inequality, Crisis, Modernization]. Moscow: Nezavisimyy institut social'noy politiki, 2010. 160 p. ISBN: 978-5-903599-10-3. (In Russian)
4. Dokholyan S.V., Petrosyanc V.Z., Sadykova A.M. Sustainable development of regional economic systems: theoretical aspect. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional Problems of Economic Transformation]. 2013. No. 2(36). Pp. 60–71. EDN: RAGTMF. (In Russian)
5. Dokholyan S.V. Mechanism of sustainable socio-economic development of problem regions. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional Problems of Economic Transformation]. 2022. No. 9(143). Pp. 27–35. DOI: 10.26726/1812-7096-2022-9-27-35. (In Russian)
6. Afoncev S.A. Political paradoxes of economic sanctions. *Journal of the New Economic Association*. 2022. No. 3(55). Pp. 193–198. (In Russian)
7. Malkina M.Yu., Balakin R.V. Trends in the Russian economy development during the new anti-Russian sanctions. *Russian Journal of Economics and Law*. 2024. Vol. 18. No. 2. Pp. 287–313. (In Russian)
8. Dokholyan S.V., Vartanova M.L. Ensuring food security of Russia as a primary task of the Russian economy. *Food Policy and Security*. 2016. Vol. 3. No. 4. Pp. 217–225. DOI: 10.18334/ppib.3.4.37570 (In Russian)

9. Dokholyan S.V., Vartanova M.L. Ensuring of an efficient functioning of the food market in the conditions of a competitive environment. *Russian Journal of Entrepreneurship*. 2016. Vol. 17. No. 17. Pp. 2153–2178. DOI: 10.18334/rp.17.17.36538. (In Russian)
10. Shirov A.A., Potapenko V.V. The Russian consumption paradox. *ECO*. 2020. No. 6(552). Pp. 8–25. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2020-6-8-25. (In Russian)
11. Gorshkov M.K. *Rossiyskoe obshchestvo kak ono est'* [Russian Society as it is]. Moscow: Novyy hronograf, 2016. 672 p. (In Russian)
12. Motyl'kov A.A. Bednost' v sovremennoy Rossii: vyzovy social'no-ekonomicheskoy stabil'nosti. *Kreativnaya ekonomika*. 2025. Vol. 19. No. 4. Pp. 827–842. (In Russian)
13. Lezhnina Yu.G. Social demographic specifics of poverty in Russian Federation. *Sotsiologicheskie issledovaniya*. 2014. No. 1. Pp. 20–28. EDN: RXTMNP. (In Russian)
14. Rimashevskaya N.M. Gender asymmetries in modern Russia. *Population*. 2010. No. 3(49). Pp. 4–18. EDN: OCSUFF. (In Russian)
15. Denisova I.A., Karceva M.A. Gender poverty gap in Russia: absolute vs. Multidimensional concepts. *Woman in Russian Society*. 2020. No. 2. Pp. 138–155. DOI: 10.21064/WinRS.2020.2.12. (In Russian)
16. Auzan A. *Ekonomika vsego. Kak instituty opredelyayut nashu zhizn'* [The economics of everything. How institutions shape our lives]. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2020. 160 p. (In Russian)
17. Aganbegyan A.G. Overcoming stagnation, recession, and achieving a five-percent growth rate. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii* [Russia's Economic Revival]. 2019. No. 2(60). Pp. 17–23. (In Russian)
18. Mau V.A. Economic policy in times of the pandemic: the experience of 2021–2022. *Voprosy ekonomiki*. 2022. Vol. 3. Pp. 5–28. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-3-5-28. (In Russian)
19. Glaz'ev S.Yu. On the underlying causes of growing chaos and measures of the economic crisis overcoming. *Eurasian Integration: Economics, Law, Politics*. 2020. No. 2(32). Pp. 11–22. DOI: 10.22394/2073-2929-2020-2-11-22. (In Russian)
20. Dokholyan S.V., Petrosyanc V.Z., Sadykova A.M. Modern problems of innovative socio-economic development of the region. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional Problems of Economic Transformation]. 2012. No. 3(33). Pp. 43–51. EDN: PICDQP. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

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, Федеральный научно-исследовательский социологический центр РАН; 117218, Россия, Москва, Нахимовский проспект, 32; 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 of Problems of the Level and Quality of Life, Institute of Socio-Economic Problems of Population, Federal Research Sociological Center of the Russian Academy of Sciences; 32 Nakhimovsky prospekt, Moscow, 117218, Russia; sergsvd@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4609-448X>, SPIN-code: 6492-9940

УДК 332.1:338

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-223-233

EDN: PJZIFE

Научная статья

Оценка динамики численности и заработной платы муниципальных служащих в Кабардино-Балкарской Республике

Х. М. Рахаев, Ж. С. Жангоразова, Э. С. Баккуев✉, Л. Х. Кунижева

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова
360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в

Аннотация. Местное самоуправление является важнейшей сферой общественной жизни. Его функционирование осуществляют муниципальные служащие – специфический род профессиональных служащих, прямо и косвенно связанных с местным самоуправлением, выполнением интересов населения непосредственно по месту жительства. Муниципальные служащие призваны своевременно и адекватно реализовывать интересы населения муниципальных образований.

Цель исследования. Разработка и обоснование и методических рекомендаций по развитию системы оплаты труда муниципальных служащих в органах местного самоуправления КБР на основе оценки динамики их заработной платы и численности.

Материалы и методы исследования. В ходе подготовки статьи были использованы методы: сравнительного, статистического анализа динамики численности и заработной платы муниципальных служащих, статистический анализ для изучения зависимости между численностью муниципальных служащих и их заработной платой с учетом различных факторов, табличной и графической визуализации. Эмпирическую базу исследования составили данные государственной статистики, работы исследователей по обозначенной проблеме. Расчеты проведены с помощью программы Excel.

Результаты. На основе проведенной оценки в условиях растущих потребностей и интересов населения, повышения уровня и качества жизни нагрузка на муниципальных служащих растет, в связи с чем необходима соответствующая мотивация работников. По оценкам, в настоящее время уровень оплаты труда муниципальных служащих ниже уровня оплаты труда госслужащих и работников коммерческих предприятий, при этом численность муниципальных служащих также значительно ниже, так как численность муниципальных служащих формируется из формального критерия – численности населения муниципалитетов, и такая зависимость чаще всего оказывается нерациональной и неэффективной.

Выводы. На основе оценки динамики численности и заработной платы муниципальных служащих в исследовании выявлены ключевые проблемы в системе оплаты труда муниципальных служащих.

Ключевые слова: муниципальные служащие, динамика численности, оплата труда, корреляции

Поступила 08.08.2025, одобрена после рецензирования 10.09.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Рахаев Х. М., Жангоразова Ж. С., Баккуев Э. С., Кунижева Л. Х. Оценка динамики численности и заработной платы муниципальных служащих в Кабардино-Балкарской Республике // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 223–233. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-223-233

Assessing dynamics of number and salaries of municipal employees in Kabardino-Balkarian Republic

Kh.M. Rakhaev, Zh.S. Zhangorazova, E.S. Bakkuev✉, L.Kh. Kunizheva

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov
1v Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia

Abstract. Local self-government is a vital area of public life. Its functioning is carried out by municipal employees – a specific type of professional employee directly and indirectly involved in local self-government and the pursuit of the interests of the population directly in their place of residence. Municipal employees are called upon to promptly and adequately realize the interests of the population of municipal entities.

Aim. To develop and substantiate methodological recommendations for the development of a remuneration system for municipal employees in local government bodies of the Kabardino-Balkarian Republic based on an assessment of the dynamics of their salaries and numbers.

Materials and methods. The following methods are used in preparing this article: comparative statistical analysis of the dynamics of the number and salaries of municipal employees, statistical analysis to study the relationship between the number of municipal employees and their salaries, taking into account various factors, and tabular and graphical visualization. The empirical basis of the study was formed by government statistics and research on the topic. Calculations were performed using Excel.

Results. Based on the conducted assessment, the workload of municipal employees is increasing in the context of growing population needs and interests, improving living standards, and improving the quality of life. Therefore, appropriate employee motivation is necessary. According to estimates, the current level of municipal employee salaries is lower than the salaries of civil servants and employees of commercial enterprises. Furthermore, the number of municipal employees is also significantly lower, as the number of municipal employees is determined by a formal criterion – the population size of municipalities – and this dependence often proves irrational and ineffective.

Conclusions. Based on an assessment of the dynamics of the number and salaries of municipal employees, the study identified key problems in the municipal employee remuneration system.

Keywords: municipal employees, headcount dynamics, wages, correlations

Submitted on 08.08.2025,

approved after reviewing on 10.09.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Rakhaev Kh.M., Zhangorazova Zh.S., Bakkuev E.S., Kunizheva L.Kh. Assessing dynamics of number and salaries of municipal employees in Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 223–233. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-223-233

ВВЕДЕНИЕ

Муниципальная Кабардино-Балкария – это не только муниципальная экономика (муниципальная экономика шире экономики муниципалитетов и даже муниципальных образований за счет того, что включает в себя комплекс экономических отношений внутри региона, которые не затрагивают конкретные муниципалитеты, но учитывают их присутствие). Формально ее представляют трансферты и прочие виды финансовых и нефинансовых отношений республики (республиканских органов власти) с центром (федеральными органами власти), собственность муниципалитетов, а также движимое и недвижимое имущество, сеть муниципальных предприятий и организаций, специфические муниципальные службы и муниципальные служащие.

Согласно статье 10 Федерального закона от 02.03.2007 N 25-ФЗ¹ (ред. от 10.07.2023) «О муниципальной службе в Российской Федерации» «Муниципальным служащим является гражданин, исполняющий в порядке, определенном муниципальными правовыми актами в соответствии с федеральными законами и законами субъекта Российской Федерации, обязанности по должности муниципальной службы за денежное содержание, выплачиваемое за счет средств местного бюджета». Таким образом, для муниципального служащего характерно два базовых признака: 1) быть гражданином, исполняющим обязанности по должности муниципальной службы и 2) получать денежное вознаграждение за службу из средств местного бюджета.

Что касается функционирования муниципалитетов, то их эффективность во многом определяется состоянием муниципальной службы, которую формируют муниципальные служащие. В свою очередь эффективность муниципальных служащих выступает результатом множества формальных и неформальных, организационно-технологических, институциональных и прочих факторов и условий [1]. В частности, наряду с так называемым профессиональным статусом (наличием высшего специального образования, стажа работы в системе местного самоуправления, возраста и т.д.), важными признаками эффективности муниципальных служащих выступают их идеологическая подготовленность, способность правильно оценивать текущую ситуацию с учетом национальных и государственных интересов. Муниципальные служащие в отличие от служащих производственных, коммерческих и иных предприятий, общественных организаций, а также государственных служащих должны иметь своеобразный универсальный характер, т.к. наряду с исполнением интересов своих муниципалитетов они обязаны учитывать также интересы государства. Поэтому муниципальные служащие имеют более широкий диапазон профессиональной деятельности, чем любой другой служащий. Отсюда значение имеет профессиональная подготовленность муниципальных служащих, включающая широкий спектр специальных и общих знаний: экономических, хозяйственных, юридических, технических, политических, социологических и проч.

Важное значение в эффективности муниципалитетов имеет численность, профессиональный состав и степень мотивированности муниципальных служащих [2]. Каждая из перечисленных составляющих выполняет свою функцию и роль в организации муниципальной деятельности. Поэтому численность муниципальных служащих не может быть ни большой, ни маленькой. Она должна быть оптимальной (рациональной), т.е. такой, которая способна эффективно выполнять стоящие перед муниципальной службой задачи. Поэтому в отличие от так называемого формального признака, когда численность муниципальных служащих зависит от численности населения муниципалитета, по-видимому, более корректным является корреляция данного параметра с объемом задач, которые стоят перед муниципалитетами. Другим признаком выступает оплата труда муниципальных служащих. В структуре служащих – государственных, а также государственных предприятий, не говоря уже коммерческих предприятиях и частных организациях, оплата труда муниципальных служащих оказывается одной из самых низких. Причина такого отношения к оплате труда муниципальных служащих, по-видимому, коренится в общем отношении к муниципальной службе и в целом к систе-

¹Федеральный закон от 02.03.2007 N 25-ФЗ (ред. от 10.07.2023) «О муниципальной службе в Российской Федерации». Электронный ресурс: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_66530/cb0879c3ff7534fc7b4e05b1b67fe4f2c3bfcc11/ (дата обращения: 11.07.2025)

ме местного самоуправления. Очевидно, этим же объясняются территориальные различия в системе оплаты труда муниципальных служащих. В то же время, учитывая растущий объем работ, ответственности, а также динамику системы местного самоуправления, его роль в развитии общества, государства и нации, существующий уровень оплаты труда муниципальных служащих не может быть признан достаточным и эффективным.

Перечисленные аспекты, на наш взгляд, отличаются актуальностью как прикладного, так и теоретико-методологического характера и требуют своего рационального разрешения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ, МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ЭМПИРИЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование основано на достаточно разработанной теоретической и методологической базе: работах зарубежных и отечественных авторов в области местного самоуправления, муниципальной службы, а также на законодательно-нормативных актах: Конституции РФ, законах РФ, Конституции КБР, законах КБР, указах Президента РФ, указах Главы КБР.

Эмпирическую базу исследования составили данные официальной статистики (ФСС России, а также территориального органа по КБР), министерств и ведомств КБР, опубликованные в открытой печати. Помимо названных источников, использованы результаты исследований других авторов, опубликованные в научных журналах.

Все расчеты поведены на ПК с помощью программы Excel. Результаты верифицированы с помощью научных критериев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Практика показывает, что с точки зрения структуры местного самоуправления муниципальные образования (от сельских муниципалитетов до муниципальных районов) Кабардино-Балкарии не отличаются сильным разнообразием. Напротив, институциональная структура местного самоуправления в Кабардино-Балкарии имеет универсальный, в целом унифицированный характер [3]. В структуре местного самоуправления выделяются два основных института: Совет местного самоуправления (представительный орган муниципального образования) и администрация муниципального образования (исполнительно-распорядительный орган), и если первый представляет председатель совета, его заместитель, секретарь и депутаты, которые распределены по постоянным комиссиям (а также в отдельных случаях – Президиум Совета), то вторые имеют большее разнообразие. Все в совокупности они представляют муниципальных служащих или же лиц, замещающих должности муниципальных служащих. В целом это аппарат организации и управления муниципальным образованием. Рассмотрим динамику численности муниципальных служащих КБР (табл. 1).

Прежде чем представить анализ основных динамических и структурных тенденций муниципальных служащих, приведем одно методическое уточнение. В соответствии со статьей 34 Федерального закона от 6 октября 2003 г. № 131-ФЗ² «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) учтены: представительные органы муниципальных образований; местные администрации (исполнительно-распорядительные органы муниципального образования); контрольно-

²Федеральный закон от 06.10.2003 N 131-ФЗ (ред. от 20.03.2025) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Электронный ресурс: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/ (дата обращения: 09.07.2025)

счетные органы муниципального образования; иные органы и выборные должности местного самоуправления, предусмотренные уставом муниципального образования и обладающие собственными полномочиями по решению вопросов местного значения; избирательные комиссии муниципального образования. Таким образом, численность работников органов местного самоуправления больше, чем просто муниципальных служащих [4].

Таблица 1. Динамика численности работников органов местного самоуправления в КБР за период 2005–2019 гг.

Table 1. Dynamics of the number of employees for local government bodies in the Kabardino-Balkarian Republic for the period 2005–2019.

Показатели	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2019 к 2005 гг. в %
Численность населения, тыс. чел.	866	860	859	859	859	861	862	865	865	866	868	100,2
Число муниципальных образований, ед.	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132	100,0
Численность работников государственных органов и органов местного самоуправления (человек)	7733	8662	8667	8738	8785	13788	13257	12915	13492	13296	13280	171,7
Численность работников территориальных органов федеральных органов исполнительной власти (человек)	2965	3293	3215	3104	2897	7979	7526	7070	7568	7469	7598	256,3
Численность работников органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления (человек)	3622	3924	3939	4060	4274	4232	4138	4252	4330	4261	4105	113,3
Численность работников органов местного самоуправления (человек)	2575	2258	2310	2389	2481	2481	2533	2654	2713	2736	2634	102,3
Численность работников в представительных органах (человек)	–	28	26	32	36	40	47	53	58	56	53	189,3 ³
Численность работников в местных администрациях (исполнительно-распорядительных органах муниципальных образований) (человек)	2575	2230	2271	2341	2423	2418	2457	2570	2621	2647	2552	99,1

*) Таблица составлена на основании данных «Регионы России. Социально-экономические показатели» М.: Росстат (за соответствующие годы).

Согласно приведенным данным, общая численность работников государственных органов и органов местного самоуправления в КБР за период с 2005-го по 2019 г. выросла почти на 172 % со 7,733 тыс. чел. до 13,280 человек. Заметим, что за этот период, во-

³В виду отсутствия данных по данному параметру за 2005 г. базовым годом взят 2010 г.

первых, численность населения КБР выросла всего на 0,2 %, во-вторых, в целом по России рост составил 147,6 %. Таким образом, в КБР прирост численности работников государственных органов и органов местного самоуправления за 2005–2019 гг. оказался выше, чем в целом по РФ, почти на 25 пп. Другой параметр – численность работников территориальных органов федеральных органов исполнительной власти – за исследуемый период в КБР вырос более чем в 2,5 раза (с 2,965 до 7,598 чел.), тогда как в целом по РФ – на 213,6 %, т.е. опять в КБР прирост оказывается выше, чем в целом по РФ, почти на 40 пп. Прирост данной категории работников в КБР оказывается самым высоким, чем в целом по РФ. Но, кстати, ниже, чем в СКФО, где прирост соответственно составил 2,1 и 3,3 раза. Численность работников органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в КБР за период 2005–2019 гг. вырос на 113,3 %, что, кстати, ниже, чем в целом по РФ (213,6 %), и почти в три раза, чем в СКФО (327,5 %). Численность работников органов местного самоуправления в КБР за период 2005–2019 гг. вырос на 102,3 %, а в РФ снизился на 0,5 %, зато в СКФО он вырос на 132,3 %. В КБР темпы роста данной категории работников оказались более скромными, чем в целом по СКФО. Численность работников представительных органов в КБР за 2010–2019 гг. вырос с 28 до 53 человек, т.е. на 189,3 %. В то же время в целом по России численность данной категории работников упала до 85,1 %, а в СКФО выросла на 135,1 %. Таким образом, КБР уступает северокавказским республикам по росту численности работников представительных органов местного самоуправления почти на треть. Численность работников местных администраций (исполнительно-распорядительных органов муниципальных образований) в КБР за 2005–2019 гг. снизилась на 0,9 % – с 2575 человек до 2552, т.е. на 23 человека. В целом по России численность работников данной категории еще больше снизилась (–3,3 %), а в СКФО, напротив, выросла на 130,4 %.

Таблица 2. Соотношение численности муниципальных служащих, числа поселений, муниципальных образований и численности населения муниципальных районов и городских округов КБР

Table 2. The ratio between the number of municipal employees, settlements, municipalities and the population of municipal districts and urban districts in the Kabardino-Balkarian Republic

Наименование муниципального образования	Число должностей муниципальной службы	Число должностей, не относящихся к муниципальной службе, и технический персонал	Местная администрация	Число поселений	Число муниципальных образований	Численность населения (на 2020 г.), тыс. чел.	Средняя численность населения на одно поселение, чел.	Средняя численность населения на одно муниципальное образование, чел.
Баксанский	176			13	13	63729	4902,2	4902,2
Зольский	147			19	16	49544	2607,6	3096,5
Лескенский	61	37		9	9	29844	3316,0	3316,0
Майский	63	16		16	5	38289	2393,1	7657,8
Прохладненский	161			41	19	45454	1108,6	2392,3
Терский	156		40	27	18	50802	1881,6	2822,3
Урванский	96			13	12	74185	5706,5	6182,1
Чегемский	80	82		13	10	69360	5335,4	6936,0
Черекский	64	27		10	10	28163	2816,3	2816,3
Эльбрусский	102			11	7	35927	3266,1	5132,4
г.о. Баксан	83			2	1	38474	19237,0	38474,0
г.о. Нальчик	279			5	1	265635	53127,0	265635,0
г.о. Прохладный	77			1	1	58226	14556,5	58226,0

*) Таблица составлена на основании данных «Кабардино-Балкария в цифрах», уставов и паспортов муниципальных районов Кабардино-Балкарской Республики.

Территориальный анализ численности муниципальных служащих показывает, что в основном они сконцентрированы в столице республики – г. Нальчике (соотношение с другими регионами примерно соответствует соотношению численности населения, проживающего в г.о. Нальчик, с городами и поселениями КБР). Кроме г. Нальчика, высокая численность муниципальных служащих концентрируется в г.о. Баксан и г.о. Прохладный. Как и подобает выявленной закономерности (численность муниципальных служащих, сконцентрированных в том или ином муниципальном образовании, пропорциональна численности населения муниципального образования, т.е. поселения), в муниципальных районах численность муниципальных служащих сконцентрирована в административных центрах муниципальных районов: Анзоре, Баксане, Кашхатау, Майском, Нарткале, Тереке, Тырныаузе и Чегеме.

Приведенные в таблице 2 данные позволяют отметить ряд особенностей в соотношении между численностью муниципальных служащих, числом поселений, муниципальных образований и численностью жителей муниципальных районов КБР.

1. Чем больше численность населения, тем больше численность муниципальных служащих. Однако зависимость эта носит не функциональный характер, т.е. численность муниципальных служащих хотя и зависит от численности населения муниципального района, но она не линейного характера. Более того, уровень коэффициента корреляции между численностью муниципальных служащих и численностью населения муниципального района составляет +0,436, т.е. хотя и положительная, но невысокая. Причина такой невысокой корреляции, на наш взгляд, состоит не в общей численности населения муниципального района, а в размерах поселений, что может быть выражено через средний размер поселения и муниципального образования. Правда, указанное положение не нашло подтверждения в расчете коэффициента корреляции, который составил соответственно между числом муниципальных служащих и средним размером поселения лишь +0,1, а со средним размером муниципального образования – 0,216.

2. Чем больше поселений, тем больше численность муниципальных служащих. В целом и это правило корректируется на практике. Например, численность поселений в Терском муниципальном районе более чем в два раза превосходит численность поселений Баксанского муниципального района, но по численности муниципальных служащих наблюдается превосходство Баксанского муниципального района над Терским почти на 13 %. А что касается Урванского и Баксанского, то при равной численности поселений численность муниципальных служащих Баксанского муниципального района превосходит аналогичный показатель Урванского муниципального района в 1,8 раза.

3. Чем больше число муниципальных образований, входящих в муниципальный район, тем больше численность муниципальных служащих муниципального района. В целом это правило оказывается даже более корректным, чем предыдущее, но и оно должно носить относительный характер. Например, численность муниципальных образований Майского муниципального района составляет 5 единиц, а Лескенского – 9 единиц, но численность муниципальных служащих Майского муниципального района на три единицы больше, чем в Лескенском муниципальном районе. Или соседние Чегемский и Черекский муниципальные районы, имея равное число муниципальных образований (по 10), различаются численностью муниципальных служащих: в Чегемском их 80, в Черекском только 64. Данные примеры позволяют скорректировать приведенное правило: численность муниципальных служащих муниципальных районов зависит, во-первых, от численности поселений, объединенных в муниципальные образования; во-вторых, от размера поселений и муниципальных образований (чем больше

размер последних, тем больше численность муниципальных служащих); в-третьих, от структуры муниципальных образований (если структура муниципальных образований в плане типологии поселений однородна, т.е. состоит из одних сел, то типологический признак не оказывает влияния на численность муниципальных служащих, но если имеет место типологическое разнообразие, т.е. в состав муниципального района входят села, аулы, станицы, города, тогда типологический признак оказывает влияние на численность муниципальных служащих. Например, эту особенность можно видеть на последнем примере – Чегемском и Черекском муниципальных районах. В первом имеется город Чегем, во втором городов нет. Это правило подтверждается на примерах Урванского (г. Нарткала), Терского (г. Терек), Майского (г. Майский), Эльбрусского (г. Тырныауз) районов.

Обобщая выявленные особенности, можно сформулировать общий принцип формирования численности муниципальных служащих муниципальных районов: численность муниципальных служащих муниципальных районов зависит от численности поселений, объединенных в муниципальные образования, размера последних и типологической структуры поселений муниципальных районов. Чем больше численность поселений, их размер и чем выше типологическое разнообразие, тем при прочих равных условиях больше численность муниципальных служащих в муниципальных районах.

Таблица 3. Уровень и динамика заработной платы государственных и муниципальных служащих в КБР

Table 3. Level and dynamics of salaries of state and municipal employees in the Kabardino-Balkarian Republic

Годы	Среднемесячная заработная плата работников			Средне- месячная номиналь- ная начис- ленная заработная плата ра- ботников организа- ций	Средне- душевые денежные доходы населе- ния	Потреби- тельские расходы в среднем на душу населе- ния	Соотношение среднемесяч- ной заработной платы работников в органах местного самоуправ- ления; %		
	в органах местного самоуправ- ления – всего	в пред- стави- тельных органах муници- пальных образова- ний	в местных админи- страциях (исполни- тельно- распоряди- тельных органах)				Средне- месячная зарплата работни- ков орга- низаций	Средне- душевые денежные доходы населения	Потреби- тельские расходы на душу населения
2015	21760	35336	21321	20866	18976	14636	104,3	114,7	148,7
2016	22460	39053	21976	21532	19767	15411	104,3	113,6	145,7
2017	23475	33295	23084	22782	20439	16253	103,0	114,9	144,4
2018	28198	29654	28007	25776	20782	16668	109,4	135,7	169,2
2019	31104	34805	30883	27466	21474	17745	113,2	144,8	175,3
2020	32634	35688	32456	29899	22016	17123	109,1	148,2	190,6
2021	34143	33449	34016	31712	25929	22869	107,7	131,7	149,3
2022	36585	36897	36398	35251	30173	27903	103,8	121,3	131,1
2022 к 2015 гг.; %	168,1	104,4	170,7	168,9	159,0	190,6			
Среднегодо- вые темпы роста; %	107,7	100,6	107,9	107,8	106,8	109,7			
Коэф. вариаци- и; %	19,8	8,0	20,4	19,1	16,8	24,3			

*) Таблица составлена на основании данных «Регионы России. Социально-экономические показатели». За соответствующие годы.

Согласно приведенным данным, за 2015–2022 гг. размер заработной платы работников в органах местного самоуправления всего вырос на 168,1 %. В это же время анало-

гичный показатель в представительных органах муниципальных образований вырос только на 104,4 %, а в местных администрациях (исполнительно-распорядительных органах) – на 170,7 %. Можно констатировать более сильный рост заработной платы работников исполнительно-распорядительных (администраций) органов муниципальной власти. Тем не менее доля заработной платы последних по отношению к заработной плате представительных органов власти в среднем за восьмилетний период составила всего чуть более 82 %, но, например, в 2015 г. – всего 2/3. Правда, в 2021 г. она оказалась почти на 2 % выше заработной платы муниципальных служащих представительных органов местного самоуправления. Эту особенность отражает также показатель среднегодовых темпов роста заработной платы различных категорий муниципальных служащих [5]. Для работников исполнительно-распорядительных органов он был выше – 107,9 %, тогда как для представительных – 100,6 %. Можно отметить тенденцию к выравниванию уровня оплаты труда в представительных и исполнительно-распорядительных органах муниципальной власти. Третьей особенностью является то, что размер заработной платы в сфере местного самоуправления (как представительных, так и исполнительно-распорядительных органов муниципальных образований) оказывается выше среднемесячной номинальной начисленной заработной платы работников организаций. Это превосходство варьирует от 103 до 113 %. Примечательно, что различие нарастало до 2019 г., после которого стало несколько спадать, и тем не менее средняя заработная плата в органах местного самоуправления превосходит аналогичный показатель по организациям республики. Среднемесячная заработная плата работников местного самоуправления превосходит также и среднедушевые денежные доходы населения. Причем, если в 2015 г. это соотношение составляло 114,7 %, то в 2020 г. уже 148,2 %. Правда, следует указать на неустойчивый характер тенденции, что видно по показателю вариации. Среднемесячная заработная плата муниципальных служащих в 2020 г. почти двукратно превосходила уровень среднедушевых потребительских расходов и в целом превосходила почти в полтора раза.

Выводы

Приведенные данные и наблюдения позволяют высказать ряд положений. Первое – муниципальная служба в регионах, не имеющих крупных компаний, носит статусный характер. Попасть в систему местного самоуправления для молодых людей считается престижным. Поэтому численность муниципальных служащих растет ежегодно. Второе – престижность муниципальной службы в регионах связана в том числе и с заработной платой. Анализ показал, что средний уровень заработной платы в системе местного самоуправления превышает средний уровень заработной платы в организациях и на предприятиях региона. Она же превышает среднедушевые денежные доходы населения региона. Третье – в то же время уровень оплаты труда муниципальных служащих остается низким по сравнению со средним уровнем оплаты труда в стране. Но и внутри системы местного самоуправления имеет место дифференциация по уровню оплаты труда: у служащих представительной власти муниципального образования (Совет местного самоуправления) он оказывается выше, чем у представителей исполнительно-распорядительных (местной администрации) органов. Чтобы поднять престижность муниципального служащего и всей системы местного самоуправления, необходимо повышать уровень материальной обеспеченности муниципальных служащих. Последнее возможно за счет развития муниципального хозяйства и муниципальной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленина И. В. Направления совершенствования муниципальной службы в связи с провозглашением принципа единства системы публичной власти // *Муниципальная служба: правовые вопросы*. 2023. № 1. С. 6–9. DOI: 10.18572/2072-4314-2023-1-6-9
2. Кузнецов И. И., Жаров А. С. Местное самоуправление в единой системе органов публичной власти: предпосылки и перспективы // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Социология. Политология*. 2023. Т. 23. № 1. С. 91–95. DOI: 10.18500/1818-9601-2023-23-1-91-95
3. Рахаев Х. М., Сарбашева Е. М., Калабекова К. А. Муниципальная Кабардино-Балкария: факторы и противоречия современного развития // *Экономика и предпринимательство*. 2021. № 3(128). С. 568–573. DOI: 10.34925/EIP.2021.128.3.110
4. Баккуев Э. С. Инновационные методы развития муниципального образования // *Устойчивость развития территориальных экономических систем: глобальные тенденции и концепции модернизации: сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции памяти профессора Б. Х. Жерукова*. 2016. С. 45–50.
5. Баккуев Э. С., Абазова Л. Х. Кадровая политика муниципальных образований: организационно-экономические проблемы и пути их преодоления // *Государственное и муниципальное управление в XXI веке: теория, методология, практика*. 2013. № 9. С. 122–126. EDN: REZQNJ

REFERENCES

1. Alenina I.V. Directions for Improving Municipal Service in Connection with the Proclamation of the Principle of Unity of the Public Authority System. *Municipal Service: Legal Issues*. 2023. No. 1. Pp. 6–9. DOI: 10.18572/2072-4314-2023-1-6-9. (In Russian)
2. Kuznetsov I.I., Zharov A.S. Local Self-Government in a Unified System of Public Authorities: Prerequisites and Prospects. *Bulletin of the Saratov University*. New Series. Series: Sociology. Political Science. 2023. Vol. 23. No. 1. Pp. 91–95. DOI: 10.18500/1818-9601-2023-23-1-91-95. (In Russian)
3. Rakhaev Kh.M., Sarbasheva E.M., Kalabekova K.A. Municipal Kabardino-Balkaria: Factors and Contradictions of Modern Development. *Economy and Entrepreneurship*. 2021. No. 3(128). Pp. 568–573. DOI: 10.34925/EIP.2021.128.3.110. (In Russian)
4. Bakkuev E.S. Innovative Methods of Municipal Development. *Sustainability of Development of Territorial Economic Systems: Global Trends and Concepts of Modernization: a collection of scientific papers following the results of the international scientific and practical conference in memory of Professor B.Kh. Zherukov*. 2016. Pp. 45–50. (In Russian)
5. Bakkuev E.S., Abazova L.Kh. Personnel policy of municipalities: organizational and economic problems and ways to overcome them. *State and Municipal Administration in the 21st Century: Theory, Methodology, Practice*. 2013. No. 9. Pp. 122–126. EDN: REZQNJ. (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

Рахаев Хадис Магомедович, д-р экон. наук, профессор кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;

360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;

r3bizengin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7211-3026>, SPIN-код: 8316-6534

Жангоразова Жансурат Султановна, д-р экон. наук, профессор кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;

360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;

econ_dekanat@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7694-3035>, SPIN-код: 7557-7852

Баккуев Эльдар Сафарович, д-р экон. наук, профессор кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;

360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;

bakkuev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-6619>, SPIN-код: 3401-6753

Кунижева Лариса Хабасовна, канд. экон. наук, доцент кафедры «Управление», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова;

360030, Россия, г. Нальчик, проспект Ленина, 1в;

abazova.lara@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5417-2543>, SPIN-код: 3497-6505

Information about the authors

Khadis M. Rakhaev, Doctor of Economics, Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;

1v Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;

r3bizengin@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7211-3026>, SPIN-code: 8316-6534

Zhansurat S. Zhangorazova, Doctor of Economics, Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;

1v Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;

econ_dekanat@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7694-3035>, SPIN-code: 7557-7852

Eldar S. Bakkuev, Doctor of Economics, Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;

1v Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;

bakkuev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2175-6619>, SPIN-code: 3401-6753

Larisa Kh. Kunizheva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov;

1v Lenin avenue, Nalchik, 360030, Russia;

abazova.lara@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5417-2543>, SPIN-code: 3497-6505

JEL: O33

Original article

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-234-249

EDN: QQOCEO

Efficiency and sustainability in food supply chains: a systematic analysis of scientific literature

A.H. Fikire, E.V. Korchagina✉

Institute of Industrial Management, Economics and Trade,
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
29 Polytechnicheskaya street, Saint Petersburg, 195221, Russia

Abstract. Achieving food security and creating a balanced food system to meet the needs of the population is one of the most important socio-economic challenges of any country in the world, which determines the relevance of this study.

Aim. The study is to analyze modern concepts of food supply chain efficiency and sustainability based on a literature review of scientific publications.

Materials and methods. This review includes 44 scientific articles from journals indexed by both Scopus and Web of Science for the period from 2020 to 2024. This study used the PRISMA method to evaluate the identified publications in the field of food supply chain efficiency and sustainability.

Results. The study found that the number of scientific publications increased annually during the analyzed time period, confirming the high significance of this scientific area. Most of the analyzed studies focused on the sustainability of food supply chains and used quantitative research approaches. Continental Europe and Mediterranean Europe are the leading regions in terms of the number of scientific studies in the field of food supply chains.

Conclusion. The results of the presented literature review are important not only for describing the current state of research in the chosen field, but also for identifying the most promising areas for future research.

Keywords: systematic literature review, efficiency, sustainability, food supply, supply chains, logistics management

Submitted on 10.07.2025,

approved after reviewing on 10.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Fikire A.H., Korchagina E.V. Efficiency and sustainability in food supply chains: a systematic analysis of scientific literature. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 234–249. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-234-249

УДК 658.7

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-234-249

Эффективность и устойчивость цепочек поставок продовольствия: систематический анализ научных публикаций

А. Х. Фикире, Е. В. Корчагина✉

Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
195221, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

Аннотация. Достижение продовольственной безопасности и создание сбалансированной продовольственной системы для обеспечения потребностей населения является одной из важнейших социально-экономических задач любой страны мира, что обуславливает актуальность данного исследования.

Целью исследования является анализ современных концепций эффективности и устойчивости цепочек поставок продовольствия на основе обзора научных публикаций.

Материалы и методы исследования. В этот обзор включено 44 научные статьи из журналов, индексируемых как Scopus, так и Web of Science, за период с 2020 по 2024 год. В этом исследовании использовался метод PRISMA для оценки выявленных публикаций в области эффективности и устойчивости цепей поставок продовольствия.

Результаты. Исследование показало, что количество научных публикаций ежегодно увеличивалось в анализируемый временной период, что подтверждает высокую значимость данного научного направления. Большинство проанализированных исследований были сфокусированы на устойчивости цепочек поставок продовольствия и использовали количественные исследовательские подходы. Континентальная Европа и Средиземноморская Европа являются регионами – лидерами по числу научных исследований в сфере цепочек поставок продовольствия.

Выводы. Результаты представленного литературного обзора важны не только для описания существующего состояния исследований в выбранной области, но и для выявления наиболее перспективных областей будущих исследований.

Ключевые слова: систематический обзор литературы, эффективность, устойчивость, снабжение продовольствием, цепочки поставок, управление логистикой

Поступила 10.07.2025, одобрена после рецензирования 10.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Фикире А. Х., Корчагина Е. В. Эффективность и устойчивость цепочек поставок продовольствия: систематический анализ научных публикаций // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 234–249. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-234-249

INTRODUCTION

The efficiency of food supply chains can be defined as the optimal utilization of economic resources from the production of food items to consumption. However, sustainability of food supply chains is the continuous pursuit of fairly, environmentally-conserving, economically viable practices that ensure food security and provide balanced diets for current and future generations. Efficiency and sustainability are deeply intertwined concepts and have no separate goals. Efficient food supply chains must be sustainable, and sustainable food supply chains implicitly are more efficient in their resource utilization. The food supply chain is the entire network of interconnected processes that governs the flows of food items from production to the final consumers for consumption. Food supply chains play a crucial role in global food security, impacting food access, livelihoods, and public health [1]. Sustainable food supply chain management practices, such as waste management, logistics optimization, and fair food distribution, can significantly enhance food security and reduce hunger [2]. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO estimated that 811 million individuals worldwide experienced hunger in 2020 [3]. Masters et al. highlighted that 3 billion people struggle to afford nutritious diets due to high food prices, persistent poverty, and income inequality [4]. The leading food-producing countries are the United States, China, India, Brazil, and Russia, producing more than half of the world's food supply. Africa, the Middle East, and Oceania produce only around 10% of the global output [5]. However, the concentration of global food production in a few countries has led to significant disparities in food availability, exacerbating food insecurity in vulnerable regions [6]. This inequality arises from unequal access to agricultural resources, technology, and investment, which are critical for enhancing food production and security [7]. According to Godde et al.,

logistical inefficiencies, variances in quality control, and a lack of traceability lead to considerable waste, undermine consumer confidence, and hinder the ability to respond effectively to market demands and food safety concerns are the challenges of global food supply chain [8]. Abraham et al. stated poor cold chain facilities, transportation and logistics inefficiencies, unsuitable handling equipment, poor road infrastructure, and restricted supply chain partner information sharing are major challenges sustainability of food supply chains [9].

Food supply management faces external disruptions, quality management practices, and evolving consumer expectations that impact efficiency, sustainability, and food quality. Therefore, understanding these challenges is crucial for improving food supply chain operations and ensuring food security [10]. Additionally, environmental, economic, social, and technological factors are the main determinants of the efficiency and sustainability of food supply chains. These are climate change impacts, water usage, pollution, costs associated with production, transportation, waste, fair labor practices, food security, consumer behavior, automation, and data analytics, which play a crucial role in optimizing supply chains [11].

The applications of modern technology and innovation are essential to increasing the efficiency and sustainability of the food supply chain [12]. These advanced technologies create significant enhancements across multiple applications in innovative industries and transportation, leading to creative solutions [13]. Progress in digital technologies, including blockchain, the Internet of Things (IoT), and machine learning, has boosted operational efficiency and sustainability within food supply chains [14, 15]. Advanced technologies help manage waste, enhance traceability, and support the shift from linear to circular economies, ultimately minimizing resource use, waste, and emissions [16].

The previous study has been focused on a single theoretical foundation. These are measuring food system sustainability, efficiency, and integration, food supply chains, and food loss at the regional and country level. For instance, Demelash & Alemu employed a multi-dimensional approach method analysis to measure food system sustainability in Ethiopia [17]. Efficiency and integration in the food supply chain were used to analyze stochastic frontier analysis methods of analysis [18]. Chrisendo et al. employed statistical analysis to analyze the socioeconomic factors of global food loss [19]. There are not enough studies conducted by integrate both efficiency and sustainability of food supply chains. Thus, studying the efficiency and sustainability of food supply chains is crucial to analyze food supply chain efficiency and sustainability to support resource utilization, decrease environmental effects, and enhance social and economic benefits. Additionally, many studies have failed to incorporate econometric methods or regression analysis. As a result, these hinder the identification of causal relationships between efficiency measures and sustainability outcomes. Incorporating regression analysis could enhance the robustness of findings and provide valuable insights for policymakers and practitioners seeking to promote sustainable practices in various sectors. The main objective of this study is to analyze the concept of efficiency and sustainability in the context of food supplies and to stress the gaps that have been identified in the existing research on food supply chains in order to emphasize the necessity of further investigation. With this in mind, it is possible to point to the directions for further research for other scholars to open new areas for research, solve existing problems, and create new approaches. This approach helps build academic knowledge, policy making, and practical implications to support more efficient and sustainable food supply chains worldwide.

SUMMARY OF EMPIRICAL LITERATURE REVIEW AND CONCEPTUAL FRAMEWORK

Table 1 provides a comprehensive overview of the key contributions in food supply chain literature, stressing their focused area, key findings, methodology, gaps, and scope of the study. Based on the review of most of the previous studies focused on the sustainability of food supply

chains. However, limited studies have been conducted on the efficiency of food supply chains. They employed qualitative, quantitative, and mixed research approaches. The main finding of the study are internal factors, development of roadmaps, effective communication and educational campaigns, compliance and technology traceability systems improve, diversification strategies, increased reliance on local input production, and shifts in consumer behavior, clean technologies, stakeholder engagement, and supply chain coordination are factors that affect sustainability of food supply chains. However, enhancing the integration with suppliers increases the efficiency of food supply chains.

Table 1. Literature review related to the efficiency and sustainability of food supply chains

Authors and year	Focused area	Key finding	Methodology	Gaps	Scope
Gürül et al., 2024 [20]	Sustainability food supply chains	The internal sustainability performance of the focal food supply chains is better than the external one	Mixed research approach	Not fully capture internal and external perspectives	Food firms, Istanbul
Mendes et al., 2024 [21]	Integration of sustainability into the food supply chain	Nature Farming is a specific style of agriculture that is distinct from other currents of alternative agriculture	Qualitative research approach	Doesn't incorporate differentiated agri-food chains such as milk or meat production in the study.	Nature Farming poultry production, Brazil
Bezat-Jarzębowska et al., 2024 [22]	Integration of the Food Supply Chain	Enhancing integration with suppliers and buyers can significantly improve efficiency within the food chain	Quantitative research approach	Only develop a conceptual framework	Theoretical model
León Bravo et al., 2021 [23]	Sustainable food supply chain	Develops a roadmap with five levels of progress, considering the groups of practices implemented and the type of assessment applied.	Qualitative research approach	The analysis was concentrated in a particular country	Design a roadmap for the food supply chain
Handayati & Widyanata, 2024 [24]	Sustainable food supply chain	Effective communication and educational campaigns, including the use of social media, can Enhance public awareness and understanding of waste management	Qualitative research approach	Generalizability and scalability	Food waste management model, Bandung Regency
Masengu et al., 2025 [25]	Sustainable food traceability	Compliance and technology traceability systems improve food safety performance.	Quantitative approach	Food safety and supply chain resilience	Oman food industry
Nchanji & Lutomia, 2021 [26]	Sustainability of the agri-food supply chain	Diversification strategies, increased reliance on local input production, and shifts in consumer behavior played a crucial role in enhancing agri-food supply chains	Mixed-Methods Approach	agri-food supply chains	During the period of the global pandemic
Silva et al., 2025 [27]	Sustainable food supply chain	Clean technologies, stakeholder engagement, and supply chain coordination are factors that affect sustainability and the complexity of the food supply chain.	Quantitative research approach	Not fully incorporated, influencing the complexity of the FSC	Relationship between sustainability and influence on the complexity of food supply chains

Figure 1 indicates that food supply chains consist of both efficiency and sustainability. There is a bidirectional relationship between efficiency and sustainability. Whereas, enabling factors affect both efficiency and sustainability of food supply chains. These are technological innovations, policy and governance, stakeholder collaboration, and geographical context that pushed the food supply chains towards greater efficiency and sustainability of food supply chains. The outcome of the combined strategies is cost reduction, modernization of food supply chains, and enhancement of both efficiency and sustainability across the globe.

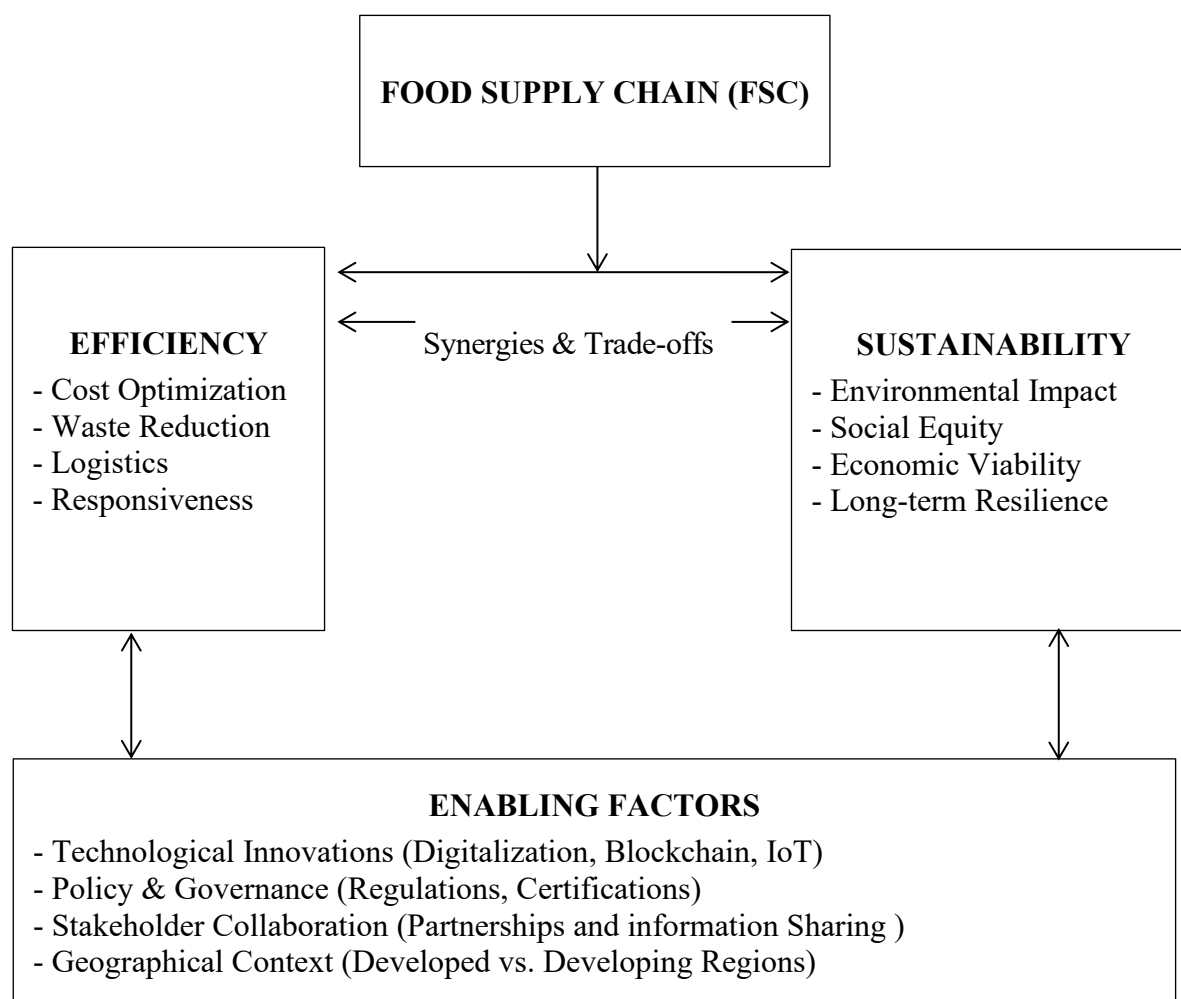


Fig. 1. Conceptual framework for analyzing efficiency & sustainability in food supply chains
Source: adapted from [3, 28] and modified with empirical literature

METHODOLOGY

SEARCH STRATEGIES AND DATA COLLECTION PROCESS

This systematic article review aims to explore the concepts of efficiency and sustainability in the context of food supplies and provide a comprehensive review of the structure and networks of food supply on a global scale. This provides a comprehensive perspective and several insights for additional research in diverse new business scenarios. A systematic review offers a robust methodology for objectively analyzing evidence, effectively managing numerous scholarly publications, and creating a sophisticated framework for research topics. It enhances the overall evaluation of current knowledge and identifies gaps for future research opportunities [29]. These

studies collectively emphasize the importance of identifying research gaps and employing appropriate methodologies to address them in various fields. This systematic literature review explores multiple aspects of research methodologies and gaps in different fields [30]. Systematic literature reviews follow a structured method to synthesize evidence on a specific research question. Standard procedures include defining the research question and eligibility criteria, conducting a comprehensive literature search, selecting relevant studies, extracting data, assessing study quality, and synthesizing findings. Figure 2 depicts the flow of literature searching strategies. These methodologies enable researchers to integrate existing knowledge, identify gaps, and propose future research agendas in efficient and sustainable food supply chains. A systematic review should begin with a peer-reviewed procedure and clearly state its methodological follow to established reporting guidelines of preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) [31]. This study used PRISMA recommendations [32].

LITERATURE SEARCHING STRATEGIES

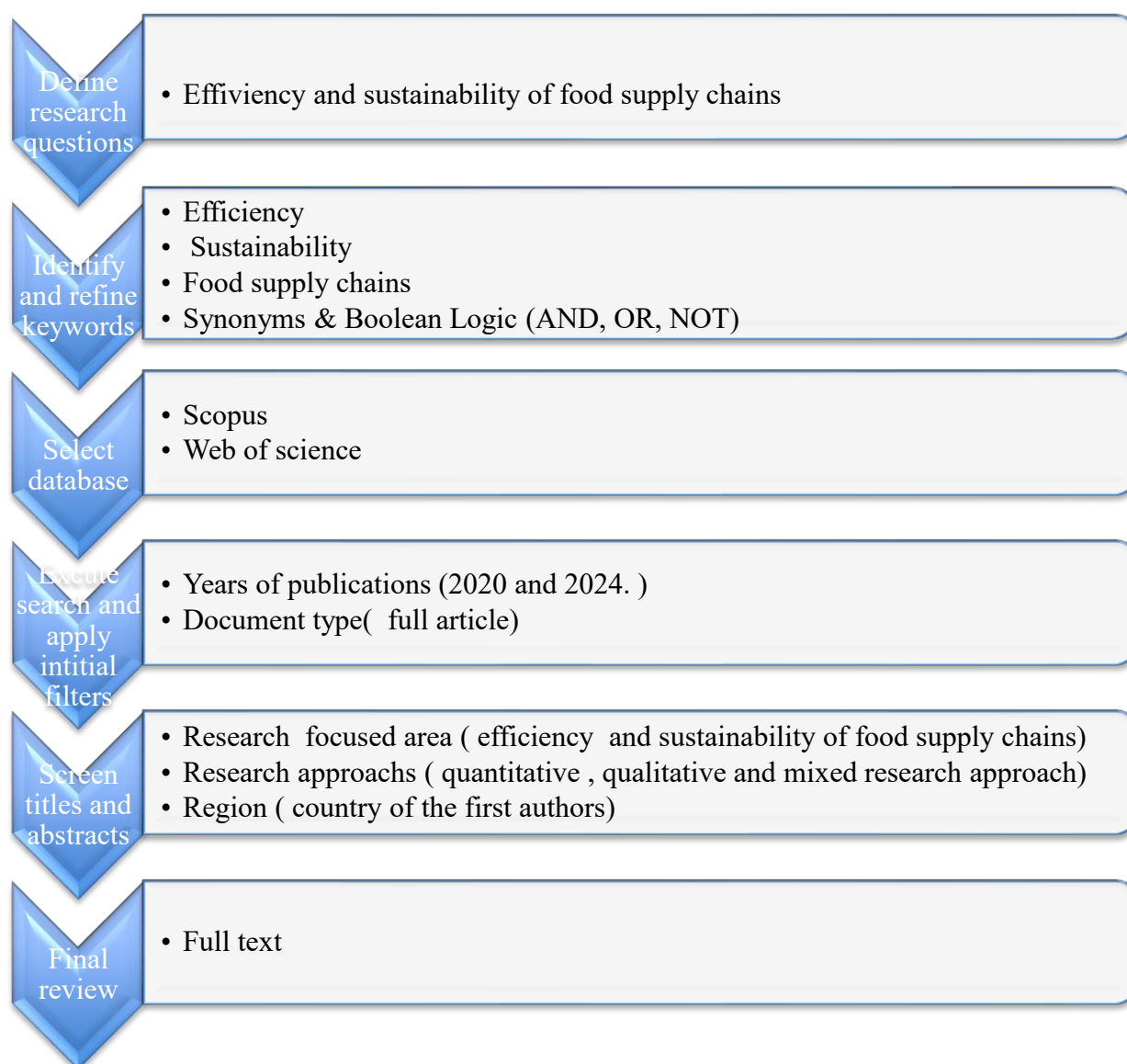


Fig. 2. Literature searching strategies

THE SYSTEMATIC REVIEW PROCESS FOR THE CLASSIFICATION OF ACADEMIC PUBLICATIONS

The number of research articles was further reduced by selecting only academic journals for the review. The research papers excluded from the review are out of the subject areas and are not written in English, such as reviews, book chapters, conference papers, books, editorials, and conference reviews. After removing these articles, 44 remained in Scopus and 4 in the Web of Science, automatically filtered from the databases.

In the "Identification" stage, an initial pool of records was gathered from Scopus and Web of Science databases. Specifically, 1232 records were initially identified, including contributions from Scopus (643 records) and Web of Science (589 records). Before further analysis, a significant number of records (1184) were automatically removed because they were deemed ineligible by automation tools, demonstrating an effective preliminary filter. In the "Screening" stage, the records were evaluated exactly to remove irrelevant papers and duplicates based on their titles. After this refinement, 48 records remained from both databases. An additional exclusion process was conducted, where 1 record was removed due to open access restrictions. The remaining 47 reports were evaluated for "eligibility" in the following step. During this assessment, 3 records were excluded due to duplication problems. Finally, highly quality and relevant 44 studies were included in the final body of the investigated literature review.

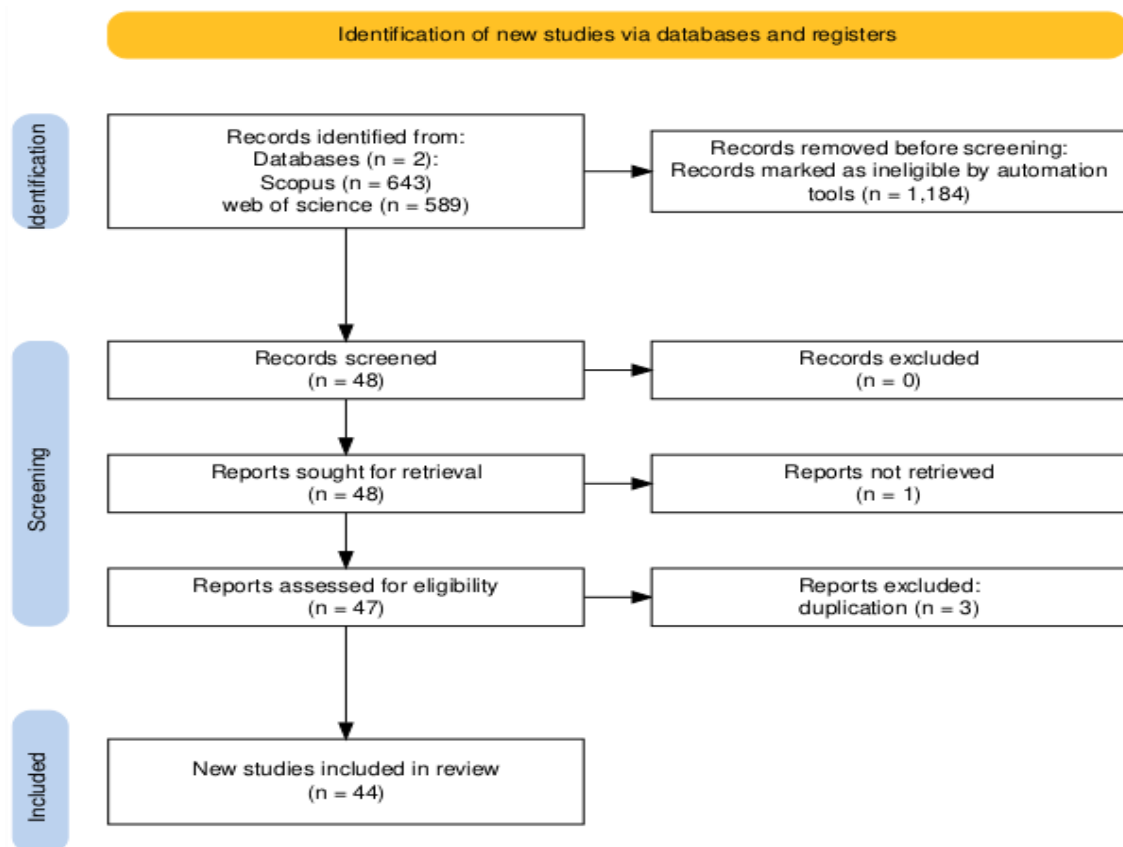


Fig. 3. PRISMA flow diagram of the study selection process

RESULT AND ANALYSIS DESCRIPTIVE STATISTICS

The following sections present, discuss, and analyze all the identified papers, detailing their various aspects and features.

YEAR-BASED NUMBER OF PUBLICATIONS

Figure 4 shows a year-based classification of the food supply chains from 2020 to 2024. The number of journal publications is approximately 6 in 2020. Moving to 2021, the count is 7, with a small increase observed. There is a notable rise, with the publication count increasing to about 8 in 2022. This upward trend declined in 2023, when the number of publications reached approximately 7. Finally, the number of journal publications again rose in 2024, when the number of publications reached 16. The figure implies the upward publication trend from 2020 to 2022, with some fluctuation in 2023, and again increased in 2024, on the efficiency and sustainability of food supply chains.

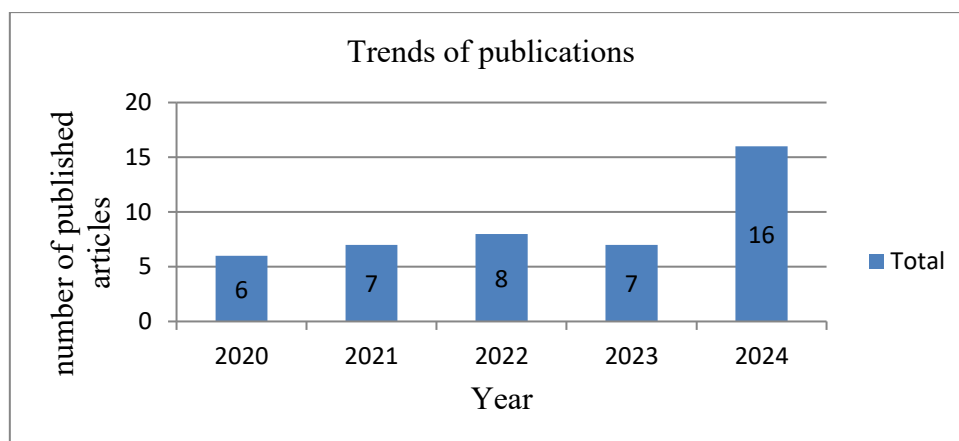


Fig. 4. Year-based classification of the number of publications
Source: developed by the authors

CATEGORIZATION OF PUBLICATIONS BASED ON DATABASE SYSTEMS

Figure 5 shows the distribution of publications by database, specifically comparing Scopus and Web of Science. According to the figure, most publications (93%) are indexed by Scopus. This indicates that Scopus is the predominant indexing service used for these publications, suggesting higher visibility and possibly a preference for this database among researchers in efficiency and sustainability food supply chains. By comparison, Web of Science indexes 7% of published articles. This rate is lower than Scopus but still significant and demonstrates the importance and hope of research expansion by many indexing services.

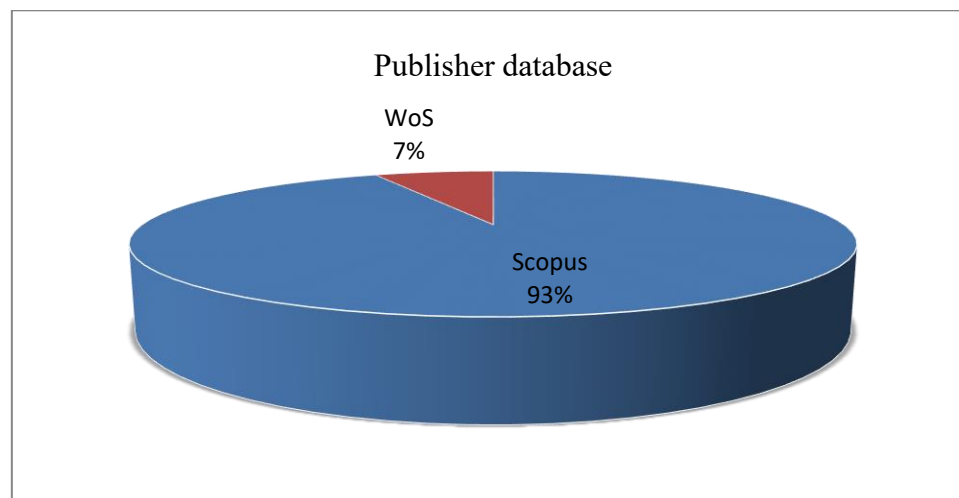


Fig. 5. Categorization of publications based on the database
Source: developed by the authors

CATEGORIZATION OF PUBLICATIONS BASED ON THE COUNTRY OF THE FIRST AUTHORS

Figure 6 indicates the categorization of publications based on the country of first authors, illustrating various contributions from various countries. The United Kingdom and Italy are the most significant contributing countries, with 16% and 14% papers published as first authors. These countries lead in the research related to the efficiency and sustainability of the food supply chains, indicating a strong research presence and interest in their countries. Following these, Germany, Denmark also show considerable contributions, with 9%, 7%, publications, respectively. Serbia, South Africa, and Australia have 5% publications each. This suggests these countries are actively engaged in related research, although to a lesser extent than the top contributors. Several other countries provide moderate contributions, including Sweden, Romania, United Arab Emirates, Turkey, China, Chile, Sri Lanka, Iran, Brazil, India, Indonesia, Serbia, Taiwan, Turkey, Ukraine, Greece, England, Bulgaria, and the United States, each contributed 2% of the publication. These countries demonstrate a balanced interest in this study area. Although their individual contributions are small collectively they contribute to worldwide research efforts in efficiency and sustainability food supply chains.

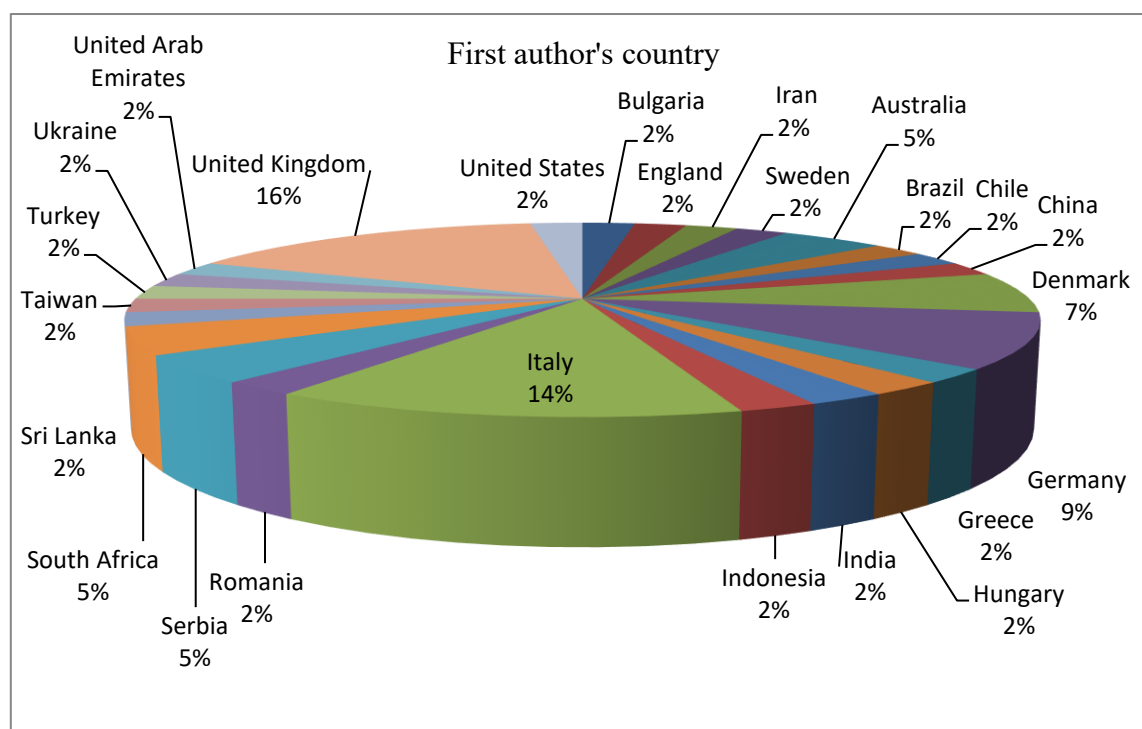


Fig. 6. Categorization of publications based on the country of first authors
Source: developed by the authors

CATEGORIZATION BASED ON RESEARCH APPROACHES

Figure 7 displays research article publication categories based on several research approaches. It presents 22 articles that employed a quantitative research approach (questionnaires and surveys). Whereas the qualitative research approach (interviews, case studies, focus groups, and narratively described in words) also shows a significant representation, with 21 publications. This indicates that the previous studies used a qualitative research approach to understand and address food supply issues. And 1 mixed research approach. This result suggests that an interdisciplinary and multifaceted approach is required to address food sustainability and efficiency issues. Each method brings a unique perspective and set of tools, from qualitative and quantitative to mixed approaches and both theoretical frameworks to empirical analyses.

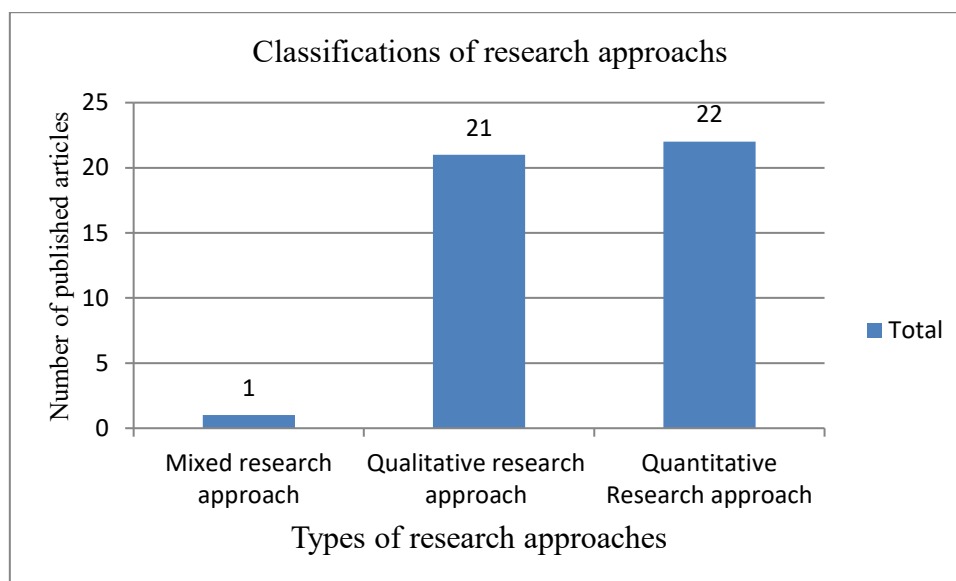


Fig. 7. Categorization based on research approaches
Source: developed by the authors

KEYWORDS USED SEARCH IN EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF FOOD SUPPLY CHAINS

Figures 8 and 9 indicate the keywords related to the efficiency and sustainability of food supply chains. The food supply chains are the most frequently used keywords, which indicate a strong focus on food supply chains. Digitalization and blockchain play a great role in addressing the increasing problems of food supply chains. It underscores the critical importance of food supply chains as a research area, the growing influence of digital technologies, and the diverse yet sometimes fragmented nature of inquiry into the efficiency and sustainability of food supply chains. Simulation, life cycle assessment, food waste, and carbon emission are also significant keywords, which are concerned with the efficiency and sustainability of food supply chains. Additionally, logistics, farming, climate, resources, and environment highlight the connection between food production and ecological factors.

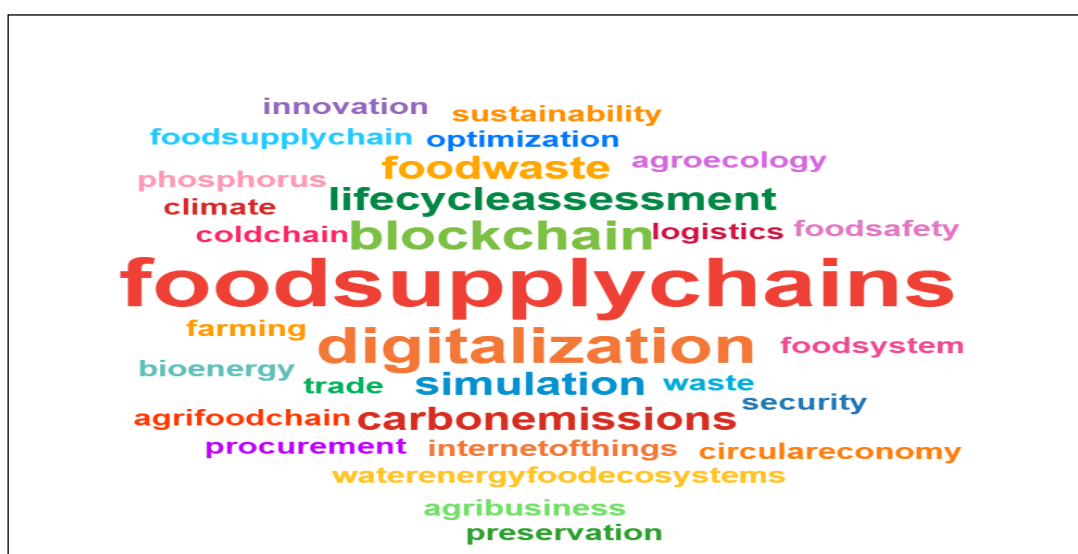


Fig. 8. Word cloud keywords from review papers
Source: developed by the authors

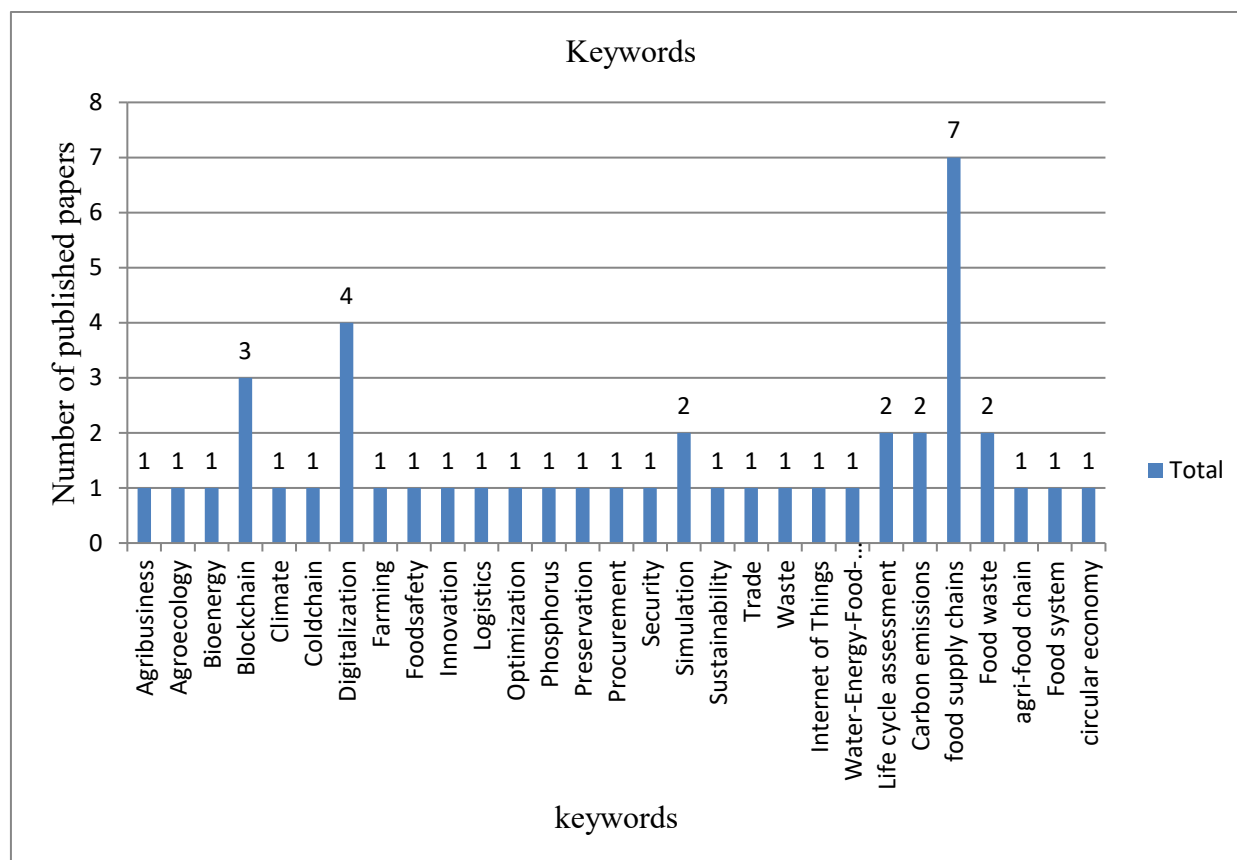


Fig. 9. Keywords in efficiency and sustainability of food supply chains, frequencies of mentions in the reviewed papers
Source: developed by the authors

RESEARCH PUBLICATIONS CATEGORIZATION BASED ON REGION

The research publications can be categorized by region to better understand the focus and distribution of scientific inquiry across various geographical areas. It is very important to analyze the research outputs through the regional council so that stakeholders can identify collaborative opportunities, funding needs, and strategic priorities to enhance the impact of global research.

Figure 10 depicts the proportional contributions of various locations to the total continents. Continental Europe dominated the survey, accounting for 27% of the total published articles. Following this, Mediterranean Europe has the second-largest percentage (16%), indicating that they are also a significant contributor. Eastern and Central Europe is close behind, accounting for 14% articles. Scandinavia contributed (9%). Other major regions, including Africa, Australia, East Asia, Latin America, the Middle East, and South Asia, contribute 4% of publications. This indicates a considerable equal publication contribution. Meanwhile, NIS and Russia, and North America are 2%. These regions collectively account for less of the entire distribution. Despite their smaller individual contributions, they collectively contribute to the overall distribution.

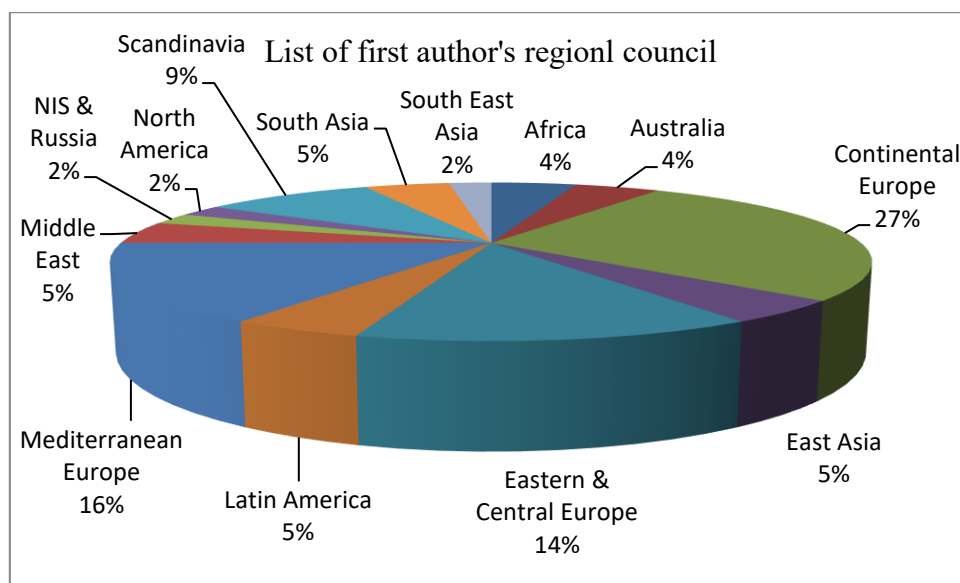


Fig. 10. Research publications categorization based on region
Source: developed by the authors

Research-focused areas

Figure 11 shows that of the studies reviewed, 55% of the studies focused on to sustainability of food supply chains, while the remaining 45% of them focused on to efficiency of food supply chains. This implies most of the studies were focused sustainability of food supply chain concepts.

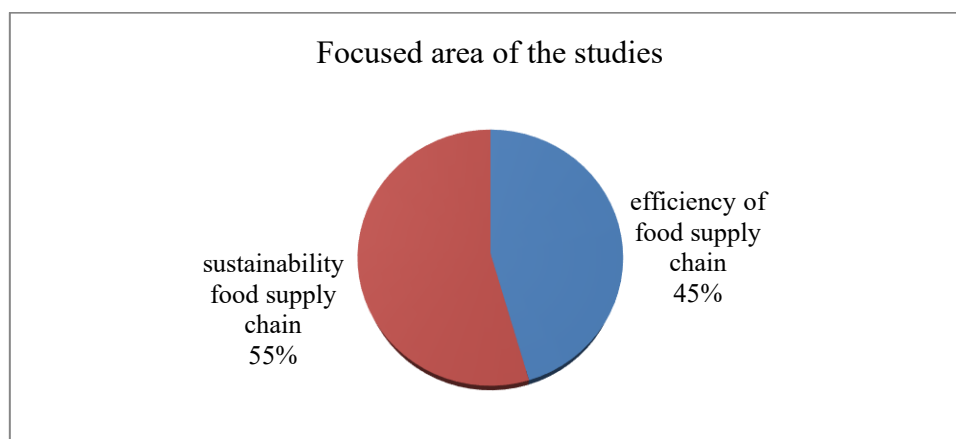


Fig. 11. Categorization based on focused areas
Source: developed by the authors

EFFICIENCY OF FOOD SUPPLY CHAINS

The concept of efficiency of food supply chains focuses on operational optimization, cost reduction, and waste minimization. Assessing efficiency and integration among stakeholders is crucial for enhancing performance, reducing costs, and improving the overall efficiency of food supply chains [18]. High gross national income per capita, high employment in agriculture, access to electricity in rural areas, and export volume index are socio-economic factors of global food loss [19].

An increase in the efficiency of supply channels in the commodity distribution system leads to a decrease in the coefficient of the link in commodity movement and inventory availability. It is necessary to increase the efficiency of supply chains in each link and reduce the share of retail trade in gross turnover [33]. Market competitiveness, knowledge and skill development, resource efficiency,

and technologies are essential for increasing the marketability of agricultural products and agri-food supply chains [34]. The application of innovative packaging strategies can deliver an important contribution to reducing the amount of food losses and ensuring sustainable food production [35].

SUSTAINABILITY OF FOOD SUPPLY CHAINS

The sustainability of food supply chains is centered on environmental, social, and economic challenges confronted global food system. Social, environmental, and economic; food and nutrition dimensions are the determinants of the sustainability of food systems [17]. Sustainability of the European agri-food supply chain of the European Union countries has been influenced by economic, social, and environmental factors [36]. Modeling the sustainable supply chain network design for food-agricultural industries is the most effective way through the financial dimension, the use of high technology in the production, and the presentation of various citrus forms using intermediate and conversion industries [37]. The sustainability of the food supply system is a growing concern about the inputs (e.g., water, fertile soil, fossil fuels, and chemicals) and working resources (e.g., land and labor) required for industrial food production, and its associated supply chain structure has become scarcer and hence more expensive. At the same time, the by-products of these farming and supply chain activities (e.g., farm runoff and greenhouse gas emissions) have often created negative externalities on the environment and human health [38].

This review shows that investigating the problems of both efficiency and sustainability of food supply chains is crucial in reducing environmental, social, and economic factors and optimizing output, minimizing cost, and reducing wastage and food loss.

CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

This study provides an exhaustive investigation of defining efficiency and sustainability ideas in the context of food supplies. This review develops a conceptual framework that explains the structural relationship among efficiency, sustainability, and food supply chain networks across the globe. To achieve the objective of the study, the researchers used the preferred reporting items for systematic review and meta-analysis (PRISMA) and inclusion and exclusion criteria. The study followed time zone and publication selection, the systematic review process for classification of academic publications, classifications based on database, research approach, keywords, and geographical area to categorize a standardized systematic approach. It is common to develop a systematic review and clearly explain the procedure for selecting research articles from different databases [31]. These reflect a highly selective and structured approach to ensure that only quality and pertinent studies constitute the final body of researched literature. The review shows an annual increase in journal publications from 2020 to 2024. This implies a growing recognition of the importance of food supply chains. Furthermore, it has become a global concern, attracting the attention of numerous experts who want to address these crucial issues. In these studies, the Scopus indexing system is more crucial in accessing research articles in food supply chains than the Web of Science indexing system.

The United Kingdom and Italy's first authors play a leading role in researching food supplies more than other countries. This implies that those countries provide more significant research budgets for food supply problems. Besides, Continental Europe was the prominent region in food supplies, followed by Mediterranean Europe. The systematic literature review reveals that a wide range of intentions to research on the sustainability of the food supply chain in various parts of the world. The future study should be focuses on improving efficiency of food supply chains. This review shows that the quantitative research approach is widely used. this study recommended that future studies should use mixed research approaches to comprehensive understanding and develop new theories about the efficiency and sustainability of food supply chains. The academic and

research communities must pay attention to make the food supply chains environmentally, socially, and economically sustainable and efficient by integrating the concepts. This study invites researchers to study the global multi-sectoral development of food supplies.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Liverpool-Tasie L.S.O., Reardon T., Belton B. “Essential non-essentials”: COVID-19 policy missteps in Nigeria rooted in persistent myths about African food supply chains. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 2021. No. 43(1). Pp. 205–224. DOI: 10.1002/aepp.13139
2. Munuhwa S., Hove-Sibanda P. Exploring sustainable food supply chain management practices to enhance food security. *Journal of Transport and Supply Chain Management*. 2024. No. 18. Pp. 1–10. DOI: 10.4102/jtscm.v18i0.1064
3. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2021. *In Brief to The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all*. Rome. FAO. DOI: 10.4060/cb5409en
4. Masters W.A., Martinez E.M., Greb F. et al. The Cost and Affordability of Preparing a Basic Meal Around the World. *In book: Science and Innovations for Food Systems Transformation*. 2020. Pp. 603–623. DOI: 10.1007/978-3-031-15703-5_33
5. Gladek E., Fraser M., Roemers G. et al. Global Food System: An Analysis – Metabolic/WWF. *WWF Netherlands, March, 2017*. 180 p.
6. Zhao Y., Chen Y. Global patterns of agricultural investment and food security: evidence from the fdi markets database. *Foods*. 2023. Vol. 12. No. 9. Pp. 1–14. DOI: 10.3390/foods12091827
7. Daszkiewicz T. Food production in the context of global developmental challenges. *Agriculture (Switzerland)*. 2022. Vol. 12. No. 6. P. 832. DOI: 10.3390/agriculture12060832
8. Godde C.M., Mason-D’Croz D., Mayberry D.E. et al. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security*. 2021. Vol. 28. ID: 100488. DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100488
9. Abraham G., Ángel M., Luis J., Elena M. *Journal of Technology and Innovation*. 2019. Vol. 6. No. 18. Pp. 16–26.
10. De Castro Moura Duarte A.L., Picanço Rodrigues V., Bonome Message Costa L. The sustainability challenges of fresh food supply chains: an integrative framework. *Environment, Development and Sustainability*. Springer. 2024. DOI: 10.1007/s10668-024-04850-9
11. Ozbuk R.M.Y., Coskun A. Factors affecting food waste at the downstream entities of the supply chain: A critical review. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 244. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118628
12. Korchagina E., Barykin S., Suvorova S. et al. The treatment of optimizing container transportation dynamic programming and planning. *E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019*, Divnomorskoe Village, 09–14 September 2019. Vol. 135. P. 02016. DOI: 10.1051/e3sconf/201913502016
13. Menon S., Anand D., Kavita Verma S. et al. Blockchain and machine learning inspired secure smart home communication network. *Sensors*. 2023. Vol. 23. No. 13. Pp. 1–16. DOI: 10.3390/s23136132
14. Korchagina E., Kalinina O., Burova A., Ostrovskaya N. Main logistics digitalization features for business. *E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019*, Moscow, 20–22 November 2019. Vol. 164. P. 10023. DOI: 10.1051/e3sconf/202016410023
15. Desfontaines L., Korchagina E., Evgrafov A. et al. The future of information technology in the russian trade. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, St. Petersburg, 21–22 November 2019. St. Petersburg, 2020. P. 012058. DOI: 10.1088/1757-899X/940/1/012058

16. Bloemhof J.M., Soysal M. Sustainable food supply chain design. In *Springer Series in Supply Chain Management*. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1007/978-3-319-29791-0_18
17. Demelash S.A., Alemu E.A. Measuring food system sustainability in Ethiopia: Towards a Multi-Dimensional perspective. *Ecological Indicators*. 2024. 161. ID: 111991. DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.111991
18. Jarzebowski S., Bezat-Jarzebowska A., Klepacki B. Efficiency and integration in the food supply Chain. *International Journal on Food System Dynamics*. 2013. Vol. 4. No. 3. Pp. 159–169. DOI: 10.18461/ijfsd.v4i3.431
19. Chrisendo D., Piipponen J., Heino M., Kummu M. Socioeconomic factors of global food loss. *Agriculture and Food Security*. 2023. Vol. 12. No. 1. Pp. 1–18. DOI: 10.1186/s40066-023-00426-4
20. Güröl B., Yilmaz D., Kiriş S.B. Sustainability performance of food supply chains with internal and external evaluation perspectives. *IMA Journal of Management Mathematics*. 2024. Pp. 1–53. DOI: 10.1093/imaman/dpae022
21. Mendes C.M.I., Demattê Filho L.C., Gameiro A.H. Incorporating sustainability in the food supply chain: The development of a private standard of Nature Farming poultry production in Brazil. *Research in Globalization*. 2024. Vol. 8. DOI: 10.1016/j.resglo.2023.100185
22. Bezat-Jarzebowska A., Krieger-Güss S., Jarzebowski S., Petersen B. Integration of the food supply chain as a driver of sustainability: a conceptual framework. *Agriculture (Switzerland)*. 2024. Vol. 14. No. 8. DOI: 10.3390/agriculture14081403
23. León Bravo V., Moretto A., Caniato F. A roadmap for sustainability assessment in the food supply chain. *British Food Journal*. 2021. Vol. 123. No. 13. Pp. 199–220. DOI: 10.1108/BFJ-04-2020-0293
24. Handayati Y., Widyanata C. Effective food waste management model for the sustainable agricultural food supply chain. *Scientific Reports*. 2024. 14(1). 1–9. DOI: 10.1038/s41598-024-59482-w
25. Masengu R., Al Habsi J.S., Muchenje C., Tsikada C. Sustainable food traceability: a comprehensive model for enhancing safety and resilience in the supply chain in the Oman food industry. *Future Business Journal*. 2025. Vol. 11. No. 1. DOI: 10.1186/s43093-025-00534-6
26. Nchanji E.B., Lutomia C.K. Sustainability of the agri-food supply chain amidst the pandemic: Diversification, local input production, and consumer behavior. *Advances in Food Security and Sustainability*. 2021. Vol. 6. Pp. 211–229. DOI: 10.1016/bs.af2s.2021.07.003
27. Silva B.P. da, Cassel R.A., Wachs P. et al. Sustainability and its influence on the complexity of the food supply chain: a survey study. *British Food Journal*. 2025. Vol. 127. No. 2. Pp. 601–623. DOI: 10.1108/BFJ-06-2024-0576
28. Hadi D.K., Setiawan A.P., Indrian O.V., Rosyid E.F. Evaluation of sustainability supply chain performance in the food industry: a case study. *Jurnal Teknik Industri*. 2023. Vol. 24. No. 2. Pp. 95–108. DOI: 10.22219/jtiumm.vol24.no2.95-108
29. Angioi M., Hiller C.E. Systematic literature reviews. *Research Methods in the Dance Sciences*. 2023. Pp. 265–280. DOI: 10.5744/florida/9780813069548.003.0018
30. Hidayat R., Nugroho I., Zainuddin Z., Ingai T.A. A systematic review of analytical thinking skills in STEM education settings. *Information and Learning Science*. 2024. Vol. 125. No. 7–8. Pp. 565–586. DOI: 10.1108/ILS-06-2023-0070
31. Bero L. Getting the systematic review basics right helps clinical practice: 4 Common pitfalls for systematic review authors to avoid. *British Journal of Sports Medicine*. 2019. Vol. 53. No. 1. Pp. 6–7. DOI: 10.1136/bjsports-2017-098239
32. Page M.J., Moher D., Bossuyt P.M. et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *The BMJ*. 2021. Vol. 372. DOI: 10.1136/bmj.n160
33. Raimbekov Z., Syzdykbayeva B., Rakhmetulina A. et al. The impact of agri-food supply channels on the efficiency and links in supply Chains. *Economies*. 2023. Vol. 11. No. 8. Pp. 1–19. DOI: 10.3390/economies11080206

34. Sonar H., Sharma I., Ghag N., Raje B. Harvesting sustainability: assessing Industry 4.0 in agri-food supply chains. *International Journal of Logistics Management*. 2024. DOI: 10.1108/IJLM-10-2023-0443
35. Dohlen S., Albrecht A., Kreyenschmidt J. *Sustainable packaging solutions to improve resource efficiency in supply chains of perishable products*. 2016. Pp. 1–8. DOI: 10.5680/lhpfsc000002
36. Ricciolini E., Rocchi L., Paolotti L. et al. Sustainability of European agri-food supply. *Agricultural and Food Economics*. 2024. DOI: 10.1186/s40100-024-00304
37. Fesharaki M., Safarzadeh H. Modeling the sustainable supply chain network design for food-agricultural industries considering social and environmental impacts. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. ID: 6726662. DOI: 10.1155/2022/6726662
38. Gomez M., Lee D. Transforming food supply chains for sustainability. *Journal of Supply Chain Management*. 2023. Vol. 59. No. 3. DOI: 10.1111/jscm.12310

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Фикире А. Х. – подбор методического инструментария, практическая апробация и описание;
Корчагина Е. В. – научное руководство исследованием, постановка целей и задач.

Contribution of the authors:

Fikire A.H. – scientific supervision of the study, setting the goals and objectives of the study;
Korchagina E.V. – selection of methodological tools, practical testing and description.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Абебау Хайлу Фикире, аспирант Института промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
195221, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29;
abebawhailu26@gmail.com

Корчагина Елена Викторовна, д-р экон. наук, доцент, профессор Института промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
195221, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29;
elena.korchagina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3070-2508>, SPIN-код: 8556-2270

Information about the authors

Abebaw H. Fikire, Postgraduate Student of the Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University;
29 Polytechnicheskaya street, Saint Petersburg, 195221, Russia;
abebawhailu26@gmail.com

Elena V. Korchagina, Doctor of Economic Sciences, Assistant Professor, Professor of the Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University;
29 Polytechnicheskaya street, Saint Petersburg, 195221, Russia;
elena.korchagina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3070-2508>, SPIN-code: 8556-2270

УДК 332.122:330.34

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-250-260

EDN: RBMEGO

Оценка социально-экономических предпосылок интеграции ESG-подходов в стратегическое развитие регионов России

Ж. П. Хамукова^{✉1}, Х. Ю. Боров²

¹Северо-Кавказская государственная академия
369001, Россия, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36

²Ингушский государственный университет,
386001, Россия, г. Магас, проспект И. Язикова, 7

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью адаптации стратегического планирования регионального развития к целям устойчивости, прозрачности и социальной справедливости в соответствии с ESG-повесткой. В статье рассматриваются социально-экономические характеристики Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) как региона с высоким природно-ресурсным и демографическим потенциалом, но структурными ограничениями в части занятости, инвестиций и технологической инфраструктуры.

Цель исследования – выявление критических ограничений для реализации ESG-ориентированных стратегий, а также направлений потенциального роста.

Методика. Использована методика индексной оценки региональных условий ESG-интеграции и параметров устойчивости по компонентам E, S и G.

Результаты. Установлено, что регион демонстрирует умеренные темпы роста ВРП и инвестиций при высокой демографической устойчивости и социальной уязвимости. Сделан вывод о необходимости формирования гибкой региональной ESG-модели с приоритетом на развитие человеческого капитала, зеленой инфраструктуры и управленческой прозрачности.

Выводы. Представленные результаты могут быть использованы в целях регионального стратегирования, корректировки государственных программ и инвестиционного планирования.

Ключевые слова: устойчивое развитие, региональная экономика, ESG, КЧР, СКФО, инвестиции, ВРП, социальная устойчивость, цифровизация, бедность

Поступила 30.07.2025, одобрена после рецензирования 21.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Хамукова Ж. П., Боров Х. Ю. Оценка социально-экономических предпосылок интеграции ESG-подходов в стратегическое развитие регионов России // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 250–260. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-250-260

JEL: R11; O18; Q56; I38

Original article

Assessment of socio-economic prerequisites for the integration of ESG approaches into the strategic development of Russian regions

Zh.P. Khamukova^{✉1}, Kh.Yu. Borov²

¹North Caucasus State Academy
36 Stavropol street, Cherkessk, 369001, Russia

²Ingush State University
7, I. Zyazikov avenue, Magas, 386001, Russia

Abstract. The relevance of the study is due to the need to adapt strategic planning of regional development to the goals of sustainability, transparency and social justice in accordance with the ESG agenda. The article considers the socio-economic characteristics of the Karachay-Cherkess Republic (KCR) as a region with high natural resource and demographic potential, but structural limitations in terms of employment, investment and technological infrastructure.

Aim. The study is to identify critical limitations for the implementation of ESG-oriented strategies, as well as areas of potential growth.

Methodology. The methodology of index assessment of regional conditions of ESG integration and sustainability parameters for components E, S and G are used.

Results. We found out that the region demonstrates moderate growth rates of GRP and investment with high demographic sustainability and social vulnerability. A conclusion is made about the need to form a flexible regional ESG model with priority on the development of human capital, green infrastructure and management transparency.

Conclusions. The presented results can be used for the purposes of regional strategizing, adjusting state programs and investment planning.

Keywords: sustainable development, regional economy, ESG, KCR, NCFD, investment, GRP, social sustainability, digitalization, poverty

Submitted on 30.07.2025,

approved after reviewing on 21.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation: Khamukova Zh.P., Borov Kh.Yu. Assessment of socio-economic prerequisites for the integration of ESG approaches into the strategic development of Russian regions. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 250–260. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-250-260

ВВЕДЕНИЕ

Анализ социально-экономических условий региона является необходимой теоретико-аналитической основой для определения возможностей, ограничений и точек приложения ESG-интеграции в стратегическое развитие субъектов Российской Федерации. Карачаево-Черкесская Республика (КЧР), расположенная в пределах Северо-Кавказского федерального округа, представляет собой территорию с уникальным этнокультурным составом, высоким природно-ресурсным потенциалом и специфической пространственной структурой хозяйства. При этом социально-экономический профиль региона формируется под воздействием как внутренней институциональной среды, так и общероссийских макроэкономических и геополитических факторов.

Регион характеризуется средне-низким уровнем валового регионального продукта на душу населения, инвестиционным дефицитом, высоким уровнем безработицы, а также значительной долей сельского населения. Эти характеристики в совокупности задают как ограничители, так и направления будущего роста – в том числе в контексте устойчивого развития и реализации ESG-принципов. Социально-экономическое положение региона оказывает непосредственное влияние на реалистичность включения экологических (E), социальных (S) и управленческих (G) индикаторов в стратегические документы, включая государственные программы, планы социально-экономического развития и цифровые платформы мониторинга.

Целью исследования является оценка социально-экономических предпосылок интеграции ESG-подходов в стратегическое развитие регионов России на примере Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) для выявления структурных ограничений, точек роста и формирования регионально-адаптированной ESG-модели.

Материалы и методы. Для оценки социально-экономического положения региона на основе официальных данных Росстата, Минэкономразвития РФ и территориальных органов статистики, а также для построения динамических рядов и сопоставлений использовались сравнительно-аналитический и экономико-статистический методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из ключевых интегральных индикаторов социально-экономического состояния региона выступает валовой региональный продукт (ВРП). В период с 2013 по 2023 год ВРП КЧР увеличился более чем в два раза: с 85,1 млрд рублей до 167,4 млрд рублей, а в 2024 году, по прогнозу Министерства экономического развития региона, этот показатель достигнет 179,1 млрд рублей^{1,2}. Среднегодовой темп роста ВРП составил около 7,2 %, что соответствует устойчивому, но умеренному сценарию развития.

Однако в пересчете на душу населения ВРП КЧР остается значительно ниже среднероссийского уровня: в 2023 году – около 272 тыс. рублей на человека против 860 тыс. рублей по России в целом. Это свидетельствует о структурной отсталости экономики региона и наличии ограниченного внутреннего финансового потенциала для ESG-инвестиций. При этом потенциал экологически безопасного сельского хозяйства и устойчивого туризма остается недостаточно капитализированным.

Анализ структуры ВРП показывает, что основными отраслями региона остаются сельское хозяйство (до 22,1 %), торговля и транспорт (свыше 28 %), при этом промышленность дает менее 16 % совокупного ВРП. Такая структура экономики соответствует модели ресурсозависимого региона с преобладанием первичного и третичного секторов. Учитывая ESG-приоритеты, данная структура является двойственной: с одной стороны, она создает риски технологической и финансовой зависимости, с другой – оставляет широкие возможности для экологизации производства и развития социальных сервисов³.

Инвестиции в основной капитал являются критически важным индикатором, отражающим способность региона к воспроизводству производственного и инфраструктурного потенциала. В КЧР наблюдается поступательный рост этого показателя: с 18,4 млрд рублей в 2013 году до 42,5 млрд рублей в 2023-м и прогнозируемых 44,6 млрд рублей в 2024 году. Однако в пересчете на душу населения инвестиции составляют менее 75 тыс. рублей, в то время как в среднем по России этот показатель превышает 250 тыс. рублей⁴.

Таблица 1. Динамика ключевых макроэкономических показателей КЧР (2013–2024 гг.)

Table 1. Dynamics of key macroeconomic indicators in the Karachay-Cherkess Republic (2013–2024)

Год	ВРП, млрд руб.	Инвестиции в основной капитал, млрд руб.	Уровень безработицы, %	Численность населения, тыс. чел.
2013	85,1	18,4	14,6	509,2
2014	89,3	19,2	13,9	514,0
2015	92,7	20,5	13,1	519,7
2016	97,5	22,1	12,5	525,1
2017	104,2	25,0	12,0	530,6
2018	112,0	28,3	11,6	538,2
2019	121,4	31,7	11,4	547,3
2020	132,7	35,2	11,1	563,4
2021	144,3	38,6	10,8	585,6
2022	156,2	41,0	10,5	603,1
2023	167,4	42,5	11,3	615,7
2024	179,1	44,6	11,0	626,8

¹Карачаево-Черкесская Республика в цифрах. 2024. Черкесск: КЧРстат, 2024. 96 с.

²Карачаево-Черкесская Республика в цифрах: краткий статистический сборник. 2025. Черкесск: КЧРстат, 2025. 144 с.

³Инвестиционный план Карачаево-Черкесской Республики на 2025 год. Черкесск: Минэкономразвития КЧР, 2024. 76 с.

⁴Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023 / Росстат. М.: 2023. 1128 с.

Анализ безработицы показывает, что с 2013-го по 2021 год региону удалось снизить этот показатель с 14,6 % до 10,5 %, однако в 2023 году наблюдался обратный рост до 11,3 %, что объясняется последствиями геополитической напряженности, снижением внешнего спроса и демографическим давлением. С точки зрения ESG-подхода данная ситуация требует развития программ инклюзивной занятости, региональных трудовых кластеров, гендерного и возрастного баланса в сфере занятости⁵.

Особое значение имеет демографическая динамика региона: численность населения за 10 лет увеличилась на более чем 100 тыс. человек (с 509,2 до 626,8 тыс.), что отражает позитивный естественный прирост и миграционную стабильность. Это создает как нагрузку на социальные институты (школы, здравоохранение, ЖКХ), так и возможности для устойчивого роста при адекватном стратегическом регулировании. С ESG-позиций рост численности требует обязательного учета в проектировании «умных» поселений, низкоуглеродного транспорта и инклюзивной социальной инфраструктуры [1].

Таким образом, макроэкономическая база Карачаево-Черкесской Республики остается структурно уязвимой и одновременно потенциально чувствительной к ESG-трансформации. Объем и структура ВРП, уровень инвестиций, параметры занятости и демографии указывают на необходимость целенаправленного перехода от количественного роста к качественной устойчивости, опирающейся на принципы прозрачности, инклюзивности и экологической безопасности.

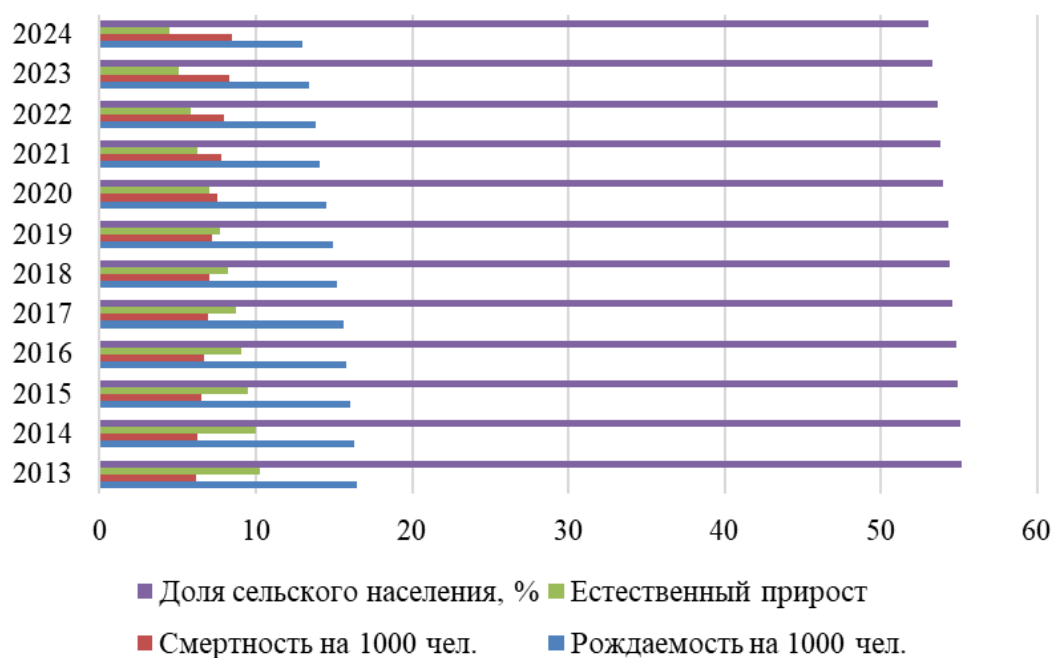


Рис. 1. Социальные показатели КЧР 2013–2024 гг.

Fig. 1. Social indicators for the Karachay-Cherkess Republic 2013–2024

Социальные характеристики региона (рис. 1) являются ключевым элементом устойчивого развития и определяют контекст для внедрения ESG-подходов, в частности социальной составляющей (S). В рамках анализа Карачаево-Черкесской Республики особую значимость приобретают такие параметры, как демографическая динамика, уровень бедности,

⁵Регион. Субъект РФ. Социальный паспорт территории / РАНХиГС, ИСЭПИ. М., 2023. 88 с.

состояние социальной инфраструктуры, занятость и структура населения. Все эти параметры непосредственно влияют на устойчивость региона и потенциал адаптации ESG-ориентированных стратегий.

Согласно данным территориального органа Росстата, численность населения КЧР стабильно растет: с 509,2 тыс. человек в 2013 году до 626,8 тыс. в 2024 году^{6,7}. Основной прирост обеспечивается за счет естественной рождаемости при сохраняющейся высокой доле сельского населения (в среднем около 54–55 %). Это указывает на необходимость территориально ориентированной социальной политики и стратегий, направленных на выравнивание качества жизни в сельской и городской местностях, что является прямой задачей ESG-ориентированного планирования.

Демографические показатели региона демонстрируют характерные черты для республик СКФО: высокий уровень рождаемости, но одновременно возрастающую смертность, что снижает естественный прирост (табл. 2). Так, в 2013 году рождаемость составляла 16,5 на 1000 чел., смертность – 6,2, а естественный прирост – 10,3. К 2024 году снизилась рождаемость до 13,0, рост смертности до 8,5 и снижение естественного прироста до 4,5 на 1000 чел.

Таблица 2. Динамика демографических показателей КЧР (2013–2024 гг.)*

Table 2. Dynamics of demographic indicators in the Karachay-Cherkess Republic (2013–2024)*

Год	Рождаемость (на 1000 чел.)	Смертность (на 1000 чел.)	Естественный прирост	Доля сельского населения, %
2013	16,5	6,2	10,3	55,2
2014	16,3	6,3	10,0	55,1
2015	16,0	6,5	9,5	54,9
2016	15,8	6,7	9,1	54,8
2017	15,6	6,9	8,7	54,6
2018	15,2	7,0	8,2	54,4
2019	14,9	7,2	7,7	54,3
2020	14,5	7,5	7,0	54,0
2021	14,1	7,8	6,3	53,8
2022	13,8	8,0	5,8	53,6
2023	13,4	8,3	5,1	53,3
2024	13,0	8,5	4,5	53,0

*Построено автором по данным КЧР в цифрах. 2025. Черкесск: КЧРстат, 2025. 144 с.

Такая динамика свидетельствует о нарастающих социальных рисках — нагрузке на системы здравоохранения, образования, социальной защиты. В условиях ESG-ориентации это требует модернизации системы социальной инфраструктуры, улучшения демографической устойчивости и приоритезации политики равных возможностей.

Рынок труда КЧР также остается напряженным. Уровень безработицы в 2023 году составлял 11,3 %, что более чем в 2 раза превышает среднероссийский показатель (4,3 %)⁸. Среди основных причин структурное несоответствие между спросом и предложением на

⁶Карачаево-Черкесская Республика в цифрах. 2024. Черкесск: КЧРстат, 2024. 96 с.

⁷Карачаево-Черкесская Республика в цифрах: краткий статистический сборник. 2025. Черкесск: КЧРстат, 2025. 102 с.

⁸Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023 / Росстат. М.: 2023. 1128 с.

рынке труда, ограниченность рабочих мест в сельской местности и низкий уровень развития несырьевых секторов. В контексте ESG это указывает на необходимость инклюзивной занятости, поддержки молодежи, развития женского и малого предпринимательства.

Уровень бедности, по экспертным оценкам, превышает 20 %, особенно в сельских районах и многодетных семьях. Это требует реализации программ адресной социальной поддержки, повышения доступности базовых услуг и цифровых решений. С ESG-позиций такие меры не только отвечают социальной справедливости, но и создают условия для устойчивой региональной экономики с широким вовлечением населения в экономические процессы⁹.

Система образования и здравоохранения в регионе развита, но сталкивается с кадровыми и инфраструктурными вызовами. Несмотря на достаточную сеть учреждений, наблюдается нехватка квалифицированных специалистов, особенно в горных и труднодоступных территориях. Повышение доступности медицинских и образовательных услуг, их цифровизация и регионализация являются обязательным элементом ESG-стратегий (напр., GRI 403, 413)¹⁰.

Миграционные процессы в КЧР умеренные, с незначительным оттоком молодежи в мегаполисы. Это усиливает проблему «утечки мозгов» и ограничивает кадровый потенциал для реализации ESG-проектов. Однако сохранение этнокультурной устойчивости и низкий уровень межэтнических конфликтов создают благоприятную основу для реализации программ социальной инклюзии и многоуровневого участия населения в развитии территорий [1].

Таким образом, социальная структура КЧР характеризуется высокой плотностью социального капитала, но требует активного институционального сопровождения. Ключевые социальные индикаторы региона соответствуют критериям оценки социальной устойчивости (S-компонент), а их слабые позиции по ряду направлений (занятость, бедность, инфраструктура) подчеркивают необходимость приоритетной интеграции этих аспектов в стратегические и инвестиционные документы региона.

Для всесторонней оценки потенциала интеграции ESG-подхода в стратегическое планирование Карачаево-Черкесской Республики необходимо рассматривать социально-экономическое развитие региона не изолированно, а в сравнительном контексте – с субъектами Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) и Российской Федерации в целом. Такое сопоставление позволяет выявить структурные отставания, относительные преимущества и критические точки, которые формируют основу для целевого ESG-моделирования.

Среди ключевых индикаторов, подлежащих сравнительному анализу, выделяются: валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения, уровень безработицы, уровень бедности и объем инвестиций в основной капитал в расчете на одного жителя. Эти параметры тесно связаны с реализацией всех трех компонентов ESG: экономической устойчивостью (E), социальной инклюзией (S) и управленческой эффективностью (G).

ВРП на душу населения в КЧР в 2024 году составил 286 тыс. рублей, что на 20 % ниже среднеокружного уровня (361 тыс. руб.) и в три раза ниже федерального значения (860 тыс. руб.). В условиях ESG-перехода данный разрыв означает ограниченные возможности самостоятельного финансирования «зеленых» и инклюзивных программ, а также низкую налоговую базу для устойчивого бюджетирования (G-компонент).

Уровень безработицы в КЧР остается стабильно высоким: по данным за 2023 год – 11,3 %,

⁹Регион. Субъект РФ. Социальный паспорт территории / РАНХиГС, ИСЭПИ. М., 2023. 88 с.

¹⁰GRI Standards (403, 413). Global Reporting Initiative, 2021.

в то время как в СКФО в среднем он составляет 8,3 %, а в России – 4,3 %¹¹. Несмотря на постепенное снижение в долгосрочной динамике, данные значения указывают на сохраняющееся структурное безработное ядро. С позиции ESG-повестки это требует не только стимулирования новых рабочих мест, но и внедрения программ профессиональной переподготовки, цифровой инклюзии и инклюзивной занятости в сельских районах (S-компонент)¹².

Аналогично уровень бедности в КЧР в 2024 году составил около 18 %, что значительно превышает показатели по СКФО (16,8 %) и по РФ в целом (8,5 %). Такая ситуация не только снижает инвестиционную привлекательность региона, но и порождает риски социальной нестабильности. В контексте ESG (рис. 2) это указывает на необходимость расширения инструментов адресной помощи, устойчивого муниципального бюджетирования и практик социального предпринимательства [1].

Отставание КЧР фиксируется также по объему инвестиций в основной капитал в пересчете на одного жителя. В 2024 году этот показатель был на уровне 71 тыс. руб., тогда как в СКФО он составлял 95 тыс. руб., а по РФ – 262 тыс. руб.¹³. С точки зрения ESG низкий уровень инвестиционной активности означает слабое распространение климатически устойчивых и социально ориентированных технологий. При этом в КЧР наблюдается потенциально высокая инвестиционная емкость в таких секторах, как экотуризм, АПК, переработка отходов и энергетика.

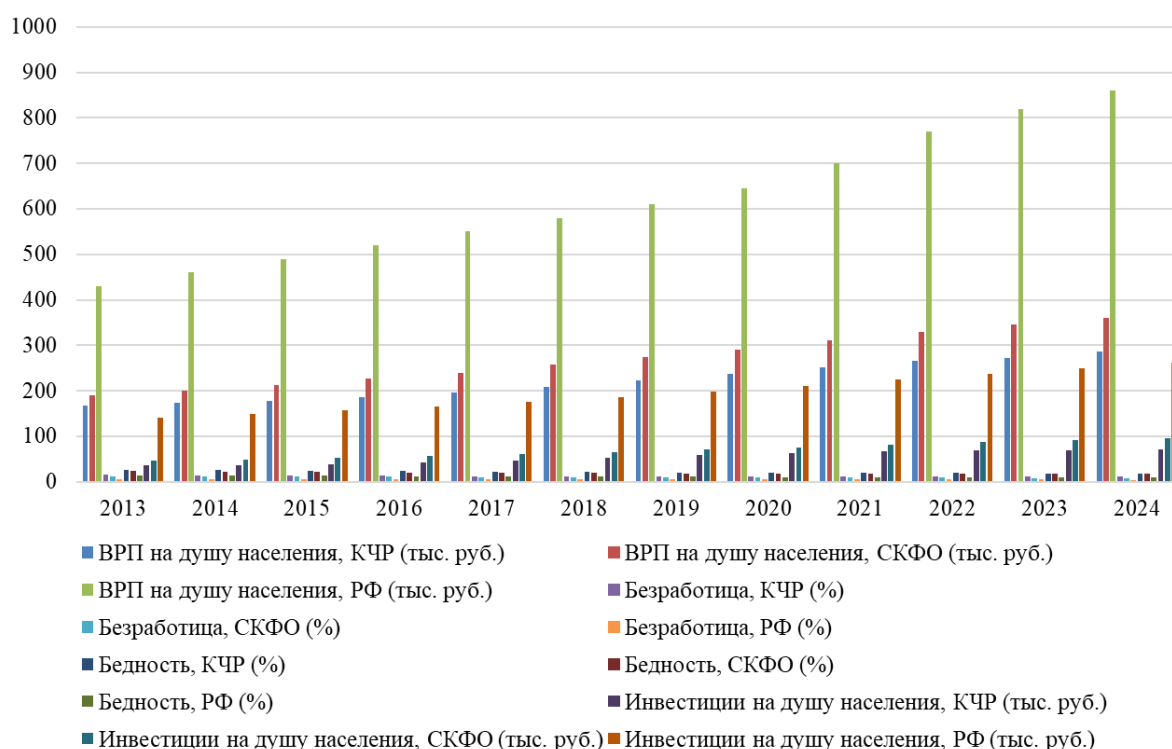


Рис. 2. Индикативный ESG-анализ социально-экономических параметров КЧР и сопоставление с окружными и национальными данными

Fig. 2. Indicative ESG analysis of the socio-economic parameters of the Karachay-Cherkess Republic and comparison with regional and national data

¹¹Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024 / Росстат. М.: 2024. 1128 с.

¹²Регион. Субъект РФ. Социальный паспорт территории / РАНХиГС, ИСЭПИ. М., 2023. 88 с.

¹³Инвестиционный план Карачаево-Черкесской Республики на 2025 год. Черкесск: Минэкономразвития КЧР, 2024. 76 с.

ВЫВОДЫ ИЛИ РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительный анализ позволяет заключить, что КЧР относится к числу регионов с модернизационно-зависимым профилем, характеризующимся высокой потребностью в институциональном и программном сопровождении ESG-преобразований. В то же время высокая демографическая устойчивость, этнокультурная стабильность и природный потенциал создают базу для перехода к ESG-ориентированной региональной модели.

Кроме того, видны территориальные диспропорции, в том числе внутри СКФО. Так, по инвестиционной активности и ВРП КЧР уступает таким субъектам, как Ставропольский край и Кабардино-Балкарская Республика, но в то же время демонстрирует более устойчивую демографическую динамику. Это дает основания полагать, что регион имеет значительный скрытый потенциал, который может быть реализован через адаптацию лучших ESG-практик.

Индексная и рейтинговая оценка регионов по ESG в будущем должна учитывать не только абсолютные показатели, но и темпы улучшения показателей, институциональные усилия и степень вовлеченности местных сообществ. В случае КЧР приоритетами выступают: развитие инклюзивного рынка труда, инфраструктура образования и здравоохранения, поддержка «зеленых» технологий в АПК и ЖКХ, а также развитие механизмов публичного участия в управлении (G-компонент).

Сравнение показывает, что интеграция ESG-индикаторов в стратегические документы КЧР должна опираться на учет реального социально-экономического положения и его отличий от среднероссийского и окружного фона. Это предполагает гибкую и регионально адаптированную ESG-модель, включающую приоритетные зоны устойчивого развития, платформы мониторинга и адаптационные бюджеты.

Несмотря на положительную динамику макроэкономических и социальных показателей, Карачаево-Черкесская Республика сталкивается с рядом устойчивых ограничителей, препятствующих глубокой и системной интеграции ESG-принципов в региональную стратегию развития. Эти вызовы формируются как под воздействием внутренних институциональных и инфраструктурных факторов, так и в результате внешнеэкономических, политических и климатических трансформаций. Анализ ключевых структурных барьеров позволяет выделить приоритетные зоны ESG-реструктуризации.

С точки зрения экологического аспекта (Е) КЧР сталкивается с проблемами избыточной антропогенной нагрузки на природные ландшафты, особенно в зонах рекреационного туризма и сельского хозяйства. Отсутствие современных систем обращения с отходами, низкий уровень использования возобновляемых источников энергии и устаревшие схемы водоснабжения и канализации создают риски для окружающей среды и здоровья населения. В республике отсутствует полноценная система экологического мониторинга, а экологические индикаторы редко фигурируют в региональных стратегических документах¹⁴. Институциональная слабость в сфере экологического контроля сдерживает переход к «зеленой» экономике, что противоречит задачам нацпроекта «Экология» и Целям устойчивого развития ООН (ЦУР 6, 11, 13)^{15, 16}.

¹⁴Карачаево-Черкесская Республика в цифрах. 2024. Черкесск: КЧРстат, 2024. 96 с.

¹⁵ЦУР 6 – Чистая вода и санитария (обеспечение доступности и рационального использования водных ресурсов; улучшение качества воды и повышение эффективности водоотведения; снижение загрязнения, сбросов и утечек опасных веществ в водоемы).

ЦУР 11 – Устойчивые города и населенные пункты (безопасные, инклюзивные и устойчивые поселения; повышение устойчивости инфраструктуры к климатическим рискам; улучшение управления отходами и транспортной инфраструктуры).

ЦУР 13 – Борьба с изменением климата (снижение выбросов парниковых газов; развитие мер адаптации и повышения устойчивости к климатическим угрозам; интеграция климатических вопросов в национальную и региональную политику).

¹⁶Цели устойчивого развития ООН: национальный отчет Российской Федерации. М.: Минэкономразвития, 2020. 87 с.

По социальному направлению (S) КЧР продолжает испытывать сложности, связанные с территориальной неравномерностью доступности социальных благ. В горных и отдаленных районах сохраняется дефицит учреждений здравоохранения и образования, кадровая укомплектованность социальной сферы не превышает 80 % от стандартов¹⁷. Относительно высокий уровень бедности, особенно среди многодетных семей и сельских жителей, ограничивает потенциал внутреннего спроса, а высокий уровень безработицы требует кардинальных изменений в сфере занятости, переобучения и развития цифровых компетенций. Этнокультурная мозаичность региона, с одной стороны, является фактором стабильности, но с другой – требует тонко настроенной социальной политики, учитывающей специфику локальных сообществ [2].

Институциональные ограничения (G) в КЧР проявляются в слабой цифровой зрелости органов исполнительной власти, ограниченной прозрачности бюджетных и инфраструктурных процессов, а также в недостаточной эффективности проектного управления. Отсутствие региональной ESG-отчетности, низкая вовлеченность представителей бизнеса и гражданского общества в процессы стратегического планирования создают управленческий дефицит доверия и обостряют агентские риски. Роль институтов развития ограничена рамками федеральных программ, а инициатива со стороны муниципальных образований носит фрагментарный характер [3].

Дополнительным вызовом выступают низкий уровень урбанизации и высокая доля сельского населения (более 53 %). Это усложняет реализацию инфраструктурных ESG-проектов, повышает удельные издержки на единицу социальной и экологической инфраструктуры, ограничивает доступ к высокотехнологичным услугам. В то же время низкая плотность населения в ряде районов препятствует формированию устойчивых агломерационных и кластерных структур, необходимых для реализации интегральных ESG-инициатив [4].

Регион также уязвим к глобальным климатическим и геоэкономическим рискам. Горная территория с высокой лавинной и селевой опасностью требует специфических механизмов природного регулирования, а ограниченный доступ к трансграничным рынкам снижает возможности экспорта экологически чистой продукции. К тому же ограниченность промышленных зон, логистических хабов и инновационных площадок снижает потенциал реализации инвестиционных проектов с высоким ESG-рейтингом [1, 5].

Таким образом, интеграция ESG-принципов в стратегическое управление Карачаево-Черкесской Республикой ограничивается рядом устойчивых барьеров: структурной инерцией экономики, слабым инвестиционным климатом, территориальной и социальной фрагментацией, дефицитом управленческой зрелости и низкой цифровизацией публичных процессов. Преодоление этих вызовов требует не только адаптации федеральных механизмов под региональную специфику, но и создания локальных ESG-инфраструктур, ориентированных на вовлечение бизнеса, поддержку муниципальных инициатив, развитие «зеленых» ниш и прозрачность принятия решений.

Формирование долгосрочной стратегии устойчивого развития Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) невозможно без ориентации на принципы ESG (экологическая, социальная и управленческая устойчивость), которые становятся основополагающим вектором трансформации социально-экономической политики как на национальном, так и на региональном уровнях. Перспективы развития региона с учетом ESG требуют переосмысления приоритетов стратегического программирования, формирования нового подхода к инвестиционному планированию, а также институционального сопровождения на всех уровнях регионального управления.

¹⁷Социальный паспорт территории КЧР / РАНХиГС, 2023. 56 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жукова Е. В. Основные тенденции развития ESG-повестки: обзор в России и в мире // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2021. № 6. С. 68–82. DOI: 10.21686/2413-2829-2021-6-68-82
2. Ветрова М. А., Варламова М. П. Осуществление ESG-стратегий в условиях санкций: опыт Ирана и рекомендации для России // Креативная экономика. 2023. Том 17. № 1. С. 91–110. DOI: 10.18334/ce.17.1.116801
3. Башарова А. Ш., Алимжанов А. К. Проектный подход в системе государственного и муниципального управления // Молодой ученый. 2022. № 50(445). С. 84–86. EDN: UJDLSS
4. Манаева И. В. Урбанизация и экономическое развитие в регионах России // Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т. 16. № 9. С. 1635–1663. DOI: 10.24891/ea.16.9.1635
5. Шардан С. К., Кипкеева М. Р., Гербекова Э. М., Хамукова Ж. П. Экономическое пространство региона и показатели, характеризующие его развитие // Научные известия. 2020. № 21. С. 51–56. DOI: 10.34905/PC.2020.19.50.001

REFERENCES

1. Zhukova E.V. Main trends in the development of the ESG agenda: an overview in Russia and in the world. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova* [Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics]. 2021. No. 6. Pp. 68–82. DOI: 10.21686/2413-2829-2021-6-68-82. (In Russian)
2. Vetrova M.A., Varlamova M.P. Implementation of ESG Strategies under Sanctions: Iran's Experience and Recommendations for Russia. *Creative Economy*. 2023. Vol. 17. No. 1. Pp. 91–110. DOI: 10.18334/ce.17.1.116801. (In Russian)
3. Basharova A.Sh., Alimzhanov A.K. Project approach in the system of public and municipal administration. *Young Scientist*. 2022. No. 50 (445). Pp. 84–86. EDN: UJDLSS. (In Russian)
4. Manaeva I.V. Urbanization and economic development in the regions of Russia. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2017. Vol. 16. No. 9. Pp. 1635–1663. DOI: 10.24891/ea.16.9.1635. (In Russian)
5. Shardan S.K., Kipkeeva M.R., Gerbekova E.M., Khamukova Zh.P. Economic space of the region and indicators that characterize its development. *Nauchnyye izvestiya* [Scientific News]. 2020. No. 21. Pp. 51–56. DOI: 10.34905/PC.2020.19.50.001. (In Russian)

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Хамукова Ж. П. – разработка концепции статьи и ее структуры, разработка авторской методологии, построение модели ESG-мониторинга и планирования устойчивого развития, заключение и выводы по работе;

Боров Х. Ю. – перевод и графический дизайн.

Contribution of the authors:

Khamukova Zh.P. – developed the concept and structure of the article, developed the author's methodology, created a model for ESG monitoring and sustainable development planning, and made conclusions and findings based on the work.

Borov Kh.Yu. – provided the translation and graphic design.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Хамукова Жанна Петровна, аспирант кафедры «Финансы и кредит», Северо-Кавказская государственная академия;

369001, Россия, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36;

salima@list.ru

Боров Хаваж Юнусович, канд. экон. наук, старший преподаватель кафедры «Менеджмент», Ингушский государственный университет;

386001, Россия, г. Магас, проспект И. Зязикова, 7;

SPIN-код: 5086-0433

Information about the authors

Zhanna P. Khamukova, Postgraduate Student of the Department of Finance and Credit, North Caucasus State Academy;

36 Stavropol street, Cherkessk, 369001, Russia;

salima@list.ru

Khavazh Yu. Borov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Management, Ingush State University;

7, I. Zyazikov avenue, Magas, 386001, Russia;

SPIN-code: 5086-0433

УДК 338.46:311.1

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-261-272

EDN: RYPXKY

Научная статья

Финансовые горизонты БРИКС: инновационные финансовые стратегии компаний

Н. В. Грызунова^{1, 2, 3}, А. М. Трамова^{✉1, 2}

¹Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36

²Университет «Синергия»
129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1

³Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации
119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 82, стр. 1

Аннотация. В последние годы резко меняются финансовые стратегии российских компаний. Эти процессы обусловлены трансформацией мировой валютной системы, вызванной политизацией доллара США. Использование доллара США как инструмент ограничения доступа стран и компаний к международной платежной системе разрушает принципы конкуренции и создает угрозу накоплениям как физических, так и юридических лиц. Угроза ослабления доллара и изменения финансовой стратегии компаний – основа для анализа и дискуссий многих предпринимателей в рамках объединения стран – членов БРИКС. Кроме того, финансовая среда требует моделирования стратегий компаний с учетом жизненного цикла и соответствующих KPI.

Цель исследования – рассмотреть изменения финансовой стратегии российской компании в условиях формирования экосистемы стран БРИКС с учетом стадий жизненного цикла технологических компаний.

Методы. Для оценки потерь компаний, вызванных необходимостью изменять дизайн финансовой стратегии под давлением санкций, использовались модели Fama-French и АРТ. Для прогнозирования финансовых последствий реализуемых изменений в стратегии авторы применяли: монографический метод, метод аналогий, пруденциальный анализ.

Результат. Авторами был определен датасет инноваций для повышения эффективности финансовой стратегии компании.

Выводы. Формирование инновационных финансовых стратегий компаний стран БРИКС играет ключевую роль в укреплении их позиций на глобальной арене.

Ключевые слова: финансовая стратегия компании, финансовое моделирование, БРИКС, санкции, жизненный цикл

Поступила 10.07.2025, одобрена после рецензирования 14.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Грызунова Н. В., Трамова А. М. Финансовые горизонты БРИКС: инновационные финансовые стратегии компаний // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 261–272. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-261-272

BRICS financial horizons: innovative financial strategies for companies

N.V. Gryzunova^{1, 2, 3}, A.M. Tramova^{✉1, 2}

¹Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia

²Synergy University
9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia

³The Russian Presidential Academy of National Economy
and Public Administration
82, building 1, Vernadsky prospekt, Moscow, 119571, Russia

Abstract. In recent years, Russian companies' financial strategies have been undergoing a dramatic transformation. This is due to the changes in the global monetary system, which have been caused by the politicalization of the US dollar. The use of the US dollar as a tool to restrict the access of countries and companies to the international payment system destroys the principles of fair competition and threatens the savings of both individuals and legal entities. The threat of dollar devaluation and changes in financial strategy of companies form the basis for the analysis and discussion among entrepreneurs from the BRICS member countries. In addition, the financial environment requires modeling the company strategies, considering the life cycle stages and relevant criteria.

Aim. The study aims to consider changes in the financial strategy of a Russian company in the context of the formation of the ecosystem of the BRICS countries, taking into account the stages of the technology life cycle.

Methods. Fama-French and APT models are used to assess losses incurred by companies due to the need for financial strategy redesign under sanctions pressure. To predict the financial implications of changes in strategy, the authors utilized the monographic method, the method of analogies, and prudential analysis.

Result. The authors identified a dataset of innovations to improve the effectiveness of the company's financial strategy.

Conclusions. The development of innovative financial strategies for BRICS companies plays a key role in strengthening their positions on the global stage.

Keywords: financial strategy of the company, financial modeling, BRICS, sanctions, life cycle

Submitted on 10.07.2025,

approved after reviewing on 14.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Gryzunova N.V., Tramova A.M. BRICS financial horizons: innovative financial strategies for companies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 261–272. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-261-272

ВВЕДЕНИЕ

Финансовый механизм российских компаний в настоящее время реформируется, поскольку нарушены традиционные связи с партнерами. Актуальные цели преобразования финансовых стратегий компаний – это интеграционные процессы в границах экономического союза для повышения эффективности, устойчивости и оптимизации операций. Эти усилия гомогенны процессам стабилизации мировой финансовой системы, которая постоянно эволюционирует под влиянием fintech технологий (цифровые валюты, AI) и геополитики. Международные организации (МВФ, Всемирный банк, БМР) стремятся стабилизировать финансовую систему мира, несмотря на бифуркационные действия некоторых стран [1, 2].

Так, США, пользуясь своим правом вето в МВФ (ключевые решения требуют 85 % голосов, а доля США составляет ~16,5 %), прибегают к нечестной конкуренции даже со своими союзниками. Право вето позволяет США блокировать реформы, противоречащие их интересам, но противодействие бизнес-элит нарастает.

Ослабление статуса доллара США как мировых денег является следствием, в частности, незаконных американских санкций, например, против России. Санкции были введены с 2014 года и усилены после 2022 года. Санкции оказали значительное влияние на российские компании и экономику в целом. Однако точный размер ущерба для российской экономики сложно оценить из-за множества факторов, включая адаптацию бизнеса, переориентацию на другие рынки и государственную поддержку. Основные последствия санкций для российских компаний:

- ограничение доступа к технологиям и оборудованию. Запрет на поставки высокотехнологичной продукции (микрочипы, оборудование для нефтегазовой отрасли, авиастроения). Санкции привели к замедлению развития некоторых отраслей;
- трудности в производстве продукции для компаний, зависящих от импортируемых комплектующих (автопром, IT, авиация);
- финансовые ограничения. Отключение крупных банков от SWIFT осложнило международные расчеты. Произошла заморозка золотовалютных резервов России (около \$300 млрд.) и активов компаний за рубежом. Произошло падение капитализации некоторых компаний на зарубежных биржах («Газпром», «Роснефть», «Сбербанк»);
- снижение экспорта в западные страны. Частичное эмбарго на нефть, газ и металлы привело к переориентации на Азию, но с дисконтом. Вследствие этого пришлось мириться с потерями в нефтегазовом секторе из-за ценовых ограничений (потолок цен на нефть \$60 за баррель в 2022–2023 гг.);
- уход иностранных компаний. Приостановка работы или выход из России McDonald's, Starbucks, IKEA, H&M и других повлияли на ритейл и занятость. Автопроизводители (Volkswagen, Renault) остановили заводы, что ударило по смежным отраслям [3–5].

В связи с этим, по оценкам МВФ, в 2022 году экономика сократилась на 2,1 %, но в 2023-м начался рост (~1,5–2 %). России придется пережить технологический откат, вызванный санкциями. Так, зависимость от импортозамещения в микроэлектронике и авиастроении может затянуться на годы. Однако экономика России перешла на политику адаптации и нивелировала отрицательные последствия. Основными амортизирующими мерами были:

- переориентация на Китай, Индию, Ближний Восток (рост торговли с Азией);
- развитие параллельного импорта (через третьи страны);
- господдержка (субсидии, льготные кредиты для бизнеса) [6, 7].

То есть прессинг был нивелирован преобразованиями финансовой среды в России. Можно рассмотреть, как меняется доходность акций компании под давлением определенных внешних, макроэкономических факторов, используя традиционные модели. Возьмем факторную модель Фамы-Френча (Fama-French 3-Factor Model), которая описывает доходность актива на основе трех факторов:

1. Рыночный риск ($R_m - R_f$) – избыточная доходность рынка над безрисковой ставкой.
2. SMB (Small Minus Big) – разница в доходности малых и крупных компаний.
3. HML (High Minus Low) – разница в доходности акций с высоким и низким соотношением балансовой стоимости к рыночной стоимости (B/M):

$$R_i - R_f = \alpha_i + \beta_{i, \text{MKT}} * (R_m - R_f) + \beta_{i, \text{SMB}} * \text{SMB} + \beta_{i, \text{HML}} * \text{HML} + \epsilon_i, \quad (1)$$

где R_i – доходность акции/портфеля;

R_f – безрисковая ставка;

α_i – «альфа», аномальная доходность;

β – факторные нагрузки;

ϵ_i – ошибка модели.

Остановимся на исходных данных ПАО «Лукойл»:

1. Средняя доходность акции компании за год: $R_i = 12\%$.

2. Безрисковая ставка: $R_f = 2\%$.

3. Средняя рыночная премия: $R_m - R_f = 6\%$.

4. Разница в доходности: $SMB = 3\%$, $HML = 4\%$.

5. Факторные нагрузки для акций компании:

- $\beta_{MKT} = 1,2$,
- $\beta_{SMB} = 0,5$,
- $\beta_{HML} = -0,3$.

Расчет ожидаемой доходности по модели (1):

$$R_i - R_f = 1,2 \times 6\% + 0,5 \times 3\% + (-0,3) \times 4\% = 7,2\% + 1,5\% - 1,2\% = 7,5\%$$

$$R_i = 7,5\% + 2\% = 9,5\%$$

На основе расчета видно, что реальная доходность акции (12 %) выше предсказанной моделью (9,5 %), значит, акция принесла положительную альфу ($\alpha = 12\% - 9,5\% = 2,5\%$), несмотря на санкции.

Санкции нанесли серьезный, но не катастрофический урон. Российская экономика показала устойчивость благодаря жесткому контролю ЦБ, перестройке логистики, инновационным финансовым инструментам. Давайте посмотрим, что нам покажет модель АРТ (Arbitrage Pricing Theory) – многофакторная модель, где доходность зависит от макроэкономических факторов:

$$R_i = R_f + \beta_{i1} * F_1 + \beta_{i2} * F_2 + \dots + \beta_{ik} * F_k + \epsilon_i. \quad (2)$$

Допустим, у нас 3 фактора:

1. F_1 – инфляция (премия 2 %),

2. F_2 – рост ВВП (премия 4 %),

3. F_3 – волатильность рынка (премия 3 %).

Факторные нагрузки для акции ПАО «Лукойл»:

- $\beta_1 = 0,4$,
- $\beta_2 = 1,1$,
- $\beta_3 = -0,2$.

Расчет:

$$R_i = 2\% + 0,4 \times 2\% + 1,1 \times 4\% + (-0,2) \times 3\% = 2\% + 0,8\% + 4,4\% - 0,6\% = 6,6\%$$

Ожидаемая доходность акции ПАО «Лукойл» по АРТ – 6,6 %.

Модель Fama-French использует специфические рыночные факторы (SMB, HML), а АРТ допускает любые макроэкономические факторы. Но обе модели помогают оценить, за счет каких факторов актив приносит доходность. Практически 70 % номенклатуры ММВБ показывает аналогичный результат [8–11].

Однако долгосрочные последствия (технологическое отставание, снижение инвестиций) еще проявятся. В связи с этим необходимо вводить инновации в финансовые стратегии российских компаний:

- Цифровые платежи и управление наличностью. Широкое внедрение мобильных платежей, цифровых корпоративных облачных хранилищ и платформ для управления корпоративными финансами. Это повышает скорость транзакций, прозрачность и эффективность управления ликвидностью, особенно для сделок со странами с высоким уровнем интеграции с Россией, и обеспечит безопасность данных [12, 13].

- Расширение цифрового кредитования и рынка факторинга. Использование онлайн-платформ для мониторинга кредитоспособности (включая альтернативные данные) и предоставление финансирования, особенно для МСП. Развитие платформ (supply chain finance) в Китае и аналогичных решений в России и в других странах БРИКС.

- Автоматизация и AI финансовых процессов. Внедрение RPA (Robotic Process Automation) для рутинных задач (сверка счетов, отчетность), использование искусственного интеллекта для прогнозирования финансовых показателей, оптимизации бюджета, выявления мошенничества и автоматизации принятия решений. Цифровая трансформация финансовых процессов уже принесла значительный эффект: автоматизировано 85 % операций, повышена точность прогнозирования до 92 %, экономия 1,2 млрд руб. на комиссиях благодаря блокчейн-технологиям [14].

- Новые финансовые стратегии российских компаний базируются на процессах диверсификации источников финансирования благодаря развитию локальных рынков капитала. Компании все чаще обращаются к местным фондовым и облигационным рынкам для привлечения капитала, снижая зависимость от международных рынков и валютных рисков. Выпуск «панда-бондов» (в юанях в Китае) ЦФА в России и аналогичных инструментов в других странах БРИКС.

- Альтернативное финансирование. Рост популярности прямых инвестиций (PE) и венчурного капитала (VC), особенно в технологическом секторе. Использование краудфандинга и краудлендинга для стартапов и небольших проектов.

- Финансирование через цифровые активы. Хотя пока не массово, некоторые компании исследуют возможности привлечения капитала через выпуск токенов (STO – Security Token Offerings) или используют криптовалюты для определенных операций, особенно в трансграничных расчетах (хотя регуляторный ландшафт здесь очень неоднороден) [12, 13].

- Интеграция ESG-факторов в финансовую стратегию. Зеленое и устойчивое финансирование распространяется благодаря расширению эмиссий зеленых и социальных облигаций, получению кредитов, привязанных к показателям устойчивого развития (sustainability-linked loans). Это связано как с ростом глобального интереса к ESG, так и с внутренними задачами стран БРИКС по развитию возобновляемой энергетики и инфраструктуры.

- Модернизация финансовой и налоговой отчетности. ESG-отчетность и прозрачность требуют улучшения стандартов финансовой и нефинансовой (ESG) отчетности для соответствия ожиданиям инвесторов и регуляторов, повышения привлекательности для устойчивых фондов.

- Смарт-управление рисками. Использование больших данных и AI для анализа рисков, применение аналитики данных для более точной оценки кредитных, рыночных и операционных рисков. Прогнозирование волатильности валютных курсов и процентных ставок. Управление геополитическими и регуляторными рисками. Разработка стратегий по снижению зависимости от доллара США, использование альтернативных платежных систем (например, CIPS в Китае, СПФС – системы передачи финансовых сообщений в России). СПФС – российская межбанковская система передачи финансовой информации и совершения платежей, аналог SWIFT [2].

- Кибербезопасность. Усиление мер по защите финансовых данных и систем в условиях растущих киберугроз.

Основные изменения коснулись оптимизации управления оборотным капиталом и цепочками поставок. Российские компании стали использовать цифровые платформы для SCF (Supply Chain Finance), технологические решения, которые автоматизируют и упрощают финансирование цепочки поставок, соединяя поставщиков, покупателей, финансовые институты и другие стороны. Создание или использование платформ, которые позволяют поставщикам получать финансирование под дебиторскую задолженность от крупных покупателей, повышая эффективность всей цепочки поставок.

Основные российские локальные платформы:

- СберКорус (ранее Sberbank Supply Chain Finance), SCF-решения от Сбера;
- ВТБ Факторинг – факторинг и SCF для поставщиков;
- Альфа-Банк – Альфа-Факторинг;
- Т-банк Факторинг;
- Factorin (цифровая факторинговая платформа);
- Finverus (SCF и платформа для ранних платежей).

Блокчейн-платформы:

- we.trade (консорциум банков, блокчейн для торгового финансирования);
- Contour (ранее Voltron, блокчейн-платформа для аккредитивов и SCF);
- Komgo (платформа для товарного финансирования) [12, 13].

Для компаний сейчас характерно использование множества разнообразных кредитных организаций. Основной акцент у финансовых служб сосредоточен на обеспечении безопасности и соответствии регуляторным требованиям, в связи с чем ориентир ставится на умеренность и консервативность. Финансовые стратегии компании представляют собой долгосрочные планы управления ресурсами для достижения ключевых целей бизнеса. Они определяют, как компания будет привлекать, распределять и использовать финансовые средства.

Таблица 1. Виды финансовых стратегий [1, 15]

Table 1. Types of financial strategies [1, 15]

Основные виды финансовых стратегий					
Стратегия финансирования (Funding Strategy)	Инвестиционная стратегия (Investment Strategy) [16]	Дивидендная стратегия (Dividend Policy)	Стратегия управления рисками (Risk Management Strategy)	Стратегия управления оборотным капиталом (Working Capital Strategy)	Стратегия финансового роста (Growth Strategy)
<p>Определяет источники привлечения капитала:</p> <ul style="list-style-type: none"> • собственные средства (нераспределенная прибыль, акционерный капитал); • заемные средства (кредиты, облигации, лизинг); • гибридные инструменты (конвертируемые облигации, привилегированные акции) 	<p>Определяет направления вложения капитала:</p> <ul style="list-style-type: none"> • реальные инвестиции (оборудование, недвижимость, R&D); • финансовые инвестиции (акции, облигации, фонды); • стратегии могут быть агрессивными (высокий риск / доходность) или консервативными (низкий риск) 	<p>Определяет, какую часть прибыли выплачивать акционерам:</p> <ul style="list-style-type: none"> • высокие дивиденды (привлекают инвесторов, но снижают реинвестиции); • низкие / нулевые дивиденды (прибыль реинвестируется в рост); • политика стабильных выплат (фиксированный процент от прибыли) 	<p>Включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • хеджирование (страхование от валютных, процентных, товарных рисков); • диверсификацию активов и доходов; • страхование ключевых рисков 	<p>Оптимизация:</p> <ul style="list-style-type: none"> • дебиторской и кредиторской задолженности; • запасов (минимизация издержек хранения); • денежных потоков (ликвидность против доходности) 	<p>Может быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • органической (развитие за счет внутренних ресурсов); • неорганической (M&A, поглощения, альянсы)

Источник: составлено авторами

Основная тенденция в динамике финансовых стратегий компании сегодня – это увеличение инвестиций в перспективные направления (AI, облачные технологии, IoT) в среднем до 25–30 млрд руб. ежегодно для ПАО при сохранении целевого показателя ROI на уровне 18 %, оптимизация структуры капитала с постепенным снижением коэффициента (Debt/EBITDA) до 1,2 к 2025 году, а также развитие международной экспансии с фокусом на рынки Ближнего Востока.

Концепцию жизненного цикла организации можно рассматривать как инструмент формирования финансовой стратегии. Для каждой стадии развития характерны специфические финансовые показатели и приоритеты управления.

Финансовые стратегии компании должны адаптироваться в зависимости от стадии ее жизненного цикла.

Так, на стадии запуска (Start-up) стратегия характеризуется высокими затратами, отсутствием прибыли и дефицитом инвестиций. Поэтому менеджмент фокусируется на поиске инвесторов (венчурный капитал, бизнес-ангелы, краудфандинг), использовании гибкого бюджетирования с акцентом на ключевые статьи расходов (R&D, маркетинг), ограничения в сфере кредитования, приемлемое отношение к высоким рискам и лимитирование постоянных издержек (аутсорсинг, аренда вместо покупки).

На стадии роста (Growth) стратегия нацелена на рост продаж и прибыли и разработку моделей, позволяющих вести конкурентные сражения.

На стадии зрелости (Maturity) стратегия характеризуется стабильными доходами, насыщением рынка своими товарами, снижением темпов роста.

На стадии спада (Decline) стратегия характеризуется падением продаж, сокращением доли рынка, устареванием продукта, поиском продуктовых ниш для сокращения падения производства [17].

На каждом этапе жизненного цикла компании финансовые показатели и стратегии меняются: от роста и инвестиций на ранних стадиях до оптимизации и распределения прибыли на зрелой стадии. В фазе спада ключевыми становятся антикризисные меры и реструктуризация.

Страны БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южная Африка, а также новые участники, включая ОАЭ, Саудовскую Аравию и др.) формируют новый полюс мировой экономики. В условиях глобальных вызовов – от цифровизации до санкционного давления – компании из этих стран активно разрабатывают инновационные финансовые стратегии. Ключевые тренды финансовых стратегий компаний БРИКС [18]:

1. Декарбонизация и ESG-финансирование. Китай и Индия лидируют в «зеленых» облигациях, Россия развивает углеродные единицы. Инвестиции в ВИЭ и устойчивое развитие через механизмы БРИКС (например, Новый банк развития).

2. Цифровые валюты и дедолларизация. Развитие CBDC (цифровых валют центробанков): цифровой юань (Китай), цифровой рубль (Россия). Расчеты в национальных валютах (например, рупия-юань, рубль-риал).

3. Финтех и цифровые платформы. Китай – Alipay, WeChat Pay. Бразилия – PIX (мгновенные платежи). Россия – СБП (Система быстрых платежей).

4. Альтернативные инвестиционные платформы. Прямые инвестиции между странами БРИКС в обход западных бирж. Кросс-бордерные стартапы (например, китайско-российские венчурные фонды) [16].

5. Управление рисками в условиях санкций. Использование альтернативных платежных систем (SPFS, CIPS). Релокация бизнеса в дружественные юрисдикции (ОАЭ, Гонконг).

Финансовые стратегии компании на каждом этапе жизненного цикла характеризуются разными показателями, отражающими ее цели, риски и приоритеты (табл. 2).

Таблица 2. Рекомендуемые KPI на каждой стадии жизненного цикла [14, 17]**Table 2.** Recommended KPIs at each stage of the life cycle [14, 17]

Start-up	Growth	Maturity	Decline
<ul style="list-style-type: none"> • Объем инвестиций (капитальные вложения, стартовые затраты) • Отрицательный денежный поток (превышение расходов над доходами) • Высокий уровень финансового рычага (зависимость от заемных средств) • Рентабельность продаж (ROS) – обычно низкая или отрицательная • Темпы роста выручки (важен рост, а не прибыльность) • Доля рынка (начальное завоевание позиций) 	<ul style="list-style-type: none"> • Рост выручки (ускорение темпов) • Улучшение маржинальности (ROS, EBITDA margin) • Положительный операционный денежный поток • Снижение зависимости от заемного капитала • Рентабельность активов (ROA) и капитала (ROE) – начинают расти • Коэффициент текущей ликвидности (платежеспособность) 	<ul style="list-style-type: none"> • Стабильная выручка (умеренные темпы роста) • Высокая рентабельность (ROS, ROE, ROIC) • Свободный денежный поток (FCF) – максимизация • Низкий финансовый рычаг (умеренная долговая нагрузка) • Дивидендные выплаты (высокая доля распределяемой прибыли) • Коэффициент P/E (цена/прибыль) – стабильный 	<ul style="list-style-type: none"> • Падение выручки и прибыли • Отрицательный денежный поток • Высокая долговая нагрузка (рост D/E) • Снижение рентабельности (ROA, ROE < стоимости капитала) • Оборотный капитал – возможны проблемы с ликвидностью

Источник: составлено авторами

При формировании финансовой стратегии используются различные математические модели для анализа, прогнозирования и принятия решений. Каждый этап жизненного цикла компании также характеризуется определенными моделями финансовой стратегии. Аналитический инструментарий имеет разные цели и требует разработки определенных сценариев управления финансами компании. Финансовое моделирование помогает принимать обоснованные решения, минимизировать риски и повышать эффективность управления ресурсами. Чем точнее модель, тем выше шансы на успех стратегии. Моделирование содержит прогнозирование, оценку рисков и оптимизацию решений (табл. 3).

Таблица 3. Ключевые этапы моделирования финансовой стратегии [17, 19]**Table 3.** Key stages of financial strategy modeling [17, 19]

Определение целей	Анализ текущего финансового состояния	Прогнозирование доходов и расходов	Оценка рисков	Оптимизация структуры капитала	Выбор инвестиционной стратегии	Мониторинг и корректировка
Рост капитала. Устойчивость к кризисам. Максимизация прибыли или минимизация рисков. Выход на новые рынки.	Оценка активов, пассивов, денежных потоков. Анализ рентабельности, ликвидности, финансовой устойчивости.	Построение финансовых моделей (DCF, бюджетирование). Учет макроэкономических факторов (инфляция, ставки, курсы валют)	Стресс-тестирование (кризисные сценарии). Анализ чувствительности к изменениям ключевых параметров. Хеджирование (страхование рисков).	Соотношение собственных и заемных средств. Выбор источников финансирования (кредиты, облигации, акции).	Консервативная (низкий риск, облигации, депозиты). Умеренная (диверсификация, акции + облигации). Агрессивная (высокорисковые активы, стартапы, криптовалюты).	Сравнение плановых и фактических показателей. Адаптация к изменениям рынка

Источник: составлено авторами

Выбор модели зависит от цели стратегии (минимизация риска, максимизация доходности, хеджирование), характера данных и уровня сложности. Вот основные из них (табл. 4).

Таблица 4. Топ моделей финансовых стратегий [9, 12, 19]**Table 4.** Top models of financial strategies [9, 12, 19]

Модели оценки и управления рисками	Модели оптимизации портфеля	Модели прогнозирования временных рядов	Модели оценки инвестиционных проектов	Модели управления капиталом	Модели ценообразования активов	Эконометрические модели
<ul style="list-style-type: none"> • Value at Risk (VaR) – оценивает максимальные ожидаемые потери за определенный период с заданной вероятностью. • Conditional VaR (CVaR) – средние потери в случаях, когда они превышают VaR. • Метод Монте-Карло – моделирование множества сценариев для оценки рисков и доходности 	<ul style="list-style-type: none"> • Модель Марковица – оптимизация соотношения риска и доходности за счет диверсификации. • Black-Litterman – улучшенная версия Марковица, учитывающая рыночные ожидания. • Capital Asset Pricing Model (CAPM) – оценка ожидаемой доходности актива с учетом рыночного риска 	<ul style="list-style-type: none"> • ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) – прогнозирование финансовых показателей на основе исторических данных. • GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) – моделирование волатильности. • Методы машинного обучения (LSTM, XGBoost, Random Forest) – для прогнозирования цен, спроса и других финансовых показателей 	<ul style="list-style-type: none"> • Дисконтированные денежные потоки (DCF) – расчет NPV (чистой приведенной стоимости) и IRR (внутренней нормы доходности). • Real Options Valuation (ROV) – оценка гибкости управления инвестициями (например, опцион на расширение или отказ) 	<ul style="list-style-type: none"> • Критерий Келли – оптимизация размера ставки для максимизации роста капитала. • Модели стохастического контроля – динамическое управление капиталом с учетом рыночных изменений 	<ul style="list-style-type: none"> • Black-Scholes – оценка стоимости опционов. • Биномиальная модель ценообразования опционов – альтернатива Black-Scholes для дискретного времени 	<ul style="list-style-type: none"> • Регрессионный анализ (линейный, логистический) – выявление зависимостей между финансовыми показателями. Факторные модели (Fama-French, APT) – объяснение доходности активов через макроэкономические факторы

Источник: составлено авторами

Страны БРИКС создают собственную финансовую экосистему, снижая зависимость от доллара и западных институтов. Ключевые драйверы для этих процессов – цифровизация, устойчивое развитие, региональная кооперация и интеграция. Компании, которые смогут адаптироваться к новым финансовым реалиям БРИКС, получат конкурентное преимущество на формирующемся многополярном рынке.

В итоге можно сказать, что финансовые стратегии компаний в странах БРИКС – это синтез инноваций, геополитики и экономической самостоятельности. Будущее за гибкими, технологичными и устойчивыми моделями. Формирование инновационных финансовых стратегий компаний стран БРИКС играет ключевую роль в укреплении их позиций на глобальной арене. В условиях динамично меняющейся экономической среды, цифровизации и усиления геополитической нестабильности объединения стран демонстрируют устойчивый рост, опираясь на кооперацию, развитие новых финансовых инструментов и технологий.

В ближайшие годы финансовые стратегии компаний – стран членов БРИКС будут ориентированы на углубление взаимной интеграции, развитие цифровых активов и усиление роли объединения в мировой финансовой архитектуре. Успех этих инициатив зависит от согласованной политики, гармонизации регуляторных мер и готовности компаний адаптироваться к новым вызовам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, БРИКС продолжает формировать инновационную финансовую экосистему, способную стать драйвером устойчивого роста и альтернативой традиционным западным экономическим бизнес-моделям. Перспективы дальнейших исследований связаны с углубленным изучением влияния цифровой трансформации на финансовые страте-

гии компаний на разных стадиях жизненного цикла, а также анализом адаптации стратегического управления в условиях геополитической нестабильности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Adizes I.* Managing corporate lifecycles. Adizes Institute Publications, 2022. 420 p.
2. *Навой А. В.* Перспективы трансформации системы международных расчетов в Российской Федерации на базе цифровых валют центральных банков // Финансовый журнал. 2024. Т. 16. № 2. С. 43–58. DOI: 10.31107/2075-1990-2024-2-43-58
3. *Roshchupkina V., Dimurina N., Manuylenko V. et al.* Impact of business planning for mini oil refineries to enhance socio-economic landscape // Qubahan Academic Journal. 2024. Т. 4. № 2. Pp. 512–528.
4. *Галанов В. А.* Рынок ценных бумаг: учебник. 2-е изд. М.: ИНФРА-М, 2019. 414 с.
5. *Грызунова Н. В., Ермилова М. И., Кери И. Т. и др.* Финансовая политика компании и обеспечение устойчивого развития. М.: РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2025. 169 с.
6. *Балынин И. В., Власова Н. В., Губернаторов А. М. и др.* Корпоративные финансы: учебник / под общ. ред. А. М. Губернаторова. М.: ИНФРА-М, 2024. 399 с.
7. *Брейли Р., Майерс С., Аллен Ф.* Принципы корпоративных финансов. М.: Олимп-Бизнес, 2022. 1088 с.
8. *Битюк А. А., Глизнуца М. В.* Перспективы развития трансграничной платежной системы в рамках БРИКС+ с использованием ЦВЦБ // Экономика и бизнес: теория и практика. 2024. № 5-1(111). С. 25–29. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-5-1-25-29
9. *Бунич Г. А.* Перспективы формирования системы расчетов стран БРИКС // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 5. № 4(145). С. 54–61. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.04.05.008
10. *Ванхорн Дж. К., Вахович Дж. М.* Основы финансового менеджмента. М.: Вильямс, 2021. 1232 с.
11. *Земцов С. П., Чернов А. В.* Какие высокотехнологичные компании в России растут быстрее и почему // Журнал Новой экономической ассоциации. 2019. № 1(41). С. 68–99. DOI: 10.31737/2221-2264-2019-41-1-3
12. *Дериземля В. Е., Тер-Григорьянц А. А.* Методические положения оценки цифровой зрелости экономических систем // Вестник РУДН. Серия: Экономика. 2021. № 29(1). С. 39–55. DOI: 10.22363/2313-2329-2021-29-1-39-55
13. *Иванова А. К., Еремин Д. П.* Европейские интересы на Глобальном Юге: потенциал комплексного прогнозирования // Научно-аналитический вестник Института Европы РАН. 2024. № 6(42). С. 35–48. DOI: 10.15211/vestnikieran620243548
14. *Хотинская Г. И.* Корпоративный рост: теория, финансовые индикаторы, эмпирические закономерности // Управленец. 2015. № 4 (56). С. 12–17. EDN: ULTZAJ
15. *Porter M. E.* Competitive Strategy. Free Press, 2020. 396 p.
16. *Shneor R., Munim Z. H.* Reward crowdfunding contribution as planned behaviour: An extended framework // Journal of Business Research. 2019. Vol. 103. Pp. 56–70. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.06.013
17. *Сидоров А. А., Немировская-Дутчак О. Э., Кесельман В. М. и др.* Методы моделирования и прогнозирования демографических индикаторов стран БРИКС // Московский экономический журнал. 2023. № 1. С. 317–349. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_1_6
18. *Borges F., Barros L., Rodríguez Méndez N.* BRICS+: el Nuevo Banco de desarrollo y la XVI cumbre // Iberoamerica. 2024. No. 4. Pp. 148–168. DOI : 10.37656/s20768400-2024-04-07
19. *Кудина М. В.* Теория стоимости компании: монография. М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2025. 368 с.

REFERENCES

1. Adizes I. Managing corporate lifecycles. Adizes Institute Publications, 2022. 420 p.
2. Navoy A.V. Prospects for the transformation of the international settlements system in the Russian federation based on Central Bank digital currencies. *Financial Journal*. 2024. Vol. 16. No. 2. Pp. 43–58. DOI: 10.31107/2075-1990-2024-2-43-58. (In Russian)
3. Roshchupkina V., Dimurina N., Manuylenko V. et al. Impact of business planning for mini oil refineries to enhance socio-economic landscape. *Qubahan Academic Journal*. 2024. Vol. 4. № 2. Pp. 512–528.
4. Galanov V.A. *Rynok tsennykh bumag: uchebnik* [The Securities Market: textbook]. 2nd ed. Moscow: INFRA-M, 2019. 414 p. (In Russian)
5. Gryzunova N.V., Ermilova M.I., Carey I.T. et al. *Finansovaya politika kompanii i obespecheniye ustoychivogo razvitiya* [Company's financial policy and ensuring sustainable development]. Moscow: REU im. G.V. Plekhanova, 2025. 169 p. (In Russian)
6. Balynin I.V., Vlasova N.V., Gubernatorov A.M. et al. *Korporativnyye finansy: uchebnik* [Corporate Finance: textbook] / edited by A.M. Gubernatorov. Moscow: INFRA-M, 2024. 399 p. (In Russian)
7. Brailey R., Myers S., Allen F. *Printsiipy korporativnykh finansov* [Principles of Corporate Finance]. Moscow: Olimp-Business, 2022. 1088 p. (In Russian)
8. Bityuk A.A., Gliznutsa M.V. Prospects for the development of a cross-border payment system within the BRICS + framework using the central bank of the Russian Federation. *Economy and Business: Theory and Practice*. 2024. No. 5-1(111). Pp. 25–29. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-5-1-25-29. (In Russian)
9. Bunich G.A. Prospects for the formation of a settlement system for the BRICS countries. *Economy and Management: Problems, Solutions*. 2024. Vol. 5. No. 4(145). Pp. 54–61. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.04.05.008. (In Russian)
10. Vanhorn J.K., Vakhovich J.M. *Osnovy finansovogo menedzhmenta* [Fundamentals of Financial Management]. Moscow: Vil'yams, 2021. 1232 p. (In Russian)
11. Zemtsov S.P., Chernov A.V. Which high-tech companies in Russia are growing faster and why? *Journal of the New Economic Association*. 2019. No. 1(41). Pp. 68–99. DOI: 10.31737/2221-2264-2019-41-1-3. (In Russian)
12. Derizemlya V.E., Ter-Grigoryants A.A. Methodological provisions for assessing the digital maturity of economic systems. *RUDN Bulletin. Series: Economics*. 2021. No. 29(1). Pp. 39–55. DOI: 10.22363/2313-2329-2021-29-1-39-55. (In Russian)
13. Ivanova A.K., Eremin D.P. European interests in the Global South: Potential for comprehensive forecasting. *Scientific and Analytical Bulletin of the Institute of Europe of the Russian Academy of Sciences*. 2024. No. 6(42). Pp. 35–48. DOI: 10.15211/vestnikieran620243548. (In Russian)
14. Khotinskaya G.I. Corporate growth: theory, financial indicators, empirical patterns. *Manager*. 2015. No. 4(56). Pp. 12–17. EDN: ULTZAJ. (In Russian)
15. Porter M.E. *Competitive Strategy*. Free Press, 2020. 396 p.
16. Shneor R., Munim Z.H. Reward crowdfunding contribution as planned behaviour: An extended framework. *Journal of Business Research*. 2019. Vol. 103. Pp. 56–70. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.06.013
17. Sidorov A.A., Nemirovskaya-Dutchak O.E., Keselman V.M. et al. Methods of modeling and forecasting demographic indicators of the BRICS countries. *Moscow Economic Journal*. 2023. No. 1. Pp. 317–349. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_1_6. (In Russian)

18. Borges F., Barros L., Rodríguez Méndez N. BRICS+: el Nuevo Banco de desarrollo y la XVI cumbre. *Iberoamerica*. 2024. No. 4. Pp. 148–168. DOI : 10.37656/s20768400-2024-04-07
19. Kudina M.V. *Teoriya stoimosti kompanii: monografiya* [Theory of Company Value: monograph]. Moscow: FORUM: INFRA-M, 2025. 368 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. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Грызунова Наталья Владимировна, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры финансов устойчивого развития, 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;

профессор кафедры международного менеджмента, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации;

119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 82, стр. 1;

Gryzunova.NV@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8582-7389>, SPIN-код: 7444-2346

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

Natalia V. Gryzunova, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Sustainable Development Finance, Plekhanov Russian University of Economics;

36 Stremyanny lane, Moscow, 115054, Russia;

Professor of the Department of Applied Mathematics, Synergy University;

9/14, building 1, Meshchanskaya street, Moscow, 129090, Russia;

Professor of the Department of International Management, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration;

82, building 1, Vernadsky prospekt, Moscow, 119571, Russia;

Gryzunova.NV@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8582-7389>, SPIN-code: 7444-2346

Aziza M. Tramova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics;

115054, Russia, Moscow, 36 Stremyanny lane;

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

УДК 332.024

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-273-284

EDN: SPFEMJ

Научная статья

Интеллектуальный капитал как основа стратегического потенциала организации

М. С. Ерёменко[✉], Е. В. Кобзева

Донбасский государственный технический университет
294204, Россия, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16

Аннотация. В статье проводится анализ управления интеллектуальным капиталом организации и его влияния на развитие организации. В контексте современной экономики, основанной на знаниях, интеллектуальный капитал становится ключевым фактором конкурентоспособности организации, обеспечивая устойчивое развитие и инновационный потенциал. Эффективное управление интеллектуальным капиталом позволяет организации создавать устойчивые конкурентные преимущества, формировать инновационную культуру и обеспечивать долгосрочный успех в условиях динамичной экономической среды.

Цель исследования – определение ключевых составляющих интеллектуального капитала, которые являются основой стратегического потенциала организации.

Результаты. В процессе исследования выявлены аспекты влияния ключевых составляющих интеллектуального капитала на стратегический потенциал организации, определена роль интеллектуального капитала в обеспечении конкурентных преимуществ организации и их устойчивости, а также успешной реализации стратегических инициатив организации. Разработана модель управления интеллектуальным капиталом с целью развития стратегического потенциала организации. Обоснована необходимость системного подхода к управлению интеллектуальным капиталом и его интеграции в общую систему управления и стратегического развития организации.

Выводы. Интеллектуальный капитал и стратегический потенциал имеют прямую взаимосвязь, а также являются взаимодополняющими элементами организации. Эффективное управление интеллектуальным капиталом позволяет организациям формировать и развивать свой стратегический потенциал, при этом обеспечивая устойчивое конкурентное преимущество.

Ключевые слова: интеллектуальный капитал, стратегический потенциал, управление, человеческие ресурсы, интеграция, интеллектуальный потенциал

Поступила 15.07.2025, одобрена после рецензирования 18.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Ерёменко М. С., Кобзева Е. В. Интеллектуальный капитал как основа стратегического потенциала организации // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 273–284. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-273-284

Original article

Intellectual capital as basis of organization's strategic potential

M.S. Eremenko[✉], E.V. Kobzeva

Donbass State Technical University
16 Lenin avenue, Alchevsk, Lugansk People's Republic, 294204, Russia

Abstract. This article analyzes the management of an organization's intellectual capital and its impact on its growth and development. In the context of the modern knowledge-based economy, intellectual capital is becoming a key factor in an organization's competitiveness, ensuring sustainable development and innovative potential. Effective intellectual capital management enables an organization to create supportable competitive advantages, foster an innovative culture, and ensure long-term success in a dynamic economic environment.

Aim. The study is to identify the key components of intellectual capital, which are the basis of the strategic potential of the organization.

Results. The study identifies aspects of the impact of key components of intellectual capital on an organization's strategic potential. It defines the role of intellectual capital in ensuring an organization's competitive advantage and long-term sustainability, as well as successful implementation of strategic initiatives. A model for managing intellectual capital has been developed to enhance the organization's strategic potential. The need for a systematic approach to managing intellectual capital and incorporating it into the organization's overall management and strategic planning process is emphasized.

Conclusions. Intellectual capital and strategic potential are directly interconnected and complementary elements of an organization. Effective intellectual capital management allows organizations to build and advance their strategic potential, while ensuring a sustainable competitive benefits.

Keywords: intellectual capital, strategic potential, management, human resources, integration, intellectual potential

Submitted on 15.07.2025,

approved after reviewing on 18.08.2025,

accepted for publication on 25.09.2025

For citation. Eremenko M.S., Kobzeva E.V. Intellectual capital as basis of organization's strategic potential. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 273–284. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-273-284

ВВЕДЕНИЕ

Под влиянием стремительного развития экономики, научно-технологического прогресса происходит полная трансформация условий, факторов и моделей управления организацией. Основными факторами успешного развития организации являются уровень финансовых, трудовых и материальных активов, а также нематериальных активов, одним из которых является уровень интеллектуального капитала организации. Определение интеллектуального капитала становится актуальным вопросом в современных условиях. Интеллектуальный капитал представляет собой совокупность знаний, опыта, навыков, организационных процессов и отношений, которые способствуют созданию определенных благ организаций.

Проблемы формирования и использования интеллектуального капитала связывают с переходом развитых стран к постиндустриальной экономике, где знания и информация становятся ключевыми факторами производства и конкурентоспособности организаций. Данный переход базируется на необходимости переосмысления традиционных подходов к управлению активами организации, уделяя особое внимание нематериальным ресурсам. Знания преобразуются в фактор производства наряду с трудом и материальными ресурсами.

Исследованию интеллектуального капитала посвятили свои труды зарубежные и отечественные ученые. Т. Стюарт определяет интеллектуальный капитал следующим образом: «...это интеллектуальный материал, включающий в себя знания, опыт, информацию, интеллектуальную собственность и участвующий в создании ценностей. Это – коллективная умственная энергия. Ее трудно обнаружить и еще труднее управлять ею. Но уж если вы ее обнаружили и заставили служить себе, вы – победитель» [1]. Л. Эдвинсон рас-

смачивает интеллектуальный капитал как знания, которые имеют тенденцию конвертироваться в стоимость [2]. Э. Брукинг определяет интеллектуальный капитал как «...термин для обозначения нематериальных активов, без которых компания не может существовать, усиливая конкурентные преимущества. Составными частями интеллектуального капитала являются: человеческие активы, интеллектуальная собственность, инфраструктурные и рыночные активы» [3]. А. Н. Козырев считает, что ведущую роль в интеллектуальном капитале играет человеческий капитал, а именно люди и знания: «Это, прежде всего, люди и знания, которыми они обладают, а также их навыки, связи и все то, что помогает их эффективно использовать» [4]. В. Л. Иноземцев определяет интеллектуальный капитал как «коллективный мозг», который аккумулирует научные и обыденные знания работников, интеллектуальную собственность и накопленный опыт, общение и организационную структуру, информационные сети и имидж фирмы [5]. Б. Б. Леонтьев конкретизирует понятие интеллектуального капитала и определяет его как стоимость интеллектуальных активов, которые включают интеллектуальную собственность, природные и приобретенные интеллектуальные способности и навыки, накопленные базы знаний и полезные отношения с другими субъектами рынка [6].

Обобщая позиции авторов, важно отметить, что интеллектуальный капитал является одним из основных факторов, который влияет на устойчивость и успех организации в условиях современной глобализированной экономики. В условиях стремительных изменений и высокой конкурентоспособности организации вынуждены адаптироваться к новым обстоятельствам, разрабатывать и внедрять инновационные стратегии и активно использовать доступные ресурсы для достижения стратегических целей. Таким образом, интеллектуальный капитал становится важным ресурсом для формирования стратегического потенциала организации. Однако, несмотря на значительный вклад вышеупомянутых исследователей, тема интеллектуального капитала остается актуальной и требует дальнейшего изучения в контексте стремительного развития экономической конъюнктуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки модели формирования стратегического потенциала организации на основе интеллектуального капитала использовались внешние источники информации. В качестве внешних источников использовались научные исследования, опубликованные в научных журналах в области менеджмента, экономики и стратегического управления, аналитические данные из общедоступных источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимость в системном исследовании интеграции интеллектуального капитала в стратегию развития организации и изучении инструментов и методов, которые позволяют максимально эффективно управлять данным процессом, обусловлена рядом факторов. Во-первых, недостаточное понимание взаимосвязи между интеллектуальным капиталом и стратегическими целями организации приводит к неэффективному распределению ресурсов. Во-вторых, отсутствие четких инструментов и методов управления интеллектуальным капиталом затрудняет процесс его измерения, оценки и развития. В-третьих, существующие подходы часто носят фрагментарный характер и не учитывают специфику конкретной организации. Организации, которые стремятся занять лидирующие позиции на рынке, активно повышают уровень интеллектуального капитала, при этом создавая условия для интеллектуального развития сотрудников, стиму-

лируя инновационное мышление и поддерживая культуру обмена знаниями между сотрудниками. Исследования показывают, что данные организации успешно адаптируются к изменениям внешней среды.

В условиях цифровой трансформации экономики роль и значение интеллектуального капитала имеют тенденцию к росту. Следует заметить, что на фоне цифровизации усиливается значимость знаний как ресурса организации. Процесс трансформации, который вызван внедрением новых технологий и методов работы, требует от организаций особого внимания относительно развития и управления интеллектуальным капиталом.

Разработка эффективных механизмов управления организацией невозможна без комплексного и системного управления интеллектуальным капиталом. Рациональное и эффективное управление интеллектуальным капиталом является особо важным элементом в современных условиях развития экономики. Данный фактор непосредственно оказывает влияние на результативность деятельности организации, формирование ее экономических ценностей и обеспечение лидирующих позиций на рынке. Преимуществами эффективно-го управления организацией являются увеличение рыночной стоимости, оптимизация постоянных и переменных затрат, повышение эффективности использования всех ресурсов предприятия, динамика роста результатов инновационной деятельности организации за счет интеллектуализации производства.

Организация должна эффективно управлять собственными интеллектуальными ресурсами и способностями, использовать интеллектуальный капитал, участвовать в мероприятиях по повышению квалификации, аккумулируя опыт и навыки с целью увеличения объема и качества организационного знания, успешно противостоять конкуренции [7].

Интеллектуальные ресурсы организации формируют ее стратегический потенциал, то есть ее потенциальные интеллектуальные возможности и преимущества. Интеллектуальные ресурсы, которые преобразовываются в интеллектуальный капитал, используются и создают интеллектуальные продукты. Интеллектуальный потенциал отражает способность организации к применению знаний и достижению необходимого финансово-экономического состояния с помощью взаимодействия интеллектуальных и традиционных ресурсов. Интеллектуальный потенциал человека – это совокупность способностей индивида на основе полученной и обработанной информации, позволяющая создавать новые знания и извлекать из них выгоду и пользу, в том числе для целей саморазвития. Качество интеллектуального потенциала работника (природной составляющей индивидуального интеллектуального капитала) определяется генетическими задатками, врожденными способностями, нейрофизиологическими особенностями мозга и психики. Вместе с тем интеллектуальный потенциал – это не раз и навсегда заданная константа, его можно развивать и совершенствовать, способствуя перерастанию интеллектуального потенциала в интеллектуальный капитал, позволяющий индивиду достигать успешной самореализации как социально-экономическому субъекту [8].

Актуальность и приоритеты интеллектуальных ресурсов для отдельных организаций определяются в зависимости от уровня их использования, формирования конкурентных преимуществ и реализации стратегических планов. Интеллектуальные ресурсы необходимо рассматривать как совокупность составляющих факторов, которые формируют интеллектуальный капитал организации. Отметим, что уровень интеллектуального капитала имеет прямую зависимость от уровня интеллектуальных ресурсов организации.

Элементами интеллектуального капитала являются человеческий капитал, структурный капитал и клиентский капитал. Следует заметить, что каждый из компонентов интеллектуального капитала играет важную роль в определении стратегического потенциала организации и имеет тесную взаимосвязь с развитием конкурентных преимуществ организации.

Главным стратегическим ресурсом современного этапа развития является человеческий капитал, аккумулирующий в себе весь интеллектуальный, физиологический, трудовой и социальный потенциал людей, возможности его использования для обеспечения устойчивого тренда развития экономических систем в условиях постоянной турбулентности, возрастающей неопределенности, нарастающего технологического прогресса [9].

Человеческий капитал считается основополагающим фактором инновационного развития общества. Развитие новых технологий, искусственного интеллекта невозможно без участия человека. Прогресс совершают люди, потому они являются основной ценностью любого государства, и по этой же самой причине потенциал народа, его возможности и способности называют человеческим капиталом [11]. Человеческий капитал включает в себя совокупность знаний, навыков и опыта сотрудников, а также мотивацию и вовлеченность в процесс деятельности организации. Организации с высоким уровнем человеческого капитала показывают лучшие результаты в своем инновационном развитии. Сотрудники, которые обладают уникальными знаниями и опытом, способны предлагать нестандартные решения и адаптироваться к изменениям внешней среды, что в свою очередь увеличивает инновационное развитие организации. Организации, которые инвестируют в обучение своих сотрудников, имеют высокие результаты, которые оказывают влияние на их стратегический потенциал [12].

Структурный капитал – это реализация интеллектуального потенциала организации во внешней и внутренней среде, ее функционирование посредством организационной структуры, технологий, процессов, интеллектуальной собственности и других интеллектуальных активов. Отличительная черта структурного капитала в том, что он в полной мере является собственностью компании, компоненты структурного капитала могут быть объектами купли-продажи [13]. Структурный капитал представляет собой совокупность процессов, технологий, систем управления в организации. Эффективные системы управления организаций, системы обмена знаниями позволяют оптимизировать ресурсы и повысить общую эффективность. Структурный капитал является основой успешной реализации инновационных идей и стратегий. Недостаточное развитие структурного капитала может привести к неэффективности и замедлению процесса принятия решений и снижению уровня стратегического потенциала.

Клиентский капитал представляет собой систему взаимодействий с внутренними и внешними заинтересованными сторонами (поставщиками, клиентами, сотрудниками) либо знания, встроенные в отношения с внешней средой. К клиентскому капиталу также относится удовлетворенность клиентов или лояльность конечных пользователей к организации. Клиентский капитал формируется из знаний, которые могут быть внедрены в отношения с клиентами благодаря ценности бренда, развитой сети, лояльности и удовлетворенности клиентов [14]. Клиентский капитал представляет собой отношения организации с клиентами, партнерами, поставщиками. Высокий уровень доверия, налаженные долгосрочные отношения способствуют развитию конку-

рентных преимуществ. Организации с высоким уровнем клиентского капитала способны своевременно реагировать на изменения потребительских предпочтений и условий внешней среды.

В условиях растущих изменений в потребительских предпочтениях организации должны учитывать интеллектуальный капитал как стратегический ресурс, который способствует повышению конкурентоспособности и созданию конкурентных преимуществ на рынке.

При создании новых управленческих идеологий стратегического развития организаций, которые базируются на основных продуктивных силах информационно-интеллектуального характера, возникает необходимость в переосмыслении традиционных подходов к управлению, поскольку информация и знания становятся ключевым капиталом организации. Основной проблемой развития интеллектуальных ресурсов организации является реализация инновационных стратегий развития ее потенциала. Повышение интеллектуализации производственных процессов достигается за счет активного инвестирования в развитие интеллектуального капитала, стимулирования интеллектуальной активности и повышения репутации организации. Один из ключевых аспектов интеллектуализации – создание необходимых условий для генерации и обмена знаниями между участниками производственной системы.

В контексте интеллектуально-ориентированного управления традиционные иерархические структуры уступают место более гибким и адаптивным моделям, способным оперативно реагировать на изменения внешней среды. Это требует от руководителей не только стратегического видения, но и умения делегировать полномочия, стимулировать творческое мышление и создавать атмосферу доверия и сотрудничества.

На наш взгляд, формирование стратегического потенциала требует интеграции всех аспектов деятельности организации – от разработки новых продуктов и услуг до управления человеческими ресурсами. Только в этом случае организация сможет в полной мере реализовать свой интеллектуальный потенциал и достичь устойчивого развития в современных условиях.

Модель формирования стратегического потенциала организации представлена как многоуровневая система, интегрирующая ключевые компоненты, определяющие конкурентоспособность и долгосрочное развитие (рис. 1).

Важно отметить, что в основе модели стратегического потенциала организации лежат устойчивое развитие организации и способность адаптироваться к изменениям динамичной конкурентной среды. Первый уровень модели включает в себя анализ внешней среды, определяющий ключевые факторы, которые оказывают влияние на деятельность организации. Данный аспект предполагает оценку макроэкономических тенденций, отраслевой специфики, анализа конкурентов и потребителей. Результаты анализа внешней среды позволяют выявить возможности и угрозы, которые организация должна учитывать при формировании своей стратегии.

Второй уровень модели посвящен анализу внутренних ресурсов и компетенций организации. Данный этап предполагает выявление сильных и слабых сторон организации, анализ ключевых компетенций, оценку инновационного потенциала и эффективности управления. Результаты анализа внутренних ресурсов и компетенций позволяют определить конкурентные преимущества организации и выявить области, требующие улучшения.

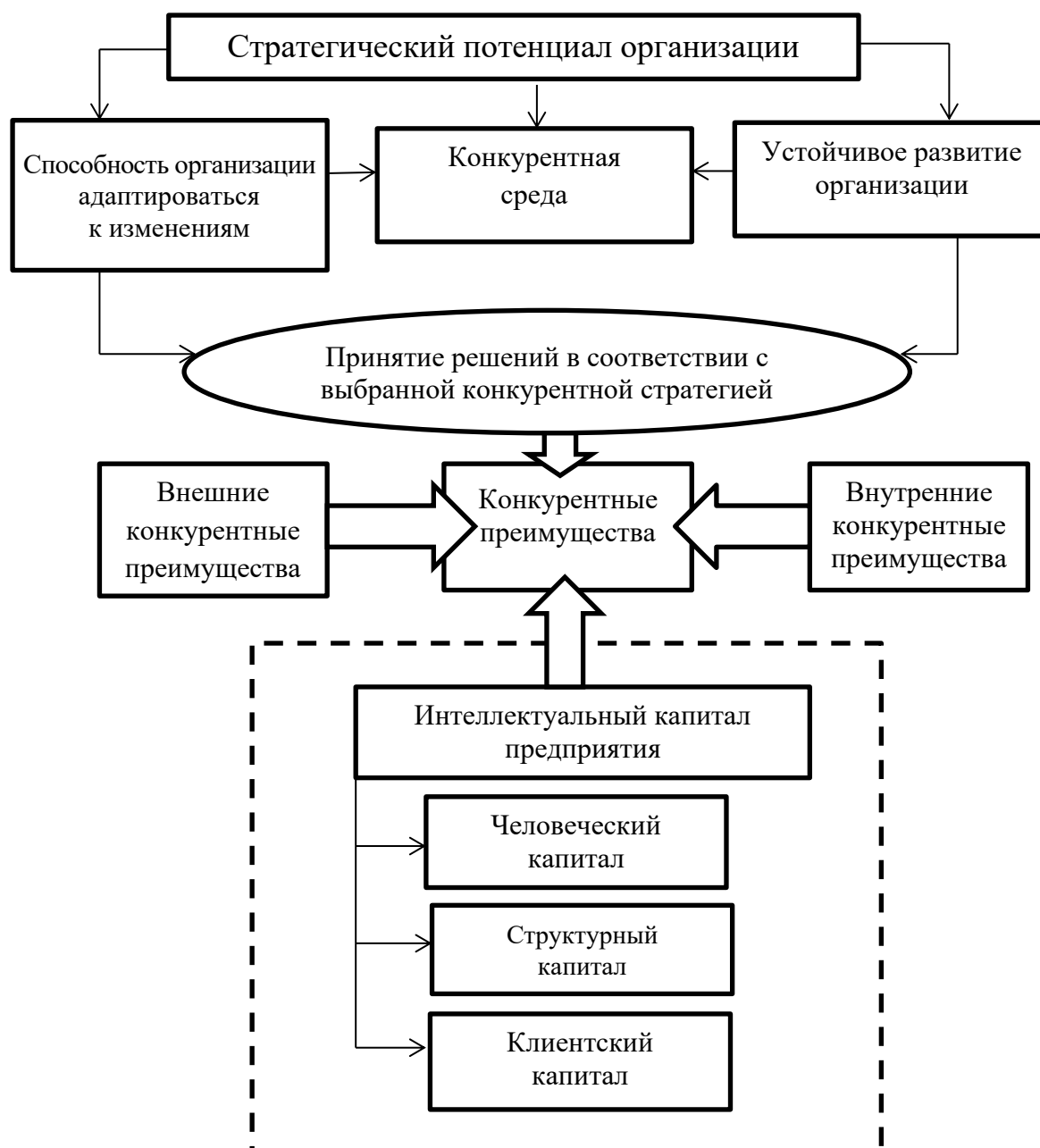


Рис. 1. Модель формирования стратегического потенциала организации

Fig. 1. Strategic planning model for organization

Интеллектуальный капитал играет ключевую роль в формировании устойчивых конкурентных преимуществ, особенно в условиях динамично меняющейся рыночной среды. Он включает в себя совокупность знаний, навыков, опыта сотрудников, а также организационную структуру, процессы и культуру, способствующие генерации и развитию стратегического потенциала организации. Модели развития интеллектуального капитала сосредоточены на систематическом управлении его компонентами с целью повышения эффективности деятельности организации. Они предусматривают идентификацию, измерение, оценку, а также инвестирование в развитие ключевых элементов интеллектуального капитала.

Модели развития интеллектуального капитала организации представлены в таблице 1.

Таблица 1. Модели развития интеллектуального капитала организации

Table 1. Models of organization's intellectual capital development

Модель	Этапы реализации	Основные характеристики	Пути реализации
Модель управления человеческим капиталом организации	Привлечение сотрудников	Создание системы оценки компетенций и потребности сотрудников	Проведение на регулярной основе тренингов, обучающих семинаров, программ подготовки и переподготовки сотрудников, основанных на результатах опроса сотрудников и выявления слабых мест в знаниях и компетенциях
	Развитие сотрудников	Разработка системы оценки потребности в повышении квалификации сотрудников, обучении	
	Удержание сотрудников	Разработка системы мотивации сотрудников	
Модель управления структурным капиталом	Внедрение современных технологий управления проектами и процессами	Ориентированность на стратегическое взаимодействие структурного капитала с общими стратегическими целями организации	Создание единой информационной платформы для организации документооборота и обмена информацией между подразделениями
Модель управления клиентским капиталом	Внедрение системы сбора и анализа данных о клиентах	Интеграция данных из различных открытых источников, таких как CRM-систем, маркетинговых платформ, инструментов аналитики и других	Создание единой системы интеграции данных о клиентах, которая позволит формировать целостное представление о потребностях, предпочтениях и интересах клиентов
	Сегментация клиентских данных по различным критериям	Анализ и выбор наиболее релевантных критериев для определенной группы клиентов	Разработка персональных стратегий для каждой группы клиентов, учитывая их потребности и уникальные способности
	Внедрение эффективной системы коммуникации с клиентами	Исследование различных каналов взаимодействия с клиентами и обеспечение согласованности во всех каналах	Обеспечение непрерывной связи с клиентами и многоканальности, а также интеграция всех каналов связи в единую систему

Анализируя модели интеллектуального капитала организации, представленные в таблице 1, важно учитывать, что каждая из них представляет собой уникальный набор принципов, методов и инструментов, направленных на укрепление конкурентных преимуществ организации и повышение ее устойчивости в динамичной внешней среде. Модель управления человеческим капиталом основана на развитии человеческого капитала, а именно знаний, навыков и компетенций сотрудников. Инвестиции в обучение способствуют повышению квалификации персонала и формированию команды квалифицированных специалистов, которые способны решать сложные задачи и адаптироваться к изменениям внешней среды.

Не менее важной является модель управления структурным капиталом. Организационные процессы, базы данных, информационные системы, патенты и другие нематери-

альные активы, обеспечивающие эффективное функционирование организации, являются ключевыми аспектами данной модели. Усовершенствование организационных процессов, внедрение современных технологий и создание эффективной системы управления знаниями позволяют организации повысить свою производительность и конкурентоспособность.

Модель управления клиентским капиталом, которая включает лояльность клиентов, репутацию бренда и партнерские отношения, также является важным компонентом развития интеллектуального капитала. Укрепление долгосрочных отношений с клиентами, предоставление качественного обслуживания и формирование позитивного имиджа позволяют организации удерживать свои позиции на рынке и привлечь новых клиентов.

Следует отметить, что существует четкая взаимосвязь между компонентами интеллектуального капитала и стратегическим потенциалом организации. Каждый компонент вносит свой определенный вклад в формирование конкурентных преимуществ организации и определяет способность организации адаптироваться к изменениям внешней среды. Стратегический потенциал определяется способностью выявлять и использовать определенные возможности, избегать угроз и эффективно использовать ресурсы для достижения основных целей.

Успешное формирование и развитие стратегического потенциала организации на основе интеллектуального капитала требует эффективной системы измерения и мониторинга. Организациям рекомендуется разработать систему показателей, которая позволит оценить прогресс в развитии интеллектуального капитала и его влияние на результаты деятельности. Данная система показателей может включать в себя оценку уровня инновационной активности, скорости внедрения новых технологий, оценку уровня удовлетворенности клиентов и сотрудников организации и финансовые показатели, которые отражают эффективность использования интеллектуального капитала. Очевидно, что современная система стратегического управления должна содержать элементы и включать процессы, способствующие быстрому реагированию на изменения среды и принятию стратегических решений в соответствии с закономерностями развития открытых социально-экономических систем, обеспечивать проактивное поведение и своевременную смену модели бизнеса в точке бифуркации, противодействовать отставанию внутренних изменений от внешних [15].

Интеграция интеллектуального капитала в стратегическое управление должна стать целью организаций, которые стремятся к развитию и эффективному использованию своих ресурсов. Эффективное управление интеллектуальным капиталом требует комплексного и системного подхода, который позволит организациям выявлять и максимально использовать свои основные ресурсы для достижения стратегических целей. Инвестиции в развитие человеческого капитала, совершенствование организационных структур, укрепление взаимоотношений с клиентами являются ключевыми элементами для повышения стратегического потенциала организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязь интеллектуального капитала и стратегического потенциала динамична и имеет потенциальные возможности постоянно развиваться. Организации должны постоянно адаптировать свои стратегии к меняющимся условиям внешней среды и потребностям рынка. Данный процесс требует гибкости, инновационного развития и способности к постоянному развитию. Важным этапом успешных организаций является создание культуры непрерывного обучения и развития, разработки и внедрения системы обмена

знаниями и опытом, а также активного вовлечения сотрудников в процесс разработки стратегий развития организации. Отсюда следует вывод, что интеллектуальный капитал и стратегический потенциал имеют прямую взаимосвязь, а также являются взаимодополняющими элементами организации. Эффективное управление интеллектуальным капиталом позволяет организациям формировать и развивать свой стратегический потенциал, при этом обеспечивая устойчивое конкурентное преимущество. Организации, которые развивают свои интеллектуальные активы, находятся в более выгодном положении для достижения устойчивого роста и успешного развития в постоянно меняющейся рыночной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стюарт Т. А.* Интеллектуальный капитал. Новый источник богатства организации: пер. с англ. М., 2007. С. 12.
2. *Попов С. А.* О стратегии и интеллектуальном капитале в эпоху экономики знаний. Размышления по поводу книги Лейфа Эдвинссона «Корпоративная долгота» // Экономические стратегии. 2008. Т. 10. № 4(62). С. 126–132. EDN: TBYLLN
3. *Брукинг Э.* Интеллектуальный капитал: пер. с англ. / под ред. Л. Н. Ковачина. СПб.: Питер, 2001.
4. *Козырев А. Н.* Интеллектуальный капитал [Электронный ресурс]. http://www.labrate.ru/kozyrev/kozyrev_doklad_i-capital_2004.htm
5. *Иноземцев В. Л.* Современное постиндустриальное общество: природа, противоречия, перспективы: учебное пособие. М.: Логос, 2000. 304 с.
6. *Леонтьев Б. Б.* Цена интеллекта. Интеллектуальный капитал в российском бизнесе. М.: Акционер, 2002. 200 с.
7. *Кононов А. А., Нурулин Ю. Р.* Разработка стратегии развития организации в условиях неопределенности и нестабильности // Прогрессивная экономика. 2024. № 6. С. 186–198. DOI: 10.54861/27131211_2024_6_186
8. *Лосева О. В., Абдикеев Н. М.* Концепция человеческого интеллектуального капитала в условиях цифровизации экономики // Экономика. Налоги. Право. 2021. № 14(2). С. 72–83. DOI: 10.26794/1999-849X-2021-14-2-72-83
9. *Воронов А. С., Леонтьева Л. С., Орлова Л. Н., Сухарева М. А.* Оценка состояния человеческого капитала на этапе шестого технологического уклада: гонка за региональным лидером // Вестник Московского университета. Серия 21: Управление (государство и общество). 2022. № 1. С. 41–63. EDN: BACTDN
10. *Тугускина Г. Н.* Управление интеллектуальным капиталом организации: учебное пособие. Пенза: Изд-во ПГУ, 2021. 138 с.
11. *Шумилина В. Е.* Интеллектуальный капитал: понятие, особенности, оценка // Наука и мир. 2023. № 3. С. 6–10. DOI: 10.26526/2307-9401-2023-3-6-10
12. *Сулейманкадиева А. Э., Фомичева Н. М.* Экономика и управление интеллектуальным капиталом. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2020. 183 с.
13. *Коваленко Н. В., Дьячков Д. В.* Интеллектуальный капитал: сущность, структура // Экономический вестник Донбасского государственного технического института. 2022. № 13. С. 19–25. EDN: TJTDMQ
14. *Быстров А. В., Михеева Т. В.* Особенности управления компонентами интеллектуального капитала в целях влияния на результаты хозяйственной деятельности промышленного предприятия // Финансовые рынки и банки. 2022. № 1. С. 31–35. EDN: LACYZY

15. Ибрагимова Р. С., Головкин Д. С. Экономический потенциал как концепция стратегического управления промышленным предприятием // Вестник Пермского университета. Сер. Экономика. 2022. Т. 17. № 4. С. 474–486. DOI: 10.17072/1994-9960-2022-4-474-486

REFERENCES

1. Stewart T.A. Intellectual capital. A new source of wealth of an organization: translated from English Moscow, 2007. P. 12.
2. Popov S.A. On strategy and intellectual capital in the era of the knowledge economy. Reflections on Leif Edvinsson's book "Corporate Debt". *Economic Strategies*, 2008. Vol. 10. No. 4(62). Pp. 126–132. EDN: TBYLLN. (In Russian)
3. Brooking E. Intellectual capital: translated from English / edited by L.N. Kovachin. St. Petersburg: Peter, 2001.
4. Kozyrev A.N. Intellectual capital. [Electronic resource]. http://www.labrate.ru/kozyrev/kozyrev_doklad_i-capital_2004.htm. (In Russian)
5. Inozemtsev V.L. *Sovremennoye postindustrial'noye obshchestvo: priroda, protivorechiya, perspektivy: uchebnoye posobiye* [Modern post-industrial society: nature, contradictions, prospects: textbook]. Moscow: Logos, 2000. 304 p. (In Russian)
6. Leontiev B.B. *Tsena intellekta. Intellektual'nyy kapital v rossiyskom biznese* [The Price of Intelligence. Intellectual Capital in Russian Business]. Moscow: Aktsioner Publishing Center, 2002. 200 p. (In Russian)
7. Kononov A.A., Nurulin Yu.R. Development of an organization's development strategy in conditions of uncertainty and instability. *Progressive Economy*. 2024. No. 6. DOI: 10.54861/27131211_2024_6_186. (In Russian)
8. Loseva O.V., Abdikeev N.M. Concept of human intellectual capital in the context of digitalization of the economy. *Economics. Taxes. Law*. 2021. No. 14(2). Pp. 72–83. DOI: 10.26794/1999-849X 2021-14-2-72-83. (In Russian)
9. Voronov A.S., Leontyeva L.S., Orlova L.N., Sukhareva M.A. Assessment of state of human capital at stage of sixth technological order: the race for a regional leader. *Moscow University Bulletin. Series 21. Public Administration*. 2022. No. 1. Pp. 41–63. EDN: BACTDN. (In Russian)
10. Tuguskina G.N. *Upravleniye intellektual'nym kapitalom organizatsii: uchebnoye posobiye* [Management of an organization's intellectual capital: a textbook]. Penza: Izd-vo PGU, 2021. 138 p. (In Russian)
11. Shumilina V.E. Intellectual capital: concept, features, and assessment. *Nauka i mir* [Science and the World]. 2023. No. 3. Pp. 6–10. DOI: 10.26526/2307-9401-2023-3-6-10. (In Russian)
12. Suleimankadiyeva A.E., Fomicheva N.M. *Ekonomika i upravleniye intellektual'nym kapitalom* [Economics and Management of Intellectual Capital]. St. Petersburg: SPbSUE Publishing House, 2020. 183 p. (In Russian)
13. Kovalenko N.V., Dyachkov D.V. Intellectual capital: essence and structure. *Economic Bulletin of Donbass State Technical Institute*. 2022. No. 13. Pp. 19–25. EDN: TJTDMQ
14. Bystrov A.V., Mikheeva T.V. Features of managing the components of intellectual capital in order to influence the results of an industrial enterprise's economic activity. *Financial Markets and Banks*. 2022. No. 1. Pp. 31–35. EDN: LACYZY. (In Russian)
15. Ibragimova R.S., Golovkin D.S. Economic potential as a concept of strategic management of an industrial enterprise. *Bulletin of Perm University. Ser. Economics*. 2022. Vol. 17. No. 4. Pp. 474–486. DOI: 10.17072/1994-9960-2022-4-474-486. (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 with no external funding.

Информация об авторах

Ерёменко Максим Сергеевич, аспирант, Донбасский государственный технический университет;

294204, Россия, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;

sv8003@mail.ru, SPIN-код: 7080-3909

Кобзева Екатерина Васильевна, канд. экон. наук, доцент кафедры менеджмента, Донбасский государственный технический университет;

294204, Россия, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;

kobzeva_kv@mail.ru, SPIN-код: 1425-4962

Information about the authors

Maxim S. Yeremenko, Postgraduate Student, Donbass State Technical University;

16 Lenin avenue, Alchevsk, Lugansk People's Republic, 294204, Russia;

sv8003@mail.ru, SPIN-code: 7080-3909

Ekaterina V. Kobzeva, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Management, Donbass State Technical University;

16 Lenin avenue, Alchevsk, Lugansk People's Republic, 294204, Russia;

kobzeva_kv@mail.ru, SPIN-code: 1425-4962

УДК 069.01:902.2

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-285-296

EDN: STDROB

Научная статья

К проблеме музеефикации археологических памятников

И. Х. Гукемух

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

Аннотация. Статья актуализирует проблему сохранности и музеефикации объектов историко-культурного наследия (ИКН) в Кабардино-Балкарии. По мнению автора, опыт современной археологии и музееведения (музеологии) показывает, что музеефикация – наиболее эффективный способ сохранения объектов ИКН и важная составляющая работы по воспитанию патриотизма у граждан республики. В статье рассматриваются основные принципы и методы музеефикации, а также объекты на территории региона, которые могли бы быть музеефицированы и использованы в целях образовательного туризма. Автор также приводит примеры разрушения памятников федерального значения и объектов ИКН по причине несоблюдения одного или нескольких принципов музеефикации.

Ключевые слова: музеефикация, объекты историко-культурного наследия, методы музеефикации, памятники археологии, курганы, историческая память

Поступила 08.07.2025, одобрена после рецензирования 08.09.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Гукемух И. Х. К проблеме музеефикации археологических памятников // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 285–296. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-285-296

Original article

On issue of museumification of archaeological sites

I.Kh. Gukemukh

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

Abstract. The article addresses the issue of preserving and museumifying historical and cultural heritage (HCH) objects in Kabardino-Balkaria. According to the author, modern archeological and museological experience shows that museumification is the most effective way to preserve cultural heritage objects and an essential component of work on fostering patriotism among citizens of the country. The paper considers the basic principles and methods of museumification, as well as the objects in the region that could be museumified and used for educational tourism purposes. The author also provides examples of the destruction of federal monuments and HCH sites due to non-compliance with one or more principles of museumification.

Keywords: museification, objects of historical and cultural heritage, methods of museification, archaeological monuments, burial mounds, historical memory

Submitted 08.07.2025, approved after reviewing 08.09.2025, accepted for publication 25.09.2025

For citation. Gukemukh I.Kh. On issue of museumification of archaeological sites. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 285–296. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-285-296

ВВЕДЕНИЕ

Рост национального самосознания народов РФ, возрождение интереса к отечественной истории, обозначившиеся к концу 80-х гг. прошлого столетия, актуализировали проблемы *выявления, сохранения и использования* археологического наследия. Однако на протяжении многих лет в советской, а затем и в российской археологии акцент делался главным образом на первые две составляющие этой триады, а под «использованием» подразумевалось лишь изучение объектов археологического наследия специалистами. Музеефикация, в данном случае «превращение недвижимых памятников археологии в объекты музейного показа»¹, официальной отечественной наукой не всегда поощрялась. Такая ситуация обуславливалась экономическими и идеологическими соображениями, а также неразвитостью сферы образовательного туризма. Кроме прочего, проблемы музеефикации археологических объектов *in situ* (на месте) всегда были обусловлены специфическими свойствами предметов и сооружений, долгое время скрытых в земле и начинающих быстро разрушаться в иных условиях.

После ратификации (2011 г.) Европейской конвенции об охране археологического наследия² и принятия соответствующего закона положение стало меняться к лучшему³. Однако процесс этот идет медленно, и до сих пор тысячи объектов во всех регионах страны продолжают разрушаться.

В этих обстоятельствах сохранение и последующая музеефикация объектов археологического наследия – важнейшая задача, которая стоит перед специалистами, властями и обществом.

Актуальность статьи состоит в том, что музеефикация является одним из наиболее перспективных способов сохранения *историко-культурного наследия* (ИКН), популяризации исторических знаний и развития образовательного и этнографического туризма.

Научная новизна представленного обзора заключается в уточнении методики музеефикации археологических объектов и применении ее к реальным объектам наследия, сохраняющимся в Кабардино-Балкарии.

На территории региона расположены сотни уже выявленных, но до сих пор не музеефицированных недвижимых археологических объектов. Многие из них находятся на грани полного уничтожения.

Памятники, находящиеся на открытом воздухе, разрушаются под воздействием атмосферных осадков и смены температур.

Продолжается процесс ограбления археологических памятников т.н. «черными копателями», которые своей деятельностью наносят огромный ущерб отечественной исторической науке.

Наряду с этим в отношении археологических памятников идет процесс сознательного и неосознанного вандализма (разрушение ради разрушения, разрушение в целях уничтожения исторической памяти, разрушение в частных хозяйственных интересах).

До сих пор не учтен значительный туристический и как следствие коммерческий потенциал этих объектов. Несмотря на большое количество археологических памятников на территории КБР, историко-культурный туризм в регионе как направление находится в неудовлетворительном состоянии.

¹Музейные термины // Терминологические проблемы музееведения: Сб. тр. / ЦМР СССР. М., 1986. С. 78.

²Европейская конвенция об охране археологического наследия (пересмотренная) 16 января 1992 года. <https://rm.coe.int/168007bd4d>

³Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации (с изменениями на 26 декабря 2024 года)». <https://docs.cntd.ru/document/901820936>

Музеефицированных памятников крайне мало, охраняются они плохо (часто отсутствует элементарная система видеонаблюдения и сигнализации, не говоря уже о физической охране), не хватает квалифицированных гидов. Ситуация усугубляется еще и тем, что в отсутствие подготовленных кадров «экскурсии» часто проводятся самодельными гидами из числа местного населения. Не обладая специальными знаниями и заинтересованные лишь в привлечении туристов, они зачастую искажают историю края, что в таком сложном регионе, как Кабардино-Балкария, потенциально может привести к обострению межэтнических и межконфессиональных отношений.

Цель публикации состоит в рассмотрении возможных направлений, принципов и методов музеефикации объектов культурно-исторического наследия, находящихся на территории КБР.

НАПРАВЛЕНИЯ, ПРИНЦИПЫ, МЕТОДЫ

Существует два *основных* направления музеефикации:

- накопление артефактов для пополнения существующих и создания новых музеев;
- музеефикация на местах, то есть превращение объектов историко-культурного наследия в мемориалы, музеи под открытым небом, особые зоны, заповедники и т.п.

Нас главным образом интересует музеефикация на местах, которую в музеологии принято обозначать как «*in situ*» (от лат. «на месте»). Принципы и методы ее осуществления уже опробованы на практике в разных странах.

Основные универсальные принципы музеефикации обозначены в международных документах. Это:

- *сохранность*,
- *аутентичность и научная достоверность*,
- *единство с окружающим природным ландшафтом*,
- *повторная аккультурация* [1, с. 59].

Некоторые исследователи к вышеупомянутым принципам добавляли также принципы *исторической значимости (ценности) и доступности для посещения* [2, с. 110–115], *принцип маркирующей визуализации*⁴.

При этом независимо от выбора метода музеефикации приоритет остается за *консервацией* (в случае невозможности по каким-либо причинам осуществить полноценную музеефикацию и для затруднения доступа грабителям) [1, с. 60]. На наш взгляд, к данному перечню необходимо добавить и *принцип вовлеченности властей (региональных, муниципальных)* в процесс восстановления памятников *in situ* – для документального сопровождения и материального обеспечения работ.

В мировой практике применяются следующие методы музеефикации недвижимых памятников археологии:

- *метод «колпака»*;
- *метод натуральной консервации*;
- *метод реконструктивно-археологического макетирования*.

В нынешних технологических реалиях правомерно говорить и о *синтетическом методе*, то есть об использовании в процессе работы сразу нескольких практик, а также о *методе виртуализации (как основного или вспомогательного)*.

⁴Принципы музеефикации Труворова городища // Сайт Археологического общества Псковской области. <http://arheologpskov.ru/index.php/truvorovo-gorodishche/muzeefikatsiya/printsipy-muzeefikatsii> (дата обращения: 27.05.2025).

Эти методы общепризнаны (кроме двух последних) в научном сообществе и неоднократно описаны в специальной литературе, поэтому остановимся на них подробнее и применительно к условиям Кабардино-Балкарии.

Метод «колпака» заключается в устройстве защитных сооружений (защитные навесы, павильоны и др.) над раскопом или открыто стоящим объектом. Примером могут служить руины собора XII в. н.э. в музее Хедмарк (г. Хамар, Норвегия), накрытые таким колпаком из стекла и стали (рис. 1).



Рис. 1. Руины собора (1150–1567 гг.). Музей Хедмарк. Хамар [7, с. 40]

Fig. 1. Ruins of the Cathedral (1150–1567). Hedmark Museum. Hamar [7, p. 40]

В мировой музейной практике существуют примеры удачного применения метода «колпака» и в более масштабном варианте, когда над объектом сооружаются целые музеи или когда археологические памятники, обнаруженные в ходе строительства современных объектов, становятся их составной частью. Такова, например, станция метро-музей Монастираки в Афинах (рис. 2). В ходе ее строительства были обнаружены мастерские V в. до н.э., захоронения микенского и византийского периода, античные изваяния, общественные бани и другие объекты.

Не менее интересное решение было найдено инженерами и музейщиками в ходе сооружения навеса и помоста для посетителей над культовым комплексом эпохи неолита на холме Гебекли-Тепе (Турция). Конструкция защищает расчищенный раскоп и туристов от солнца и осадков и дает возможность последним хорошо рассмотреть артефакты (рис. 3). Есть и другие примеры.

Метод «колпака» имеет свои плюсы и минусы. Главные преимущества этого метода состоят в защищенности объекта от внешнего (природного и антропогенного) воздействия; удобстве при проведении традиционных реставрационных и исследовательских работ; возможности постоянного доступа к памятнику.

Недостаток данного метода заключается в том, что такие сооружения неизбежно искажают облик объекта и естественную среду, в которой он располагается.

Для минимизации искажений необходимо тщательно исследовать объект и детально продумать архитектурную форму сооружения, его оптимальные размеры и материалы [3, с. 40].

Возведение таких «колпаков» над недвижимыми археологическими объектами допустимо лишь в качестве крайней меры, препятствующей их уничтожению.



Рис. 2. Станция-музей Монастираки (переход). Остатки древних зданий. Афины [3, с. 42]

Fig. 2. Monastiraki Station Museum (crossing). Remains of ancient buildings. Athens [3, p. 42]

В настоящее время сооружение громоздких и дорогостоящих конструкций над археологическими памятниками, находящимися на территории КБР, вряд ли оправданно. Такие известные памятники, как *Нальчикская подкурганная гробница III тыс. до н. э.* (территория сквера «Ореховая роща» в юго-западном р-не г. Нальчика) или *Нальчикский неолитический могильник IV–III тыс. до н. э.* (территория 1-й Городской клинической больницы г. Нальчика), которые располагались в черте города и могли бы стать туристскими объектами, были разрушены еще до начала раскопок (сохранившиеся в них артефакты экспонируются в зале археологии ГКУК «Национальный музей КБР»). То же самое можно сказать и о значительном количестве других археологических объектов, разрушенных в ходе позднейшей застройки и хозяйственной деятельности.



Рис. 3. Гебекли-Тепе: археологический памятник – культовый комплекс эпохи докерамического неолита. Юго-Восточная Анатолия. Турция⁵

Fig. 3. Gobekli Tepe: archaeological cult complex of the Pre-Pottery Neolithic era. Southeastern Anatolia, Türkiye

⁵Гебекли-Тепе. Вопросы о человечестве // Сайт Orange traveler <https://orange-traveler.com/travel-blog/dostoprimechatelnosti/gebekle-tepe/>

Однако устройство таких конструкций в будущем вполне вероятно.

Метод натурной (или натуральной) консервации (который так же, как и метод «колпака», следует отнести к музеефикации «*in situ*») заключается в сохранении памятника археологии в его настоящем виде. Объект фиксируется на возможно длительный срок посредством консервационных технологий (строительных, физико-химических и т.д.). Такой метод чаще всего используется при музеефикации руинных остатков, которые подвергаются воздействию осадков и перепадов температур. Один из его минусов состоит в том, что применяемые в таких случаях консервирующие материалы несовершенны, а частые пропитки специальными химсоставами легко могут привести к быстрому разрушению объекта. Сложность метода состоит в том, что для каждого из применявшихся в древности строительных материалов необходимо подобрать отдельную технологию консервации.

Метод натурной консервации оптимален при музеефикации недвижимого археологического объекта, так как сохраняет его связь с природной и культурной средой.

Примерами успешной натурной консервации являются Археологический заповедник «Горгиппия», расположенный под открытым небом в черте города Анапы (рис. 4) и руины древнего Херсонеса в Севастополе (рис. 5).

На территории КБР натурная консервация могла бы быть применена в отношении таких значимых для сохранения национальной памяти объектов, как урочище Кузанако и некрополь Атажукиных [4, с. 21–28]. Для этого на первом этапе достаточно было бы обнести территории, на которых находятся еще сохранившиеся памятники, оградой и снабдить информировующими табличками.



Рис. 4. Руины античной Горгиппии. Археологический заповедник «Горгиппия». Анапа⁶

Fig. 4. Ruins of ancient Gorgippia. Archaeological reserve "Gorgippia". Anapa

⁶Сайт санатория «Родник» города-курорта Анапа. <https://anapa-rodnik.com/kurort-anapa/dostoprimechatelnosti-anapy/arxeologicheskij-muzej-gorgippiya.html> (дата обращения: 01. 06. 2025).

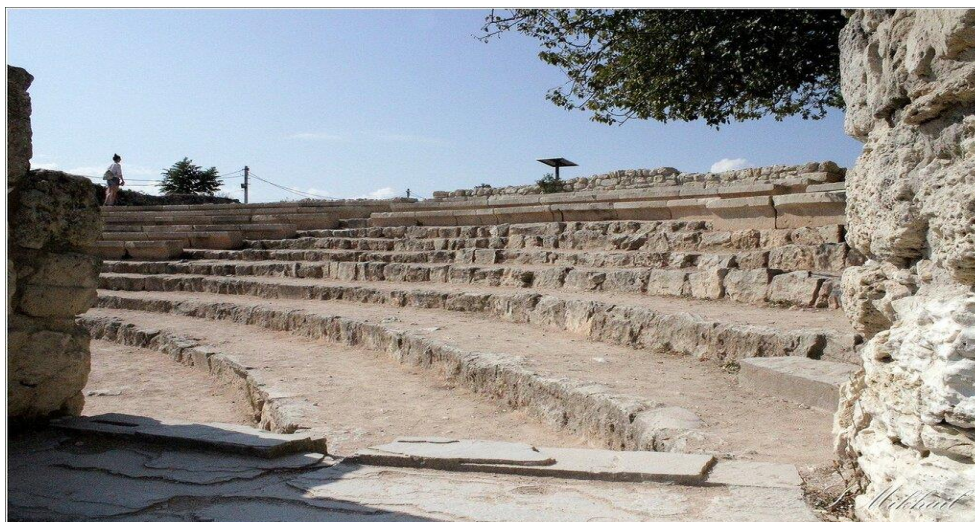


Рис. 5. Античный театр в Херсонесе. Музей-заповедник «Херсонес Таврический». Севастополь⁷

Fig. 5. Ancient theatre in Chersonesos. Museum-Reserve "Tauric Chersonesos". Sevastopol

Метод реконструктивно-археологического макетирования заключается в восстановлении утраченного (частично или полностью) памятника на его историческом месте. При этом наиболее древние и ценные фрагменты памятника, извлеченные из земли, экспонируются в перекрытых траншеях, подвалах и т.п. Такой метод музеефикации предусматривает использование аутентичных материалов и информации в виде дошедших до нас чертежей, зарисовок, фотографий, описаний и проч. Примером может служить реплика греко-скифской усадьбы на территории городища Кара-Тобе (с. Прибрежное, Сакский район, Крым), просуществовавшего с IV в. до н.э. по начало II в. н.э. (рис. 6). Указанная реплика была сооружена по образцам традиционных скифских построек и с соблюдением применявшихся скифами технологий.



Рис. 6. Реплика греко-скифской усадьбы Кара-Тобе. Крым [3, с. 47]

Fig. 6. Replica of a Greco-Scythian estate Kara-Tobe. Crimea [3, p. 47]

⁷Сайт livejournal. Фото: <https://russiantowns.livejournal.com/5941747.html> (дата обращения: 03.06.2025).

Этот метод, по нашему мнению, мог бы быть применен для воссоздания и музеефикации такого известного по историческим источникам объекта, как Татартупский минарет и шире – соборная мечеть, действовавшая здесь со времен Золотой Орды (Верхний Джулат) (рис. 7). Известно, что этот минарет обрушился летом 1981 года и причиной обрушения послужили «грубейшие нарушения инструкций по производству работ», допущенные реставраторами из специальной научно-реставрационной мастерской СО АССР [5]. Несмотря на тот факт, что данный объект сегодня находится на территории соседней РСО-Алании, в постордынский период эти земли уже были частью средневековой Кабарды, а значит, и ее истории. Татартуп в сознании кабардинцев (как и в сознании соседних народов) имел сакральное значение как место жертвоприношений, клятв и заключения договоров. К числу связанных с этим местом исторических событий можно отнести и сражение между отрядом царской армии полковника Нагеля и войском шейха Мансура (Ушурмы), которое произошло осенью 1785 года недалеко от развалин Татартупа⁸.

Археологический комплекс Нижний Джулат (п. Джулат, КБР) является одним из опорных памятников для изучения истории Северного Кавказа сарматского времени, раннего средневековья и ордынского периода. Эта местность в апреле 1395 года стала ареной крупномасштабного сражения между войсками золотоордынского хана Тохтамыша и среднеазиатского эмира Тимура, в котором Тохтамыш был наголову разбит⁹.

Раскопки и исследования велись на Нижнем Джулате с разной интенсивностью в период с 1950-х по 1980-е гг. Затем наступила длительная полоса «затишья». Однако в 2018 году исследовательские работы на Нижнем Джулате были возобновлены, а в 2021 году Фонд сохранения историко-культурного наследия получил президентский грант на реализацию проекта «Историко-культурный кластер – Парк Джулат», который включал работы по восстановлению и музеефикации обоих памятников (Верхнего и Нижнего Джулата)¹⁰.

Однако дальше публикации в интернете дело не продвинулось. Срок реализации проекта истек 30.09.2021. Ненадлежащее оформление документов, по причине которого значительная часть объекта оказалась вне пределов музеефицируемой территории, привело к запрету на раскопки.

Между тем значительная площадь городища Нижний Джулат (16 га), разнообразие открытых на ней недвижимых археологических объектов (цитадель, мечеть, могильник, остатки жилых домов и т.п.) и уже добытых исследователями артефактов могли бы стать основой для создания археологического музея или парка под открытым небом. Посетители такого парка могли бы не просто ознакомиться с историей этих территорий, но и принять участие в археологических раскопках под руководством специалистов (допускается, например, в том же Гебекли-Тепе, где археологи продолжают работать). В ходе создания такого крупного объекта, как археологический парк, могут быть применены все указанные выше методы музеефикации.

⁸Википедия. Нагель Ларион Тимофеевич. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%> (дата обращения: 09.06.2025).

⁹Битва на Тереке // Сайт «Википедия» <https://ru.wikipedia.org/wiki/%>

¹⁰Фонд президентских грантов. <https://президентскиегранты.пф/public/application/item?id=3ABFE96A-ED2C-4EC8-A7D9-B62551FA9F1D> (дата обращения: 26.05.2025).



Рис. 7. Татартунский минарет. Фредерик Дюбуа де Монперэ. Путешествие вокруг Кавказа. У черкесов и абхазов, в Колхиде, в Грузии, в Армении и в Крыму. Лист XXIX из III части атласа. Париж, 1840 год [6]

Fig. 7. Tatar Minaret. Frederic Dubois de Montperet. Journey around the Caucasus. Among the Circassians and Abkhazians, in Colchis, in Georgia, in Armenia and in the Crimea. Sheet XXIX from Part III of the Atlas. Paris, 1840 [6]

Курганы КБР. Самым распространенным типом археологических памятников на территории КБР являются курганы. Традиция курганных захоронений здесь прослеживается на протяжении длительного периода – с IV тыс. до н.э. до XVII в., и они остаются наиболее перспективными объектами археологических исследований. К сожалению, это хорошо понимают и «черные копатели». Спасти эти археологические объекты от ограбления и разрушения могут либо консервация, либо музеефикация – в том или ином виде.

Среди большого количества курганных захоронений на территории региона есть весьма необычные. В частности, к таким объектам можно отнести курганный комплекс в окрестностях с. Урвань и особенно курган Ошхаца (каб: *Иуашхьацэ*, т. е. «Лесистый курган»).

Необычность этого кургана состоит в его гигантских размерах и форме. Окружность основания составляет около 400 м. Расстояние между верхней площадкой и основанием по крутому склону насыпи около 50 м. Длина окружности верхней площадки насыпи около 155 м. Форма кургана – усеченно-конусовидная, а срезанная вершина образует круглую в плане площадку, вокруг которой сохранились следы земляных укреплений, выкопанных в позднейшее время. По разным данным, первоначальная высота кургана достигала от 27 до 40 м.

Ошхаца по своей форме и величине схож с одним из крупнейших курганов эпохи неолита (первая пол. III тыс. до н.э.) – Силбери-Хилл (гр. Уилтшир, Юго-Зап. Англия), и, вероятно, до строительства укрепления на его вершине, в ходе которого она и была срезана, мог считаться крупнейшим курганом Евразии.

Для справки: Силбери-Хилл – высочайший из доисторических рукотворных курганов Европы. Высота его достигает 30 м, а диаметр окружности основания – 160 м. Курган внесен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Его назначение сих пор является предметом споров [7, с. 19].

По сведениям П. Г. Акритаса, который проводил разведку кургана Ошхаца в 1946 году, площадка на его вершине была использована, а возможно, и расширена во время Кавказской

войны, когда здесь был установлен русский редут [8, с. 310]. Остальные два кургана – Ошхакилиса (с каб. «Курган-церковь») и Ошхаджафа (с каб. «Лысый курган») имеют схожую конфигурацию (усеченный конус) но размерами уступают кургану Ошхаца (рис. 8), [7, с. 16, 20].



Рис. 8. Общий вид кургана Ошхаца [7, с. 19]

Fig. 8. General view for the Oshkhats burial mound [7, p. 19]

Сохранилось несколько легенд, связанных с этим местом. В них Ошхаца предстает как объект поклонения [7, с. 19]. Здесь отмечались праздники, связанные с аграрным циклом, в ходе которых устраивались коллективные трапезы, танцы, скачки [9].

О сакральном значении кургана Ошхаца в сознании кабардинцев говорят сообщения краеведов, информантов и местные предания. В соответствии с этими сведениями все попытки проникновения отдельных людей внутрь этого сооружения считались святотатством и приводили к фатальным для них последствиям. Сбор трав и заготовка дров на кургане, согласно сообщениям все тех же информантов, были также табуированы [7, с. 21].

Шора Ногмов сообщает, что здесь на одном из курганов в период правления императора Юстиниана находилась миссия первого греческого епископа [10, с. 90].

Урванские курганы, представляя собой древние погребально-культовые сооружения, возведенные, вероятно, в середине – второй половине I тыс. до н. э., являются также частью более поздней истории кабардинского народа и нуждаются в тщательном исследовании и музеефикации. Однако, как и в ряде других случаев, раскопки Урванских курганов могут означать их полное уничтожение, что повлечет за собой изменение всего культурно-исторического ландшафта. Вследствие этого дошедшие до нас исторические сведения (фольклорные, рукописные) останутся без «привязки к местности», а найденные в ходе раскопок артефакты будут вывезены в столичные музеи. Все это в итоге приведет к утрате кабардинским народом части его культурного наследия и исторической памяти.

Инициаторы раскопок со своей стороны обосновывают необходимость скорейшего исследования курганов угрозой грабительских раскопок, попытки которых повторяются с тревожным постоянством. По их мнению, вывоз артефактов в музеи Москвы и Санкт-Петербурга даже в том случае, если раскопки приведут к уничтожению курганов как части природного и исторического ландшафта, является «меньшим злом» по сравнению с грабительскими раскопками.

Однако, на наш взгляд, существует и третий вариант, при котором добытые в ходе раскопок Ошхаца артефакты могут занять место в экспозициях региональных музеев, а сами курганы как часть ландшафта будут восстановлены и включены в туристические маршруты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Помимо различных методов, которые могли бы применяться в процессе музеефикации памятников историко-культурного наследия, мы рассмотрели и три неудачные попытки музеефикации археологических объектов, которые в итоге могут привести к их исчезновению.

В первых двух случаях (Татартупский минарет и городище Нижний Джулат) речь идет о непрофессиональном отношении к делу, а в третьем – о сохраняющихся между археологами противоречиях в подходах. Таким образом, всем трем объектам грозит опасность полного разрушения.

Однако разрушаются и десятки других объектов. Несмотря на усилия, которые в последние годы предпринимает Управление по государственной охране объектов культурного наследия по КБР и ВООПИК (Всероссийское общество охраны истории и культуры), процесс разрушения и разграбления памятников истории и культуры в регионе продолжается. Например, только курганов на территории КБР за последние годы было уничтожено более 300¹¹.

Остановить этот процесс может лишь планомерная профессиональная музеефикация – при волевом решении властей, прозрачности для населения и под руководством специалистов. В противном случае республика неминуемо утратит существенную часть объектов историко-культурного наследия, а населяющие ее народы навсегда лишатся возможности ознакомиться с мощным пластом истории своего края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Почобут Н. А.* Основные принципы и методы музеефикации памятников археологии // Искусство и культура. 2021. № 4(44). С. 57–62.
2. *Булатов Н. М.* Принципы организации археологических музеев-заповедников // Вопросы охраны, реставрации и пропаганды памятников истории и культуры: сб. ст. М.: Министерство культуры РСФСР, НИИ культуры, 1975. Вып. 28.
3. *Живица В. В.* Музеефикация археологических памятников в черте города // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 15(67). С. 37–50.
4. *Фоменко В. А.* Некрополь Атажукиных в устье реки Гунделен у селения Заюково // Вестник КБИГИ. 2014. № 2(21). С. 21–28. <https://rep.vsu.by/bitstream/123456789/30202/1/57-62.pdf>
5. *Котляров В. Н.* Уничтожение одного из архитектурных шедевров Северного Кавказа – Татартупского минарета на Тереке. Сайт «Северо-Кавказские новости». <https://sk-news.ru/news/kultura/46537/> (дата обращения: 23.06.2025)
6. *Фредерик Дюбуа де Монперэ.* Путешествие вокруг Кавказа. У черкесов и абхазов, в Колхиде, в Грузии, в Армении и в Крыму. Лист XXIX из III части атласа. Париж, 1840 год. Репродукция. <https://kp.rusneb.ru/item/reader/>
7. *Бгажноков Б. Х., Фоменко В. А.* Курганы в окрестностях селения Урвань (Предварительные итоги экспедиции КБИГИ 2016 г.) // Вестник КБИГИ. 2016. № 4(3). С. 15–32.
8. *Акритас П. Г.* Археологическая разведка в Кабарде в 1946 г. // Ученые записки Кабардинского НИИ. Нальчик, 1947. Т. II. С. 310.
9. Информант Балкизов Пат. 1910 г.р. сел. Нартан. Из личного архива А. Думанишева.
10. *Ногмов Ш. Б.* История адыгейского народа, составленная по преданиям кабардинцев. Нальчик: Кабард.-Балкар. кн. изд-во, 1958. 239 с.

¹¹Кабардино-Балкария не может защитить курганы от варваров и разрушений // <https://kavkaz.versia.ru/kabardino-balkariya-ne-mozhet-zashhitit-kurgany-ot-varvarov>

REFERENCES

1. Pochobut N.A. Basic principles and methods of museumification of archaeological monuments. *Iskusstvo i kul'tura* [Art and Culture]. 2021. No. 4(44). Pp. 57–62. (In Russian)
2. Bulatov N.M. Principles of organization of archaeological museums-reserves. *Voprosy okhrany, restavratsii i propagandy pamyatnikov istorii i kul'tury* [Issues of protection, restoration and propaganda of historical and cultural monuments]: [collected articles]. Moscow: Ministerstvo kul'tury RSFSR, NII kul'tury, 1975. Issue 28. (In Russian)
3. Zhivitsa V.V. Museification of archaeological monuments within the city. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and Technogenic Safety]. 2019. No. 15(67). Pp. 37–50.
4. Fomenko V.A. Necropolis of the Atazhukins at the mouth of the Gundelen River near the village of Zayukovo. *Vestnik KBIGI* [Bulletin of KBIGI]. 2014. No. 2(21). Pp. 21–28. <https://rep.vsu.by/bitstream/123456789/30202/1/57-62.pdf>. (In Russian)
5. Kotlyarov V.N. Destruction of one of the architectural masterpieces of the North Caucasus – the Tatartup minaret on the Terek. *Website “North Caucasian News”*. <https://sk-news.ru/news/kultura/46537/> (accessed: 23.06.2025). (In Russian)
6. Frederic Dubois de Montperay. Journey around the Caucasus. Among the Circassians and Abkhazians, in Colchis, in Georgia, in Armenia and in the Crimea. Sheet XXIX from Part III of the atlas. Paris, 1840 god. Reproduktsiya. <https://kp.rusneb.ru/item/reader/>
7. Bgazhnokov B.Kh., Fomenko V.A. Mounds in the Vicinity of the Village of Urvan (Preliminary Results of the 2016 KBIGI Expedition). *Vestnik KBIGI* [Bulletin of KBIGI]. 2016. No. 4(3). Pp. 15–32. (In Russian)
8. Akritas P.G. Archaeological Exploration in Kabarda in 1946. *Uchenyye zapiski Kabardinskogo NII* [Scientific Notes of the Kabardin Research Institute]. Nalchik, 1947. Vol. II. P. 310.
9. *Informant Balkizov Pat. 1910 g.r. sel. Nartan. Iz lichnogo arkhiva A. Dumanisheva* [Informant Balkizov Pat. Born in 1910 in the village of Nartan. From the personal archive of A. Dumanishev]. (In Russian)
10. Nogmov Sh.B. *Istoriya adygeyskogo naroda, sostavlenneya po predaniyam kabardintsev* [History of the Adyghe People, Compiled Based on Kabardian Legends]. Nalchik: Kabard.-Balkar. kn. izd-vo, 1958. 239 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

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

УДК 811.35

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-297-304

EDN: UVXTTK

Философия героизма в романе Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета»

С. М. Алхасова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В данной статье речь идет об известном романе Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета». В работе рассматривается тема героизма как универсальная. В исследовательскую орбиту автора входит матрица сакральных тем писателя: судьба – родина – стремление к свободе – революция – Россия – Кавказ – русско-японская война.

Цель исследования – литературоведческая оценка произведения Ахмедхана Налоева, а также выявление оригинальности подачи материала в данном произведении.

Результаты. Научная новизна исследования состоит в том, что роман «Всадники рассвета» впервые подвергается обстоятельному литературоведческому анализу. До настоящего времени не было серьезных работ, посвященных данному произведению и теме. В рамках поставленной цели решены следующие задачи: исследование ключевой темы героизма как универсальной, а также других мотивов романа. Автор ставит задачи анализа художественной структуры ключевых эпизодов произведения, изучения системы образов и персоналий, прежде всего – главного героя Залимгерия Керефова, а также рассмотрения стилистических и жанровых особенностей. Кроме того, особое внимание уделяется тому, каким образом автор осмысливает исторические события начала XX века – Русско-японскую войну – через призму личностной драмы, общественных трансформаций и народного мировоззрения. Как было замечено, несмотря на значимость творчества Ахмедхана Налоева, степень научной разработанности его наследия остается крайне низкой.

Выводы. В результате исследования автор приходит к выводу, что роман «Всадники рассвета» представляет собой масштабное художественное полотно, в котором отразились ключевые события эпохи: Русско-японская война 1904–1905 годов, а также первые шаги революционного подполья в Кабарде. Тема философии героизма раскрывается через судьбы простых горцев, в частности, жителей села Хату-Анзорово, среди которых Залимгерий Керефов. Это фигура духовно зрелая, внутренняя трансформация которой символизирует пробуждение национального самосознания. Через образ этого героя автор раскрывает не только универсальную тему героизма, но и глубокие внутренние конфликты эпохи: столкновение традиционного уклада с новыми идеями, поиск нравственных ориентиров в условиях разрушающегося мира.

Ключевые слова: тема героизма, Русско-японская война, исторические события, духовная зрелость, национальное самосознание

Поступила 08.06.2025, одобрена после рецензирования 18.07.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Алхасова С. М. Философия героизма в романе Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 297–304. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-297-304

Philosophy of heroism in Akhmedkhan Naloev's novel “Riders of the Dawn”

S.M. Alkhasova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18 Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. This article is about the famous novel by Akhmedkhan Naloev "Riders of Dawn". The work explores the theme of heroism in a universal context. The author's research orbit includes the matrix of sacred themes of the writer: fate – homeland – desire for freedom – revolution – Russia – the Caucasus – the Russo-Japanese War.

Aim. The study is a literary analysis of Naloev's work, as well as an analysis of the originality and presentation of material in this work.

Results. The scientific novelty of this study lies in a thorough examination of the novel, which has not been previously subjected to a comprehensive literary analysis. Until now, there have been few serious works dedicated to this topic. The study addressed several objectives: revealing the key theme of heroism as a universal concept and incorporating other motifs observed in the novel. The author sets the task of analyzing the artistic structure of key episodes in the work, examining the system of characters and personalities, primarily the main character, Zalimgeriy Kerefov, moreover, the author considers the text stylistic and genre features. In addition, special attention is paid to how the author understands the historical events of the early 20th century – the Russo-Japanese War – through the prism of personal drama, social transformations and popular worldview. In addition, special attention is given to how the author interprets the historical events of the early 20th century – the Russo-Japanese War – through the lens of personal drama, social upheaval, and popular worldviews. As noted, despite the significance of the work of Akhmedkhan Naloev, the degree of scientific development of his heritage remains extremely low.

Conclusions. As a result of the study, the author comes to the conclusion that the novel “Riders of the Dawn” is a large-scale artistic canvas, which reflects the key events of the era: the Russo-Japanese War of 1904–1905, and the early stages of the revolutionary movement in Kabarda. The theme of the philosophy of heroism is revealed through the lives of ordinary mountain dwellers, particularly, those from the village of Khatu-Anzorovo, among whom is Zalimgeriy Kerefov, who personifies the spirit of heroism. This is a spiritually mature figure, whose internal transformation symbolizes the awakening of national self-awareness. Through the character of the hero, the author not only reveals the universal theme of heroism, but also explores the deep internal conflicts of the era including the clash between the traditional way of life and new ideas, as well as the search for moral guidance in a world that is falling apart.

Keywords: theme of heroism, Russo-Japanese War, historical events, spiritual maturity, national identity

Submitted 08.06.2025,

approved after reviewing 18.07.2025,

accepted for publication 25.09.2025

For citation. Alkhasova S.M. Philosophy of heroism in Akhmedkhan Naloev's novel “Riders of the Dawn”. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 297–304. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-297-304

Роман Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» представляет собой крупное художественное произведение, отражающее значимые исторические события начала XX века, в период Русско-японской войны 1904–1905 гг. Тогда кавказские народы оказались вовлеченными не только в военные события того времени, но и в революционные движения и подпольную борьбу.

Революционные изменения, происходившие в России, оказывали свое влияние на Кавказ, когда горские народы, порой наивно воспринимавшие внешнюю угрозу, оказывались между выбором – сохранение устоявшихся норм и современные вызовы.

Роман Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» является значимым произведением как для кабардино-черкесской литературы, так и для всей российской литературы в целом. В произведении Ахмедхана Налоева затрагиваются важнейшие морально-этические вопросы, такие как подвиг во имя светлых идеалов, преданность и верность идеям, жертвенность, моральная ответственность, которые стали основой для последующих произведений в кабардино-черкесской литературе. Роман Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» сочетает в себе богатую историческую и философскую составляющую, изображая жертвы горцев-революционеров в борьбе за справедливость и свободу. Образ Залимгерия Керефова воплощает в себе моральную стойкость и трагизм революционного героизма, а идея романа – это вечная борьба за идеалы, которая, несмотря на свою трагическую неизбежность, сохраняет смысл и ценность.

Внешнее окружение главного героя, их взаимоотношения показывают нам, насколько активно пытался Залимгерий привлечь к революционной подпольной деятельности своих товарищей. Очень яркий эпизод происходит на привокзальной площади в далеком Иркутске. Здесь поезд с добровольцами, едущий с Кавказа, остановился на сутки.

Разговор Али с Залимгерием почти немой: «шептал на ухо», «сунул листки», «спрятал за голенище» – атмосфера подполья, опасности, но абсолютного взаимопонимания, сплоченности. Композиционное значение этого эпизода на вокзале в Иркутске состоит в том, что эта небольшая, почти эпизодическая сцена выполняет сразу несколько ключевых функций: во-первых, углубляет революционный портрет Залимгерия; во-вторых, демонстрирует широту его связей, размах подполья и многонациональный характер борьбы; в-третьих, важен сам способ подачи: намек, полутона, действия без прямого объяснения, что характерно для реалистической прозы высокого уровня.

Таким образом, автор ясно обозначил тему подпольной революционной работы. Залимгерий Керефов здесь уже не просто участник событий – он одна из фигур подпольной сети, получающая агитационные материалы, возможно – инструкции, шифровки. Мы, читатели, «догадываемся», что это листовки, подпольные воззвания, но писатель не говорит этого напрямую, создавая эффект достоверности и погружения.

Именно так работает реалистическая манера повествования: мы видим не лозунги, а действия, лица, жесты.

Здесь нетрудно видеть психологическую характеристику происходящего через восприятие одного из близких друзей Залимгерия – Хатуты Тохтарова. Интересно, как подается впечатление от Али глазами Хатуты – «он показался ему странным». Это важная деталь: Хатута – не идеолог, а друг, соратник, но не посвященный во все. Он представляет позицию читателя – мы вместе с ним догадываемся, напряжены, пытаемся понять: что происходит? Кто он? Почему все так таинственно? Благодаря этому возникает эффект погружения в живую ткань времени, где ничего не объясняется открытым текстом. Символическая глубина сцены заключается здесь в том, что вся сцена – символ подпольной борьбы, «второго слоя» жизни, параллельного официальной. Ничто не происходит открыто: революция – в сердце, в поступке, в скрытом действии. Именно такой путь выбрал Залимгерий, который действует молча, подпольно. Этот эпизод – звено в развитии линии героя, подтверждение того, что Залимгерий не только воин и офицер, но и мыслящий человек, включенный в борьбу идей; действует не стихийно, а сознательно, опираясь на связи, структуру, подпольную сеть. Он остается собой, не теряя достоинства, и в таких сценах Налоев показывает: он не марионетка – он человек, осознанно идущий по пути служения народу.

Итак, иркутская сцена с Али Черным – одна из «молчаливых сцен» романа, в которых реальная революционная деятельность показана не словами, а действиями и атмосферой. Залимгерий здесь предстает как глубоко включенный в подпольную борьбу, связанный с людьми разных народов и судеб, как настоящий герой своего времени.

В финале романа «Всадники рассвета» происходят несколько очень сильных и ярких эпизодов с Залимгерием: его размышления перед казнью, суд, последнее письмо жене и сама казнь.

Финал «Всадников рассвета» Ахмедхана Налоева – это вершина трагического накала всего произведения. Сцены с Залимгерием в последние дни его жизни не только придают глубину образу героя, но и являются кульминацией всей художественной композиции романа.

В тюремных размышлениях Залимгерий предстает не как романтический герой-революционер, а как человек, глубоко осознавший смысл того, на что он пошел. Он не боится смерти, но переживает за идею, за своих товарищей, за то, будет ли борьба продолжена. В этих строках – высокая степень внутренней зрелости: он говорит не столько о себе, сколько о народе, о будущем.

Это философия человека, который прошел путь от молодого подпольщика до зрелого борца, готового умереть за правое дело.

На суде Залимгерий не оправдывается. Он говорит с достоинством, спокойствием и убежденностью. Здесь проявляется моральное превосходство героя над обвинителями: даже если его казнят, правда останется за ним. Слова Залимгерия звучат как обвинение системе. Суд словно бы является трибуной, с которой он говорит правду.

Письмо жене – это самый человеческий момент в финале. Залимгерий в нем не герой и не революционер, а любящий муж. Оно написано не со страхом, а с теплотой, с мыслью о любимой женщине и с верой в будущее. Здесь чувствуются и боль прощания, и стойкость духа. Этот эпизод подчеркивает, что Залимгерий не только борец, но и человек с глубокой духовной культурой.

И последний мазок к образу Залимгерия Керефова – это его казнь через расстрел. Сцена казни описана как-то сдержанно. Автор не смакует детали, не показывает палачей негодяями. Единственная деталь: очень хриплый голос у офицера, зачитывающего приговор. Автор романа делает акцент на самом герое – как он держится с достоинством. И вот последний взгляд героя. После выстрела наступает тишина... И эта тишина символизирует вечность подвига. Залимгерий умирает, но его идеи живут. И в этом главный смысл финала романа. Его финал трагичен, но Залимгерий Керефов завершает свой путь с чувством внутреннего торжества – его жизнь имеет смысл, его подвиг не напрасен.

Залимгерий выведен автором как фигура героического масштаба. Его биография развивается по классической модели становления революционного героя: от юношеской увлеченности к осознанной подпольной борьбе, от участия в революционной агитации к жертве за идею. Этот путь сопровождается внутренними нравственными рефлексиями, которые придают образу Залимгерия философскую глубину.

Решимость героя проявляется не только в поступках, но и в способности выдержать давление суда и тюремное заключение. Его последние размышления перед казнью, исполненные спокойной уверенности, как и прощальное письмо жене, раскрывают фигуру не фанатика, а глубоко человеческого и нравственного борца. Через образ Залимгерия Ахмедхан Налоев утверждает архетип героя-мученика, личность, чья гибель становится нравственной победой над системой.

Размышления Залимгерия в камере тюрьмы перед казнью очень актуальны и сегодня: *«Человек, человек! Кто ты? Ошибка природы или бог?»*, – пытался он ответить самому себе. – *«Ты жаждешь мира, а сам идешь на войну. Да, ты не брезгуешь проливать кровь*

ближних своих. У тебя всегда находятся доводы, чтобы оправдать себя. Война очень глупа: люди на ней убивают подобных себе» [2, с. 252].

Это подлинно философское, глубокое и до боли актуальное размышление. Оно не только раскрывает внутренний мир Залимгерия, но и превращает его образ в голос нравственной совести, обращенный ко всем людям, независимо от времени и эпохи.

Философия человека в предсмертных размышлениях Залимгерия – это трагедия ответственности перед всем миром.

В предсмертных размышлениях Залимгерия, записанных автором в форме внутреннего монолога, слышится не только голос отдельного героя, но голос всей гуманистической традиции литературы, которая ставит вопрос: что есть человек? *«Человек, человек! Кто ты? Ошибка природы или бог?»* [2].

С первых строк звучит онтологическое сомнение, глубоко связанное с философской традицией от античности до XX века. Вопрос, поставленный Залимгерием, – не риторика, а крик совести: в нем звучат отчаяние и одновременно стремление к истине. Человек предстает как существо двойственной природы: он способен на созидание, но одновременно – на разрушение: *«Ты жаждешь мира, а сам идешь на войну»* [1].

Это суждение – квинтэссенция нравственного парадокса, в котором живет человечество: стремясь к гармонии, мы раз за разом выбираем путь насилия. Налоев здесь буквально формулирует великую моральную дилемму: человек способен оправдать любое зло во имя «высшей цели», но именно в этом и заключен его крах: *«Да, ты не брезгуешь проливать кровь ближних своих. У тебя всегда находятся доводы, чтобы оправдать себя»* [2, с. 252]. Здесь резкая, почти библейская критика. Человек не только способен к насилию, но и наделен способностью рационализировать зло, оправдывать агрессию идеологией, политикой, страхом или мнимой справедливостью. Это делает его опаснее зверя – потому что его убийство сопровождается оправданием: *«Война очень глупа: люди на ней убивают подобных себе»* [2]. Заключительное суждение – простое в своей очевидности. Оно звучит как приговор самой цивилизации, погрязшей в бесконечных конфликтах. В этом Залимгерий ближе всего к героям Достоевского и Толстого – он переживает не только личную трагедию, но трагедию мира как такового.

Слова Залимгерия звучат так, словно сказаны сегодня. В эпоху, когда войны продолжают разжигаться, а человек все так же оправдывает насилие «высшими» причинами, его размышления становятся этическим манифестом. Он не политик, не проповедник, а человек, стоящий перед смертью, и потому его слова особенно весомы.

Этот внутренний монолог Залимгерия – не просто элемент художественного текста, а глубокая нравственная декларация. Он поднимает вопросы, которые актуальны во все времена: *«Что делает человека человеком?»*, *«Почему, стремясь к миру, он вновь и вновь идет на войну?»*, *«Можно ли оправдать насилие, даже если у него есть доводы?»*, – эти вопросы Залимгерий задает сам себе [3]. Через этот монолог Ахмедхан Налоев делает Залимгерия не только героем своего времени, но и носителем универсального морального послания, обращенного ко всем поколениям.

Данный фрагмент аналогичен размышлениям в русской литературе, например, внутренним монологам Пьера Безухова («Война и мир») или Ивана Карамазова («Братья Карамазовы»). Таким образом, А. Налоев продолжает литературную традицию.

Еще сильнее и трагичнее дальнейшие размышлений Залимгерия: *«Человеческая жизнь! А что такое человеческая жизнь? Родился, пожил, умер. Вот и все. Возможно, бог создал меня с целью познать самого себя? Познавая, он полюбил самого себя? И эта частица Бога, влюбленная в самого себя, отнимет у меня жизнь по приговору суда. И я снова уйду*

в ничто, откуда выплыл случайно. Но... на протяжении всего пути человек должен чувствовать себя человеком. Живи сам свободно и не делай зла другому, кто идет рядом с тобой...» [2, с. 252].

Это продолжение размышлений Залимгерия еще более глубокое и многослойное, чем первое. В нем звучат вопросы, которые касаются экзистенциальных переживаний человека, его смысла существования и отношения к миру. Мы сталкиваемся с экзистенциальным одиночеством и стремлением к самопознанию: *«Человеческая жизнь! А что такое человеческая жизнь? Родился, пожил, умер. Вот и все...» [2, с. 252].*

Эти слова – резкое обобщение, отразившее не только личные переживания Залимгерия, но и всю философию экзистенциализма. Они напоминают определение жизни как абсурдной в духе Камю, где человек рождается, сталкивается с болезнями и страданиями, а затем умирает. Это существование без явного смысла, где жизнь сама по себе не имеет окончательного ответа.

Однако за этой констатацией скрывается глубинный поиск смысла в бессмысленности. Это ощущение пустоты, присутствующее в размышлениях Залимгерия, не является отказом от жизни, а стремлением найти хоть какой-то ответ на эту абсурдность. Здесь присутствует также концепция познания Бога через самопознание. Вот цитата: *«Возможно, бог создал меня с целью познать самого себя? Познавая, он полюбил самого себя?» [2, с. 252].* Так Залимгерий выходит на новый уровень философского размышления, где задается вопрос о природе Бога и человека. Эта мысль о том, что Бог создал человека, чтобы познать самого себя, напоминает древнегреческие философские концепции, такие как «мудрость как самопознание».

Залимгерий ставит перед собой задачу, которая не сводится к поиску внешних смыслов или оправданий. Он рассуждает о том, что, возможно, само существование человека и его страдания – это форма самопознания Бога. Слова о том, что Бог полюбил самого себя, когда создал человека, открывают потенциал для глубокого единства между Богом и человеком, где последний, несмотря на свою смертность и бренность, представляет собой частицу высшего разума: *«И эта частица Бога, влюбленная в самого себя, отнимет у меня жизнь по приговору суда. И я снова уйду в ничто, откуда выплыл случайно» [2, с. 253].* Этот фрагмент – не просто экзистенциальное признание, а глубокая метафизическая концепция. Залимгерий ощущает, что его жизнь – это случайность, часть большого замысла, который он не в силах постигнуть. В конечном итоге он осознает свою смертность как неизбежный возврат в ничто, откуда он «выплыл» в момент рождения.

Его судьба, как и судьба каждого человека, кажется ему фатальной и неизбежной. Смерть – это возвращение в пустоту, откуда пришел его дух. И в этом осознании и безысходность, и смиренность. Важно отметить, что Залимгерий не боится этой пустоты, он ее принял как часть существования: *«Но... на протяжении всего пути человек должен чувствовать себя человеком. Живи сам свободно и не делай зла другому, кто идет рядом с тобой...» [2, с. 253].* Здесь звучит главный моральный вывод Залимгерия, который раскрывает его гуманизм. Он утверждает, что несмотря на все философские вопросы и метафизические размышления о жизни и смерти человек обязан быть человеком в своем существовании.

Залимгерий находит смысл жизни не в том, чтобы следовать догмам, искать оправдание насилию или злоупотреблять властью, а в том, чтобы жить свободно и не приносить вреда другим. Эта позиция – призыв к нравственному совершенству, где каждый человек отвечает не только за свою жизнь, но и за тех, кто находится рядом с ним. Это высший долг человеческого существования – не навредить, не сделать зла другим, ведь всякое зло приводит к страданиям и в конечном итоге к разрушению самого человека.

Размышления Залимгерия – это не только личные переживания заключенного, но и общечеловеческие вопросы, касающиеся поиска смысла жизни, метафизики Бога и места человека в этом мире. Его мысли, несмотря на исторический контекст романа, абсолютно актуальны и сегодня. Они затрагивают вечные вопросы о сущности человеческого существования, его цели и обязанностях перед собой и окружающими. В этом смысле размышления Залимгерия можно трактовать как моральное и философское завещание. Мораль этого внутреннего монолога проста и в то же время глубока: человек должен быть свободным и ответственным за свои поступки, так как только в этом заключается настоящая человечность.

Философские размышления Залимгерия в этом фрагменте являются глубоким внутренним монологом, который касается ключевых экзистенциальных и метафизических вопросов: смысл жизни, природа человека, его связь с высшими силами, а также моральная ответственность перед собой и другими: *«Человеческая жизнь! А что такое человеческая жизнь? Родился, пожил, умер. Вот и все»* [2, с. 252]. Слова о том, что жизнь сводится к «рождению, жизни и смерти», представляют собой классическое восприятие человеческого существования как бессмысленного цикла. Как сказано было выше, это напоминает философию Альбера Камю, который говорил о человеке как о существе, которое должно найти смысл в абсурде жизни, где нет объективного, заранее установленного значения. Тем не менее герой романа Залимгерий Кереев пытается найти в ней глубокие философские ответы. Залимгерий говорит: *«Возможно, бог создал меня с целью познать самого себя? Познавая, он полюбил самого себя?»* [2, с. 253]. Вопрос «познания Бога через самопознание» перекликается с философией Гегеля, где абсолютный дух (или Бог) реализуется через самопознание. Но Залимгерий задается вопросом, возможно ли это самопознание через страдание и смерть, не останавливаясь на ответах: *«И эта частица Бога, влюбленная в самого себя, отнимет у меня жизнь по приговору суда. И я снова уйду в ничто, откуда выплыл случайно»* [2, с. 253]. Эти строки представляют собой философскую парадигму фатализма. Он осознает, что его жизнь – это только временное существование. Он воспринимает смерть не как окончательную катастрофу, а скорее как возвращение в ничто, в то состояние, откуда он пришел: *«Но... на протяжении всего пути человек должен чувствовать себя человеком. Живи сам свободно и не делай зла другому, кто идет рядом с тобой...»* [2, с. 253].

Здесь Залимгерий делает важный вывод, который, пожалуй, является основой его философской концепции: несмотря на трудности, абсурдность жизни и фатальную неизбежность смерти, человек обязан оставаться человеком в своей внутренней сущности. Эта мысль связана с гуманистической традицией, где главный принцип заключается в нравственной ответственности каждого человека за свои поступки.

Подводя итог нашему анализу, следует сказать, что представление главного героя романа о том, что человек должен «жить свободно» и «не делать зла другому», – это одновременно призыв к моральной ответственности. В этом контексте его размышления о жизни и смерти начинают звучать как моральный манифест, в котором Залимгерий утверждает: несмотря ни на что, человек не может отказаться от своей человечности, а значит, и от ответственности за мир, который он оставляет после себя.

Эти размышления актуальны не только в контексте того времени, но и в современном мире, где многие из этих вопросов остаются актуальными: как оставаться человечным в условиях бессмысленных конфликтов? Как найти смысл в жизни, осознавая ее временность и конечность? Мысли Залимгерия могут служить примером для любого человека любой эпохи.

Роман Ахмедхана Налоева «Всадники рассвета» стал важным шагом в развитии жанра исторического романа в кабардино-черкесской литературе и оказал влияние на формирование новых направлений в литературе 70-х годов XX века.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Налоев А. Х.* Избранное: рассказы, повести. Нальчик: Эльбрус, 1987. 320 с.
2. *Налоев А. Х.* Избранное в 2-х томах. Т. I. Нальчик: Эльбрус, 2001. 327 с.
3. *Нало Ахьмэдхъан.* Нэхущ шу. Роман: на каб. яз. Налшык: Эльбрус, 1977.

REFERENCES

1. Naloev A.Kh. *Izbrannoye: rasskazy, povesti* [Selected: stories, novellas]. Nalchik: El'brus, 1987. 320 p. (In Russian)
2. Naloev A.Kh. *Izbrannoye v 2-kh tomakh* [Selected in 2 volumes]. Т. I. Nalchik: El'brus, 2001. 327 p. (In Russian)
3. Nalo Akhmedkhan. *Nekhushch shu. Roman: na kab. yaz.* [Nekhushch shu. Novel]. Nalchik: El'brus, 1977. (In Kabard.)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Алхасова Светлана Михайловна, д-р филол. наук, вед. науч. сотр. сектора кабардино-черкесской литературы, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;

alkhas55@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1773-285X>, SPIN-код: 1842-1520

Information about the author

Svetlana M. Alkhasova, Doctor of Philology, Leading Researcher of the Sector of Kabardino-Circassian Literature, Institute for Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

18 Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;

alkhas55@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1773-285X>, SPIN-code: 1842-1520

УДК 398.8+82-1

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-305-315

EDN: VLHLGL

Опыт сопоставления карачаево-балкарских благопожеланий о еде с кулинарными одами Роберта Бернса

Б. А. Берберов

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Статья представляет собой сравнительно-сопоставительный анализ карачаево-балкарских и шотландских гастрономических нарративов в рамках фольклорно-литературных взаимосвязей. Исследование обусловлено необходимостью установления кросс-культурных параллелей между двумя горскими народами для определения локальных и универсальных черт в кулинарном искусстве.

Цель исследования – координативная работа по соотнесению типологически сходных карачаево-балкарских и шотландских гастрономических реалий, отраженных в художественных текстах.

Материалы и методы. Материалом исследования послужили следующие произведения: «Жалбауур алгыш» («*Благопожелание с жалбаууром*») и «Боза алгыш» («*Благопожелание с бузой*»), а также их шотландские аналоги «То а Haggis» («*Ода шотландскому пудингу «Хаггис»*») и «Willie brew'd a peck o' maut» («*Наш Вилли пива наварил*»). Для решения поставленных задач в работе использован комплекс дополняющих друг друга методов исследования: ретроспективный, сравнительно-исторический и интертекстуальный.

Результаты. Исследования позволили обнаружить много общих черт между титульными блюдами северокавказских и шотландских горцев – *жалбаууром* и *хаггисом*, *бузой* и *шотландским пивом*. Главными источниками этнокультурной информации стали карачаево-балкарские фольклорные тексты и кулинарные оды Роберта Бернса.

Ключевые слова: компаративистика, карачаево-балкарский фольклор, этнокультура, Роберт Бернс, шотландский фольклор, благопожелание, ода, философия национальной пищи, универсальное, локальное

Поступила 31.06.2025, одобрена после рецензирования 09.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Берберов Б. А. Опыт сопоставления карачаево-балкарских благопожеланий о еде с кулинарными одами Роберта Бернса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 305–315. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-305-315

Original article

An experience of comparing Karachay-Balkar cuisine with Robert Burns' culinary ode

B.A. Berberov

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18 Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The article is a comparative-contrastive analysis of Karachay-Balkar and Scottish gastronomic traditions within the context of folklore and literature. The study is motivated by the need to draw parallels between two mountain cultures in order to identify both local and universal aspects of culinary art.

Aim. The study aims to compare and contrast the typologically similar gastronomic traditions of the Karachay-Balkars and the Scots, as reflected in literary texts.

Materials and methods. The following works served as the basis for the study: "Zhalbaur algysh" ("Good wishes with zhalbaur") and "Boza algysh" ("Good wishes with buza"), as well as their Scottish counterparts – "To a Haggis" (Ode to the Scottish pudding "Haggis") and "Willie brew'd a peck o' maut" ("Our Willie brewed beer"). To solve the tasks set in the work, a set of complementary research methods was used: retrospective, comparative-historical and intertextual. To solve the tasks set in the paper, a range of complementary research methods were used: retrospective, comparative-historical, and intertextual analysis.

Results. The research allows to discover several similarities between the traditional dishes from the North Caucasus and Scotland – zhabaur and haggis, as well as buza and Scottish beer. The main sources of ethnocultural information were Karachay-Balkar folklore texts and the culinary odes of Robert Burns.

Keywords: comparative studies, Karachay-Balkar folklore, ethnoculture, Robert Burns, Scottish folklore, good wishes, ode, philosophy of national food, universal, local

Submitted 31.06.2025,

approved after reviewing 09.08.2025,

accepted for publication 25.09.2025

For citation. Berberov B.A. An experience of comparing Karachay-Balkar cuisine with Robert Burns' culinary ode. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 305–315. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-305-315

ВВЕДЕНИЕ

Исследование народных благопожеланий о еде и кулинарные оды Р. Бернса, а также содержащиеся в них гастрономические мотивы раскрывают глубокую связь между двумя формами искусства. Пищевые метафоры искусно вплетены в ткань этих текстов, отражая сущность культурного и гастрономического наследия сообщества.

Карачаево-балкарские народные благопожелания о еде – «Жалбауур алгыш» («Благопожелание с жалбаууром¹») [1, с. 303–304] и «Боза алгыш» («Благопожелание с бузой²») [1, с. 303], а также их шотландские аналоги – «To a Haggis» («Ода шотландскому пудингу "Хэггис"») [2, с. 195–197] и «Willie brew'd a peck o' maut» («Наш Вилли пиво наварил») [2, с. 249] часто используют ингредиенты или блюда как символические представления для передачи более широких посланий о жизни, любви и социальных проблемах. Это уникальное взаимодействие между звуковым и гастрономическим мирами демонстрирует, как традиционное благопожелание и пища вместе сохраняют наш коллективный человеческий опыт.

Целью данной статьи является выявление общих черт между гастрономическими реалиями, запечатленными в фольклорных источниках разных народов. При этом методологической опорой является концепция Г. Д. Гачева «космо-психо-логос», согласно которой «всякая национальная целостность есть единство местной природы (Космос), характера народа (Психея) и склада мышления (Логос)» [3, с. 34].

Традиционные благопожелания и кулинарные оды часто сопровождают общинные собрания, объединяя людей во время совместных трапез, наполняя их атмосферой

¹**Жалбауур** – печень, обернутая тонким слоем внутреннего жира и поджаренная на вертеле. Къарачай-малкъар тилни ангылатма сёзлюгю (Толковый словарь карачаево-балкарского языка). В трех томах. Т. I. Нальчик: Издательский центр «Эль-Фа», 1996. 1120 с.

²**Боза** – буза, напиток домашнего приготовления. Къарачай-малкъар орус сёзлюк (Карачаево-балкарско-русский словарь). М.: Русский язык, 1989. 832 с.

праздника, создавая яркий фон для наслаждения пищей и компанией, переплетаясь с ароматами и вкусами домашних блюд, усиливая чувство единения, празднования и культурного богатства. Во многих культурах они действуют как объединяющая сила во время общинных пиршеств, где местные деликатесы занимают центральное место. Будь то радостный фестиваль или простое семейное собрание, гармония традиционных благопожеланий усиливает дружественную атмосферу, созданную вкусной домашней едой. Исследование этой захватывающей связи между озвучиванием текста и коллективными трапезами показывает, что они являются неотделимыми компонентами в различных культурах по всему миру. Каждое упоминание конкретного ингредиента или блюда в них воплощает долговечное слияние устной традиции и кулинарных обычаев – существенный аспект сохранения аутентичных рецептов и культурного наследия для будущих поколений.

Традиционные благопожелания и оды играют решающую роль в сохранении кулинарного наследия. Они функционируют как устные истории, передающие знания об исторически сложившихся методах приготовления пищи, источниках ингредиентов и региональных особенностях через поколения. Встраивая кулинарную мудрость в свои тексты, обеспечивают сохранение этих жизненно важных аспектов культурной идентичности от забвения.

Кулинарные благопожелания и тосты о еде – незаменимый инструмент передачи кулинарных секретов от одного поколения к другому через опoэтизированное изложение информации о продуктах, способах обработки, приготовления, подачи на стол. Широкое хождение в народе фольклорных произведений помогло сохранить аутентичность почитаемых народом рецептов, защищая их от влияния современных тенденций или внешних культурных воздействий. Благодаря этому методу благопожелательная субкультура и местные обычаи пересеклись, что привело к сохранению методов приготовления уникальных блюд из базового этнического наследия.

БЛАГОПОЖЕЛАНИЯ О ЕДЕ

Как пишет в своей статье «*Жанр благопожеланий (алгышла) в карачаево-балкарском фольклоре*» Т. М. Хаджиева, «среди малых жанров карачаевцев и балкарцев, как и у других тюркских народов, одним из древнейших являются *алгышла* – благопожелания. Слово «*алгыш*» в карачаево-балкарском языке имеет несколько значений:

- 1) благопожелание, благодарение, благословение;
- 2) заговор, заклинание (*жилян алгыш* – заговор от змеи, *кёз алгыш* – заговор от сглаза и др.);
- 3) сами тексты алгышей (*алгыш сёзле*);
- 4) здравица, тост (*аякъ алгыш*).

Карачаево-балкарские алгыши-благопожелания условно делят на *обрядовые* (алгыши, связанные с культовыми, календарными, производственными, семейно-бытовыми обрядами) и *необрядовые* (алгыши, произносимые в различных бытовых, житейских ситуациях)» [4, с. 101].

О происхождении этого фольклорного жанра, о его формировании справедливо рассуждает исследовательница А. И. Караева: «Стихотворный жанр *алгыш* («благопожелание») возник, очевидно, в языческой древности как гимн богу неба Тейри, о чем говорит сохраняющаяся и поныне в некоторых его вариантах архаическая формула заклинания: «Тейри берсин ол насыбны» («Да подаст это благо Тейри»). В дальнейшем алгыш стал частью свадебного обряда – «открывания лица» невесты свекру и свекрови. Из произносимого при этом алгыша встает идеальный в соответствии с требованиями адата (т.е. обычного права горцев) образ женщины – невестки, жены, матери, хозяйки, которому должна невеста подражать. <...> Со временем алгыш вышел за рамки свадебного обряда и наряду с назидательными распространение получили застольные алгыши, произносимые при поднятии чаши или кубка» [5, с. 23–24].

Как отмечает в своей книге «Карачаево-балкарские народные песни» Р. А.-К. Ортабаева, «к наиболее древнему пласту карачаево-балкарской народной поэзии, наряду с трудовыми и

охотничьими песнями, относятся и алгышши (здравницы, добропожелания), исполняющиеся на торжествах по поводу важных событий в жизни человека (свадьба, рождение ребенка, новоселье). В отличие от других песенных жанров алгышши, также имеющие стихотворную форму, не поются, а произносятся одним человеком приподнятым речитативом, без сопровождения музыкального инструмента. В этом их своеобразие. Тексты алгышшей, как правило, строятся на широком использовании пословиц, поговорок, приемов ораторского искусства карачаевцев и балкарцев» [6, с. 36].

ШОТЛАНДСКИЙ ПЕСЕННЫЙ ФОЛЬКЛОР И ТВОРЧЕСТВО РОБЕРТА БЕРНСА (1759–1796)

Роберт Бернс, национальный поэт Шотландии, стал культурным мостом между устной народной традицией и литературным каноном, превратившим фольклорные мотивы в универсальные символы гуманизма. Его творчество, укорененное в крестьянской культуре XVIII века, впитало многовековые пласты шотландской музыкальной поэзии – от героических баллад до пасторальных напевов. Бернс не просто адаптировал народные песни, но переосмыслил их, создав уникальный сплав традиционных форм и просветительских идеалов. Этот синтез позволил его произведениям преодолеть национальные границы, сделать шотландский фольклор достоянием мировой культуры.

До Бернса шотландские баллады существовали преимущественно в устной форме. Рукописные псалтыри XVI–XVII вв. фиксировали лишь церковную музыку, тогда как светские напевы передавались изустно. Ситуация изменилась с появлением печатных сборников фольклориста и издателя Дэвида Херда. В. П. Григорьева в своей статье «Проблема возрождения шотландского поэтического языка в XVIII веке» подчеркивает: «Херд не просто представлял шотландское наследие, он сохранил памятники устного народного творчества, записывая песни и баллады современников из уст рассказчиков. Вслед за Ч. Уотсоном, который включил в одно издание произведения древних и современных шотландских поэтов, он связал прошлое и настоящее шотландского диалекта» [7, с. 219–228]. Однако именно Р. Бернс придал этому движению систематический характер. Поэт написал для сборника «Шотландский музей» более 300 произведений балладного типа и подготовил к выпуску «Избранное собрание оригинальных шотландских мелодий». Критики справедливо считают его «первым, кто заговорил на понятном всем шотландском языке» и вслед за народом нарекли его «бриллиантом Шотландии» [8, с. 362–363].

Особенность его метода заключалась в сочетании филологической точности и художественной свободы. Как отмечает Р. Райт-Ковалева, «народ ждал своего поэта – и этот поэт родился в самой гуще народа и стал его голосом, его совестью, его сердцем» [9, с. 5].

Трудовые песни и юмористические зарисовки из деревенской жизни занимали центральное место в фольклорной традиции. Р. Бернс возвел эти сюжеты в ранг высокой поэзии, органично сочетая народный язык с философскими обобщениями. По мнению специалистов, высокое качество стихотворений мастера определяет органичное слияние «двух речевых истоков – литературного английского языка и простонародного шотландского наречия» [9, с. 6]. Поэт часто обращался к образам животных, следуя традиции народных притч.

Творчество Роберта Бернса продемонстрировало, что народная шотландская культура – не музейный экспонат, а живая динамичная система, способная к диалогу с современностью. Сохраняя аутентичность «добрых и благочестивых баллад» [8, с. 6], поэт наполнил их новыми смыслами – социальными, философскими, гуманистическими. Этот синтез стал возможен благодаря глубокому пониманию музыкальной поэтики фольклора: его ритмов, образной системы, диалогической природы. Сегодня, когда глобализация ставит под угрозу национальные традиции, опыт Бернса предлагает модель культурной преемственности – не через имитацию форм, но через творческое переосмысление духа народа.

КАРАЧАЕВО-БАЛКАРСКИЙ «ЖАЛБАУУР» И ШОТЛАНДСКИЙ «ХАГГИС»

У карачаево-балкарцев и шотландцев есть немало этнокультурных пересечений. Оба народа издревле живут в горной местности, оба народа знамениты своими поэтами, у обоих народов есть схожее традиционное блюдо, которое шотландцы называют «хаггис», а карачаево-балкарцы – «жалбауур», и схожий напиток – *тиво* у шотландцев и *буза* у карачаевцев и балкарцев.

Жалбауур – одно из знаковых блюд в гастрономической культуре северокавказских горцев. Считается, что его правильное приготовление требует большого мастерства. По сложившимся традициям, *жалбауур* после приготовления подают старшему за столом, обернув ручку шампура соломой. Старший же, взяв *жалбауур* в руки, произносит следующее пожелание:

ЖАЛБАУУР АЛГЪЫШ

– Жалбауур а тап бишгенди,
кызыарып.
Келди аллыма, сууумайын, тузланып.
Жалбауурну кьолгъа алама, кьууана,
Сёз айтама, сизни бла жубана.
Муну кибик татлы кёрюн ананга.
Ашагъанда, ары-бери къарама,
Кёзюнг бла чырдыланы санама,
Къартланы уа сыйлагъандан арыма.
Жалбауур а ахшы ашланы бириди,
Сууугъунчу ашар эсенг – сениди.

Кесинг да ал. Нёгеринге, манга,
Анга да жетер кибик этдингми?
Алай эсе, ашай, иче башлайыкъ.
Жалбауурдан бирер кьабын кьабайыкъ.
Мындан сора гоппан аякъ алайыкъ.
Эртте, кеч деп, тергеу этип кьарайыкъ.
Муну сабы салам кибик,
Кёп болсунла малларынг.
Дунияны тутуругъу –
Сууумасын кьолларынг.
Муну манга бердинг эсе,
Таматаны кёрдюнг эсе,
Кюле, ойнай билдинг эсе,
Тап оноуну сездинг эсе.
Эй, юлош эте келгин сен а,
Эл төресин кёргюн сен а,
Гитче, уллуну эсгере да,
Къуруда былай бере тургъун.
Гоппан аякъ алынса уа,
Боза ичине уа салынса уа,
Къууанч бетли болайыкъ,
Ырысхыдан толайыкъ!

[1, с. 303–304].

БЛАГОПОЖЕЛАНИЕ С ЖАЛБАУУРОМ

– Жалбауур хорошо поджарился,
подрумянился.
Пришел ко мне, еще горячий и посоленный.
Беру жалбауур в руки, радуясь,
Говорю слова, наслаждаясь общением с вами.
Пусть так же вкусно будет твоей матери.
Во время еды по сторонам не смотри,
Глазами плетни не считай,
Не уставай почитать старших.
Жалбауур – одно из лучших блюд,
Если успеешь съесть, пока не остыл – твой он.

И сам возьми. Для товарища, для меня,
Для него тоже оставил ты достаточно?
Если так, давайте начнем есть и пить.
Съедим по куску жалбауура.
После этого возьмем большую чашу.
Посмотрим, рано или поздно.
Его ручка как солома,
Пусть будет много у тебя скота.
Опора мира –
Пусть не остынут твои руки.
Если ты это мне подал,
Если старшего ты увидел,
Если умеешь ты смеяться и играть,
Если чувствуешь верное решение.
Эй, продолжай ты раздавать доли,
Придерживайся обычаев рода,
Вспоминая и младших, и старших,
Всегда так подавай.
А если возьмем большую чашу,
А если нальем в нее бузу,
Будем с радостными лицами,
Наполнимся достатком!

(Подстрочный пер. автора статьи).

Приведенный текст сравним с одой хаггису, написанной Робертом Бернсом:

ОДА ШОТЛАНДСКОМУ ПУДИНГУ «ХАГГИС»

В тебе я славлю командира
Всех пудингов горячих мира, –
Могучий Хаггис, полный жира
И требухи.
Строчу, пока мне служит лира,
Тебе стихи.

Дородный, плотный, крутобокий,
Ты высишься, как холм далекий,
А под тобой поднос широкий
Чуть не трещит.
Но как твои ласкают соки
Наш аппетит!

С полей вернувшись, землеробы,
Сойдясь вокруг твоей особы,
Тебя проворно режут, чтобы
Весь жар и пыл
Твоей дымящейся утробы
На миг не стыл.

Теперь доносится до слуха
Стук ложек, звякающих глухо.
Когда ж плотнее станет брюхо,
Чем барабан,
Старик, молясь, гудит, как муха,
От пищи пьян.

Кто обожает стол французский –
Рагу и всякие закуски
(Хотя от такой нагрузки

И свиньям вред),
С презреньем щурит глаз свой узкий
На наш обед.

Но – бедный шут! – от пищи
жалкой
Его нога не толще палки,
А вместо мускулов – мочалки,
Кулак – орех.
В бою, в горячей перепалке
Он сзади всех.

А тот, кому ты служишь пищей,
Согнет подкову в кулачище.
Когда ж в такой руке засвищет
Стальной клинок, –
Врага уносят на кладбище
Без рук, без ног.

Молю я Промысел небесный:
И в будний день, и в день
воскресный
Нам не давай похлебки пресной,
Яви нам благодать
И ниспошли родной, чудесный,
Горячий Хаггис!

[2, с. 195–197].

(Перевод С. Маршака).

В первую очередь, обращает на себя внимание указание на важность подачи и *жалбаура*, и *хаггиса* именно в горячем виде. В карачаево-балкарской версии этот фрагмент звучит следующим образом:

– Жалбауур а тап бишгенди, кызыарып.

– Жалбауур хорошо поджарился, подрумянился.

Келди аллыма, сууумаыын, тузланып.

Пришел ко мне, еще горячий и посоленный.

Жалбауур а ахшы ашланы бириди,
Сууугъунчу ашар эсенг – сениди.

Жалбауур – одно из лучших блюд,
Если успеешь съесть, пока не остыл – твой он.

[1, с. 303].

(Подстрочный пер. автора статьи).

В шотландской же версии также упоминается преимущество употребления блюда в горячем виде:

Весь жар и пыл
Твоей дымящейся утробы
На миг не стыл.
[2, с. 195].
(Перевод С. Маршака).

Кроме того, в обоих произведениях подчеркивается коллективный характер трапезы. Приведем карачаево-балкарский фрагмент:

Кесинг да ал. Нёгеринге, манга, Анга да жетер кибик этдингми?	<i>И сам возьми. Для товарища, для меня, Для него тоже оставил ты достаточно?</i>
[1, с. 304].	(Подстрочный пер. автора статьи).

Эта же характеристика трапезы приводится и в шотландской версии:

Теперь доносится до слуха
Стук ложек, звякающих глухо,
[2, с. 195].
(Перевод С. Маршака).

Наконец, в них подчеркивается роль главного за столом (тамады). В карачаево-балкарской версии отношение к тамаде нейтральное:

Муну манга бердинг эсе, Таматаны кёрдюнг эсе, Кюле, ойнай билдинг эсе, Тап оноуну сездинг эсе.	<i>Если ты это мне подал, Если тамаду ты увидел, Если умеешь ты смеяться и играть, Если чувствуешь верное решение.</i>
[1, с. 304].	(Подстрочный пер. автора статьи).

Вместе с тем в шотландской песне сквозит ироничное отношение к главе стола:

Старик, молясь, гудит, как муха,
От пищи пьян.
[2, с. 195].
(Перевод С. Маршака).

Между ними есть и характерные отличия. Так, в карачаево-балкарском варианте помимо основного блюда упоминается и напиток (буза), при этом в шотландской оде никакие напитки не приводятся.

Вероятно, самым знаковым отличием является интонационная насыщенность двух указанных произведений. В шотландской оде используется юмористический, даже сатирический мотив – пренебрежение к заморским деликатесам ввиду их низкой питательности, не способным придать едоку физических сил, достаточных для выполнения ратных подвигов и полевых работ (в отличие от хаггиса, обладающего высокой пищевой ценностью). В то же время карачаево-балкарское благопожелание практически лишено юмористических ноток.

БУЗА И ШОТЛАНДСКОЕ ПИВО

Другим знаковым элементом карачаево-балкарской национальной кухни является буза, получившая широкое распространение среди тюркских народов. Неудивительно, что горцы Кавказа выразили свою любовь к этому напитку в виде алгыша (благопожелания). Приведем пример использования бузы в ритуальных действиях с обращением к этнографическим и фольклорным источникам:

«Тёлю башын кесген заманда, анга атап, боза этгендиле. Ол бозаны башындан тёрге тёркендиле, алгышлап: «Былай тёрюлсюн экинчи жылда кёзула», – деп. Аллай алгыш кябыл болады деп, бек ийаннгандыла» (*«Когда резали первенца от приплода, в честь этого варили бузу. Этой бузой сверху обливали почетное место, говоря следующее благопожелание: «Пусть в следующем году тоже будет много ягнят». Верили, что такое благопожелание сбудется»*) [10, с. 479–485].

В свою очередь в книге «Обрядово-мифологическая поэзия балкарцев и карачаевцев» доктор филологических наук Х. Х. Малкондуев, иллюстрируя пример благопожелания, отмечает: «В одном из обрядовых *алгышей*, традиционно воспевающих хмельную бузу, встречаются следующие формулы-заклинания, весьма богатые метафорами:

Муну этгенни он бармагъындан бал тамсын,	<i>У ее исполнителя, чтобы из десяти пальцев мед тек,</i>
Чырдысындан жау тамсын.	<i>Чтобы с чердака ее масло капало.</i>
Аны суймегенни эки кёзюнден къан тамсын,	<i>Кто ее не любит, чтобы с обеих глаз кровь капала.</i>
Аны суймегенни да	<i>Кто ее не любит,</i>
Къамчи уругъа бели болмасын,	<i>Чтобы на спине не было места попасть плети,</i>
Аллахдан тилеги болмасын,	<i>Чтобы Аллах не исполнил его просьбу,</i>
Атха минерге буту болмасын...	<i>Чтобы подняться на коня ноги у него не было».</i>

[11, с. 211–212].

Приведем полный текст «Боза алгыш» (*«Благопожелание с бузой»*) [1, с. 303] с авторским переводом на русский язык.

БОЗА АЛГЫШ

Алгыш аякъ, толу аякъ,
Алгышлада болайыкъ.
Алгыш кетмесин,
Къаргыш жетмесин,
Суймегенлерибиз кибик Аллах
этмесин.
Ой, бу боза тоюм бозады.
Ач къарнына жазады.
Къуругъан чёпню башыды,
Насыплыны ашыды.
Муну этгенни он бармагъындан бал
тамсын.
Чырдысындан жау тамсын.
Аны суймегенни эки кёзюнден къан
тамсын.
Аны суймегенни да
Къамичи уругъа билеги болмасын,
Аллахдан тилеги болмасын,
Атха минерге буту болмасын.
Аны суймеген жардан кетсин да, суугъа
тюшюн,
Андан чыкъсын да къурусун,
Тыгъырыкъла сайын улусун.

[1, с. 303]

БЛАГОПОЖЕЛАНИЕ С БУЗОЙ

*Чаша тоста, полная чаша,
Да будем мы в тостах.
Пусть благословение не уходит,
Проклятие нас не настигнет,
Пусть Аллах не уподобит нас тем, кто нас не
любит.
Ой, эта буза – буза пира.
На голодный желудок она помогает.
Она верхушка сухой травинки,
Пицца счастливого.
Пусть из десяти пальцев того, кто ее сделал,
мед капает.
Пусть из края его крыши жир капает.
А из глаз того, кто ее не любит, пусть кровь
капает.
У того, кто ее не любит,
Пусть не будет руки, чтобы ударить плетью,
Пусть не будет от Аллаха ответов на просьбы,
Пусть не будет ноги, чтобы сесть на коня.
Тот, кто ее не любит, пусть с обрыва упадет
и в воду попадет,
Оттуда выйдет и высохнет,
Пусть он воеет по закоулкам*

(Подстрочный пер. автора статьи).

Неудивительно, что и на шотландской земле возникла ода, посвященная аналогичному слабоалкогольному напитку:

НАШ ВИЛЛИ ПИВА НАВАРИЛ

Наш Вилли пива наварил
И нас двоих позвал на пир.
Таких счастливых молодцов
Еще не знал крещеный мир!

Что это – старая луна
Мигает нам из-за ветвей?
Она плывет, домой зовет...
Нет, подождать придется ей!

Никто не пьян, никто не пьян,
А так, под мухую, чуть-чуть.
Пусть день встает, петух поет,
А мы не прочь еще хлебнуть!

Последний тот из нас, друзья,
Кто первым ступит за порог.
А первый тот, кого струя
Из нас последним свалит с ног!

Три молодца, мы дружно пьем.
Один бочонок – трое нас.
Не раз встречались мы втроем
И встретимся еще не раз.

[2, с. 249]

(Перевод С. Маршака).

Общим мотивом благопожелания и оды является благодарность тому, кто сварил ценный напиток. В карачаево-балкарской версии этому искусному «пивовару» желают, чтобы с его пальцев капал мед, а с его посуды стекал жир, подразумевая пожелание материального достатка. В шотландском же варианте имя прославляемого пивовара (*Вилли*) даже вынесено в название текста.

Кроме того, в обоих произведениях прослеживается влияние религии – в карачаево-балкарском благопожелании неоднократно озвучивается мольба к Аллаху, в шотландской же оде упоминается «христианский мир», в пределах которого не найти более счастливых людей, чем те, кто пьет восхваляемое пиво. Наконец, в них замечен мотив презрения к тем, кто не любит или недостаточно любит прославляемый напиток. В северокавказском аналоге используется достаточно жесткий набор выражений, включающий в себя пожелания «*пусть не будет руки*», «*пусть не будет ноги*», «*пусть кровь капает*» и так далее. В шотландском варианте нарратор ограничивается эпитетом «*последний из нас*». Особенностью этих народных благопожеланий и одических произведений является тот факт, что за тысячи километров от мест проживания предков карачаево-балкарцев горцы Шотландии сочинили типологически сходные кулинарные произведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устное народное творчество играет жизненно важную роль в сохранении местных обычаев и традиционных блюд, сплетая воедино ткань культурного наследия. Эти информативные тексты служат проводниками для трансляции аутентичных кулинарных практик от поколения к поколению.

Выразительные фольклорные тексты насыщены ссылками на местные ингредиенты и социально одобряемые поваренные технологии, глубоко укоренившиеся в горских сообществах. Симбиотическая связь между традиционными песнями и этномаркированными блюдами подчеркивает их совместное значение в сохранении многовековых обычаев и поддержании аутентичного кулинарного наследия.

Проведенный нами сравнительно-сопоставительный анализ карачаево-балкарских и шотландских «*гастрономических*» текстов позволил выявить общее и особенное в культуре

питания двух разных народов. Компаративное исследование «жалбауур – хаггис, буза – пиво» показало двойное сходство традиций как в плане технологии приготовления типологически одинаковых мясных блюд, так и в жанрово-стилевых формах их поэтического отображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгъышла, нарт таурухла, жомакъла, жырла, элберле... // Пожелания, легенды о нартах, сказки, песни, загадки... Хрестоматия по карачаево-балкарскому фольклору. На балкарском языке / Составители: Биттирова Т. Ш., Габаева А. Б. Нальчик: Эльбрус, 1997. 344 с.
2. *Бернс Роберт*. Стихотворения. Сборник / Сост. И. М. Левидова. На англ. и русск. яз. М.: Радуга, 1982. 705 с.
3. *Гачев Г. Д.* Ментальности народов мира. М.: Эксмо, 2003. 544 с.
4. *Хаджиева Т. М.* Жанр благопожеланий (алгъышла) в карачаево-балкарском фольклоре // Фольклорный текст: рубеж тысячелетий. Сборник статей. Нальчик: Принт Центр, 2021. 282 с.
5. *Караева А. И.* Очерк истории карачаевской литературы. М.: Наука, 1966. 320 с.
6. *Ортабаева Р. А.-К.* Карачаево-балкарские народные песни. Черкесск: Карачаево-Черкесское отделение Ставропольского книжного издательства, 1977. 152 с.
7. *Григорьева В. П.* Проблема возрождения шотландского поэтического языка в XVIII веке // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. 2009. № 2. С. 219–228.
8. *Карсвелл К.* Жизнь Роберта Бернса / Пер. с англ. Л. Володарской. М.: ТЕРРА - Книжный клуб, 2001. 368 с.
9. *Райт-Ковалева Р.* Жизнь Роберта Бернса // Бернс Р. / В переводах С. Маршака. М.: Правда, 1979. 272 с.
10. *Кетенчиев М. Б.* Философия национальной карачаево-балкарской пищи // Национальные образы мира в художественной культуре. Материалы Международной научной конференции. 24–26 октября 2014 года. Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2015. С. 479–485. EDN: YMJKDB
11. *Малкондуев Х. Х.* Обрядово-мифологическая поэзия балкарцев и карачаевцев (Жанровые и художественно-поэтические традиции). Нальчик: Эль-Фа, 1996. 272 с.

REFERENCES

1. Alg'yshla, nart tauruhla, zhomak"la, zhyrla, elberle... *Pozhelaniya, legendy o nartah, skazki, pesni, zagadki... Hrestomatiya po karachaevo-balkarskomu fol'kloru. Na balkarskom yazyke* [Wishes, legends about narts, fairy tales, songs, riddles... Reader on Karachay-Balkar folklore. In the Balkar language]. Sostaviteli: Bittirova T.Sh., Gabaeva A.B. Nal'chik: El'brus, 1997. 344 p. (In Balkarian)
2. Berns Robert. *Stihotvoreniya. Sbornik* [Poems. Collection]. Sost. I.M. Levidova. Na angl. i russk. yaz. Moscow: Raduga, 1982. 705 p. (In Russian)
3. Gachev G.D. *Mental'nosti narodov mira* [Mentality of the peoples of the world]. Moscow: Eksmo, 2003. 544 p. (In Russian)
4. Hadzhieva T.M. *Zhanr blagopozhelaniy (alg'yshla) v karachaevo-balkarskom fol'klore* [The genre of good wishes (algyshla) in Karachay-Balkar folklore]. *Fol'klornyy tekst: rubezh tysyacheletiy* [Folklore text: the turn of the millennium]: collection of articles. Nal'chik: Print Centr, 2021. 282 p. (In Russian)
5. Karaeva A.I. *Ocherk istorii karachaevskey literatury* [Essay on the history of Karachay literature] Moscow: Nauka, 1966. 320 p. (In Russian)

6. Ortabaeva R.A.-K. *Karachaevo-balkarskie narodnye pesni* [Karachay-Balkar folk songs] Cherkessk: Karachaevo-Cherkesskoe otделение Stavropol'skogo knizhnogo izdatel'stva, 1977. 152 p. (In Russian)
7. Grigor'eva V.P. The problem of the revival of the Scottish poetic language in the 18th century. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Gumanitarnye nauki*. 2009. No. 2. Pp. 219–228. (In Russian)
8. Karsvell K. *Zhizn' Roberta Bernsa* [Life of Robert Burns] / Per. s angl. L. Volodarskoy. Moscow: TERRA-Knizhnyj klub, 2001. 368 p. (In Russian)
9. Rayt-Kovaleva R. *Zhizn' Roberta Bernsa* [Life of Robert Burns]. Berns R. V perevodah S. Marshaka. Moscow: Pravda, 1979. 272 p. (In Russian)
10. Ketenchiev M.B. Philosophy of National Karachay-Balkar Food. *Nacional'nye obrazy mira v hudozhestvennoy kul'ture. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii, 24–26 oktyabrya 2014 goda*. Nal'chik: Poligrafservis i T, 2015. Pp. 479–485. EDN: YMJKDB (In Russian)
11. Malkonduev Kh.Kh. *Obryadovo-mifologicheskaya poeziya balkarcev i karachaevcev (Zhanrovye i hudozhestvenno-poeticheskie tradicii)* [Ritual and mythological poetry of the Balkars and Karachays (Genre and artistic-poetic traditions)]. Nal'chik: El'-Fa, 1996. 272 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Берберов Бурхан Абуюсуфович, д-р филол. наук, вед. науч. сотр., зав. сектором карачаево-балкарского фольклора, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;
burhan_berberov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5417-8144>, SPIN-код: 6335-7118

Information about the author

Burkhan A. Berberov, Doctor of Philological Sciences, Leading Researcher, Head of the Karachay-Balkar Folklore Sector, Institute of Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
18 Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia;
burhan_berberov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5417-8144>, SPIN-code: 6335-7118

УДК 82-7

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-316-324

EDN: VYQJLY

Формы комизма в художественной прозе З. Зокаева и М. Аттоева

Р. А. Керимова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В статье впервые рассматриваются категория комизма, особенности поэтики малой прозы З. Зокаева и М. Аттоева. Актуальность исследования обусловлена недостаточной освещенностью в балкарском литературоведении специфики жанра комедии. Фокус внимания направлен на выявление своеобразия идейного содержания (лицемерие, жадность, взяточничество, чинопочитание) и художественных особенностей произведений.

Цель исследования – анализ «смехового слова» в творчестве З. Зокаева и М. Аттоева. В данном аспекте исследование позволяет объективно представить творческий диапазон означенных авторов; способствует восстановлению полной картины развития жанра комедии в карачаево-балкарской литературе.

Материалы и методы. Объектом исследования выступают рассказы, комедии, интермедии, анекдоты З. Зокаева и М. Аттоева. В работе использованы типологический, структурно-семантический, сравнительно-исторический методы.

Результаты. Выявлена специфика функционирования «смехового слова» в пространстве комедий, доказано, что «смеховое слово» определяет одну из важнейших черт творческой манеры означенных писателей. Анализируется роль таких приемов, как каламбуры, комические метафоры, сарказм, остроумие, насмешка, гиперболизация, диалектные вкрапления, буквальное осмысление фразеологизмов, успешно реализуемых в комедиях, интермедиях, анекдотах.

Ключевые слова: комедия, жанр, проза, поэтика, З. Зокаев, М. Аттоев, юмор, балкарская литература

Поступила 15.07.2025, одобрена после рецензирования 20.08.2025, принята к публикации 25.09.2025

Для цитирования. Керимова Р. А. Формы комизма в художественной прозе З. Зокаева и М. Аттоева // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 316–324. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-316-324

Original article

Forms of comedy in the works of Z. Zokaev and M. Attoev

R.A. Kerimova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
18 Pushkin street, Nalchik, 360000, Russia

Abstract. The article for the first time explores the category of comedy and the features of the poetics in the short prose works of Z. Zokaev and M. Attoev. The relevance of the study is due to the insufficient coverage of the specific features of the comedy genre in Balkarian literary criticism. The focus is on identifying the originality of the ideological content (hypocrisy, greed, bribery, and reverence for rank) and the artistic features of the works.

Aim. This study aims to analyze the use of "words of humor" in the works of Z. Zokaev and M. Attoev. In this regard, the research provides an objective representation of the creative output of these authors and contributes to a more complete understanding of the development of the comedy genre in Karachay-Balkar literature.

Materials and methods. The study focuses on stories, comedies, interludes, and jokes by Z. Zokayev and M. Attoev. Typological, structural-semantic, and comparative-historical methods are used.

Results. The specific functioning of the "comic word" in comedy is explored, revealing that it defines one of the most significant features of these writers' creative style. We analyze the role of various literary devices, such as puns, comic metaphors, sarcasm, wit, mockery, hyperbole, and dialectal inclusions, as well as the literal interpretation of phraseological units, successfully implemented in comedies, interludes, and jokes.

Keywords: comedy, genre, prose, poetics, Z. Zokaev, M. Attoev, humor, Balkar literature

Submitted 15.07.2025,

approved after reviewing 20.08.2025,

accepted for publication 25.09.2025

For citation. Kerimova R.A. Forms of comedy in the works of Z. Zokaev and M. Attoev. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 316–324. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-316-324

ВВЕДЕНИЕ

Различные формы комизма выступают в качестве одной из главных эстетических категорий, в которых сосредоточен многолетний опыт общественного сознания. Ввиду своей специфики данный феномен является одним из актуальных задач изучения филологических наук. Как известно, юмор дифференцируется различными формами смеха – радостным и грустным, мягким и саркастическим и т.д. Данная проблематика разрабатывалась в трудах М. М. Бахтина, Ю. Б. Борева, Л. А. Карасева, Г. О. Ноди, Д. С. Лихачева, В. Я. Проппа и др.

В северокавказской литературе, как отмечает Л. Б. Утижева, комедия до сих пор остается наименее исследованным жанром [1, с. 3]. Вместе с тем формы комизма рассмотрены в главах и разделах монографий, посвященных изучению национальной драматургии и сценического искусства народов Северного Кавказа и Дагестана [Султанова 2008; Урусбиева 1972; Сарбашева 2009; Евлоева 2012]; трудах, посвященных творческой индивидуальности отдельных писателей [Баков 2010] и становлению жанра в балкарской литературе [Урусбиева 1972].

Жанр сатиры в балкарской литературе уходит своими корнями в такие фольклорные формы, как *чам*, *масъхара*, *самаркъау*, *накърда* (шутка, насмешка, издевка, ирония, иносказание). Посредством него раскрываются психологические и социокультурные особенности этноса. Как отмечает Ф. Урусбиева, «народная сатира рождалась в недрах нартского эпоса, а позднее в творчестве народных певцов, в массовых формах фольклора, – во время состязаний острословов, в так называемых айтышах, которые вызывают в памяти сходные явления, например, в киргизском фольклоре – сатирические экспромты, Токтогула, Барпы, Шаршена, Тоголока, Молдо» [2, с. 29].

Различные художественные формы комедии широко представлены в творчестве И. Семенова, М. Хубиева, Х. Кадиева, З. Зокаева, М. Аттоева, Ж. Токумаева, О. Балаева, Х. Аккаева и др.

Целью исследования является анализ «смехового слова» в творчестве З. Зокаева и М. Аттоева. В данном аспекте исследование позволяет объективно представить творческий диапазон означенных авторов; способствует восстановлению полной картины развития жанра комедии в карачаево-балкарской литературе.

Материалы и методы. Объектом исследования выступают рассказы, комедии, интермедии, анекдоты З. Зокаева и М. Аттоева. В работе использованы типологический, структурно-семантический, сравнительно-исторический методы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В истории балкарской литературы Зейтун Шохасевич Зокаев и Мухаммат Хасимович Аттоев – авторы, внесшие определенный вклад в развитие национальной словесности¹. Творческая деятельность писателей пришлась на период «хрущевской оттепели», но их произведения до сих пор не подвергались научному осмыслению.

Прежде всего важно подчеркнуть, что З. Зокаев и М. Аттоев – творцы малой прозы. Новаторство писателей проявляется в том, что они своим творчеством способствовали становлению и развитию в балкарской литературе жанра комедии, анекдота. Авторы мастерски реализуют свои художественные задачи в небольших произведениях: с юмором высмеивают общественные пороки, критикуют человеческие недостатки. Писатели выработали свой стиль, позволяющий говорить об индивидуальной художественной организации произведений, о самобытной форме комизма.

Среди категориальных признаков прозы З. Зокаева можно выделить: небольшой объем, лаконичность, отсутствие начала, неоднозначный финал, малое количество персонажей (героями произведений являются рядовые сельские жители, герои-обыватели). Автор мастерски использует возможности рассказа, лавируя между такими жанрами, как рассказ-сценка, рассказ-притча, рассказ-сказ, рассказ-фельетон, рассказ-анекдот и т.д.

Книга «Зять» (1969) состоит из рассказов и зарисовок, в которых раскрывается жизнь народа в разных пространственно-временных рамках. В нее вошли такие произведения, как «Зять», «Исправление», «Короткий», «Заблуждение», «Мы умрем, если не выпьешь», «Охотник», «Манерный», «Имя курильщика», «Гости», «У лицемерия тоже есть границы», «Многоименный парень», «Скверный тип», «Два лица одного человека», «Невеста», «Песня», «В рабстве».

Незатейливый, на первый взгляд, юмористический сюжет несет в себе глубокий подтекст, тонко высвечивающий пороки общества. Характерный пример «косвенного» юмора, юмористического сюжета, оттеняющего печальное содержание, раскрывается в произведении «Киеу» («Зять»). В нем повествуется о хитроумном Зулкарнее, который под предлогом поздравления своего друга Исмаила с женитьбой приглашает его с супругой в ресторан, заказывает еду на большую сумму, но в итоге, причислив себя к родственникам невесты, перекладывает оплату на Исмаила, ссылаясь на то, что он его зять.

В рассказе «Тюзетиу» («Исправление») автор поднимает актуальную для своего времени проблему издания рукописи. С помощью сарказма вырисовывается абсурдность ситуации, сложившейся между литератором и редактором, который всячески препятствует изданию рукописи, но в итоге обвиняет литератора в нежелании вносить исправления. В произведении «Биз ёлейик, ичмесенг» («Мы умрем, если не выпьешь») автор высмеивает невежественность, лицемерие, злорадство так называемых «друзей». Действие происходит во время застолья, в процессе которого друзья и знакомые Магомета заставляют его пить спиртное, используя различные психологические приемы, манипуляции: «Штрафной берчигиз!» («Дайте ему штрафную!»), «Бу къадар адам тилесе уа, суугъа да секирир эдим!» («Когда столько людей просят, я бы даже в воду прыгнул!»), «Уллугъа намыс этерге керекди!» («Старшего надо уважать!»). Поддавшись давлению, Магомет не может отказать. Однако после выпитого он попадает в больницу, и в итоге никто из «друзей» не навещает его, более того, они осуждают Магомета: «Бош хомух зат кёре эдим!» («Оказывается, ты слабак!»), «Ол аман Магомет аракъы ичеме деб, ауруб, больницагъа тюшгенди» («Этот плохой Магомет, желая выпить, захворав, попал в больницу»), «Ай, атанъы къанын ичгин, иче билмей эсенг» [3, с. 5] («Ой, лучше бы выпил кровь отца, раз не умеешь пить»). Сюжет

¹Энциклопедия кабардино-балкарской журналистики XX–XXI вв. Нальчик: ООО «Печатный двор», 2016. 250 с.

произведений заключен в одном эпизоде, который позволяет понять мировоззрение героя и других действующих лиц. Доминирование разговорных форм, устойчивых идиоматических выражений подтверждает, что автор стремится комически стилизовать свою речь под фольклорные шутки. Комизм в произведениях характеризуется различными формами – от жестокого обличения, сарказма до легкой иронии и добродушной усмешки. Иногда в одном произведении наблюдается синтез сатиры и юмора.

Во второй книге З. Зокаева «Жашаудан алынган суратчыкыла» («Зарисовки из жизни», 2013), разделенной на циклы («Старинные рассказы», «Рассказы современности», «Рассказы Отарова Исмаила», «Юмористические рассказы во время отдыха»), автор запечатлел жизнь наивных и простодушных людей, которые, стараясь разрешить свои повседневные бытовые проблемы, оказываются в нелепых ситуациях. Рассказы содержат скрытый подтекст, наряду с комизмом автор использует элементы притчи. Самобытность таланта З. Зокаева, своеобразие и оригинальность его стиля находят выражение в языке, речевой манере повествований. Л. П. Иванова считает, что «... комическое имеет во многом национальную специфику. Комическую ситуацию можно наблюдать непосредственно и рассказать о ней. И если восприятие ситуации как смешной, забавной во многом обусловлено принадлежностью автора к той или иной культуре и относится к сфере культурологии, то повествование о смешном событии принадлежит лингво-культурологии и потому, что язык сам по себе несет культурную информацию» [4, с. 562]. В качестве характерных черт анализируемых рассказов можно назвать использование просторечного слога, доходчивой простонародной лексики. Мастерское владение формой повествования от первого лица предоставляет автору широкий круг возможностей в плане использования выразительных средств родного языка. Данная особенность прослеживается в авторских предпочтениях в плане языковых средств. На фонетическом уровне в речи персонажей выделяется замена одних звуков другими, к примеру, писатель часто обращается к малкарским говорам² (к цокающему диалекту), что усиливает комизм персонажа. Отмеченное встречается в произведениях «Цалмандан тутумай» («Не держась за изгородь»), «Итден туугъанцыкъ» («Щенок»/«Собачий сыночек»), «Кюлкю» («Смешной») и др., вошедших во вторую книгу «Зарисовки из жизни». В цикл «Алгъаракъны хапарлары» («Старинные рассказы») вошли коротенькие рассказы-анекдоты («Иливатор», «Сакъ бол» («Будь осторожен»), «Гонай», «Сатып алынган сом» («Купленный рубль»), «Цомаца» («Заноза»), в которых повествуется о сельской жизни, мелких чиновниках, государственных служащих, пастухах и т.д.

В данных текстах автор использует более мягкую форму комического изображения, чаще обращенную к интеллектуальному читателю. Некая недосказанность в рассказе «Заноза» предполагает ситуацию нон-финито (non-finito) (термин по Ю. Бореvu). Наблюдаются и иные стилистические приемы, к шутке, вроде бы, отнюдь не располагающие. Лектор, выступавший на собрании, произносит речь: «Ёмюрледен бери къара халкъны бойнундан кетмеген боюнсанны бир жанына атхан Совет власть жашасын!» – деп кычырып бошайды сёзюн» [5, с. 9] («Да здравствует Советская власть, скинувшая ярмо, угнетавшее во все времена чернорабочих!» – таким возгласом он завершил выступление»). После этого он предложил собравшимся задать вопрос, и один из слушателей в иносказательной форме обратился к нему: «Биягъында сен о боюнсанны юсюнден бир тап айтхандынг.... Алай артыбызгъа бир цомацаны сукъгъансыз, аны къачан чыгъарлыгъыгъызын юсюнден бир зат айтсанг эди, – дейди» [5, с. 9] («Ты только что нам так хорошо рассказал о ярме... Однако

²Обиходно-разговорная лексика, т.е. в карачаево-балкарском языке функционируют две формы: национальная литературная форма и форма цокающего диалекта. Между ними существует так называемый устный уровень – отражение диалектных форм в устной речи [6].

вы засунули нам в зад одну занозу, скажи несколько слов о том, когда вы ее вытащите», – сказал он»). Юмористический подтекст определяют также использование просторечных слов, устаревших словоформ, ориентация на народную шутку. Использование просторечных выражений обусловлено прежде всего авторской позицией, что не противоречит стилистике произведений [7]. Напротив, подобные приемы воссоздают национальный колорит и свидетельствуют о мастерском оперировании приемами игры со словом. Писатель предстает оригинальным и самобытным художником комического отображения действительности.

К примеру, в рассказе «Портупея» высмеивается одежда высокопоставленного чиновника, в произведении «Ёппе- ётюрюк» («Полная ложь») герой по имени Шабаз, веривший в идеологию советской власти, полностью разочаровавшись в ней, отмечает: «Аланла³, бу политика, политика дегенлери уа башдан аягына дери ёппе-ётюрюк кёреме», – деп сейир этеди [5, с. 11] («Люди, эта политика, политика, о которой все говорят, оказывается с головы до ног полная ложь», – сказал он, удивляясь). В этих рассказах-анекдотах вместо логической развязки вносится остроумная, поучительная концовка. С помощью юмора З. Зокаев смог передать закономерности времени, уклад и мировоззрение людей, жизнь которых была наполнена народными поверьями, обусловлена социальным положением. Вместе с тем автор стремится показать не только нрав народа, но и горский мир, его онтологическую модель бытия. В частности, в притче-рассказе «Алгъандады батырлыкъ» («Смелость у того, кто берет») осмысливается категория «долга», которая сопряжена с такими нравственными аспектами, как «ответственность», «благодарность».

Проблема духовно-нравственных ценностей находит продолжение в цикле «Рассказы о современности». В частности, в произведении «Гяуур» («Неверный») автор рассуждает о том, что выполнение религиозных обрядов не всегда является критерием, отвечающим за духовную сторону человека. З. Зокаев подчеркивает, что сострадание, порядочность, честность не зависят от вероисповедания.

Среди рассказов особое место занимают произведения, воссоздающие личный опыт автора, запечатлевшие воспоминания о друзьях и знакомых. В сюжет вводятся прототипы конкретных личностей – К. Кулиев («Саша»), Х. Малкондуев («Айырылышыу» – «Расставание») и т.д. Целый раздел («Отар улу Исмаилны хапарлары» – «Рассказы Отарова Исмаила») посвящен другу Исмаилу Отарову. В произведениях «Эки душман» («Два врага»), «Кет жаншама» («Не болтай»), «Къатынла» («Женщины»), «Къыстаргъа керекди» («Нужно выгнать») и т.д. З. Зокаев повествует о реальных случаях из жизни персонажа, ситуациях, в которых он сам был непосредственным участником. Здесь задачи автора заключаются не только в создании смеховой ситуации, но и в желании воссоздать характер персонажа, раскрыть его уникальный внутренний мир. В них автор не меняет свою тактику в отношении описания портрета и фабулы, однако теплое отношение к герою определяет тональность рассказов. Поэтика юмористического цикла З. Зокаева характеризуется идейной общностью, динамичностью сюжета, стремлением максимально раскрыть личность сквозного героя.

Жанр юмористического рассказа доминирует в творчестве другого писателя – М. Аттоева. В основу его рассказов легли реальные истории, тонко подмеченные автором. Меткий ироничный юмор, наблюдательность проявились в сборниках юмористических рассказов – «Кюльорге сюемисиз?» («Хотите посмеяться?», 1991) и «Быланы таныймысыз?» («Вы знакомы с ними?», 2000).

Лаконичные и короткие произведения открывают читателю своеобразие психологического склада обывателя, связанное с той или иной социально-бытовой обстановкой.

³Универсальное в балкарском языке обращение в значении, близком понятию "человек".

Для обличения человеческих пороков М. Аттоев успешно использует основные приемы мягкого юмора и сатиры.

В книгу «Вы знакомы с ними?» вошли шутки, анекдоты, басни, интермедии. Как подчеркивает писатель, эти рассказы основаны на его личном опыте: в них запечатлены воспоминания о друзьях и знакомых. В небольших произведениях, на уровне частных реальных ситуаций из жизни, освещаются различные проблемы: культура общения на работе, тема семьи и родственных уз, отношения между мужчиной и женщиной, понятие дружбы и т.д.

Обращаясь к злободневным темам, автор раскрывает мироощущение, быт, нрав, менталитет народа, специфику своего времени. Юмор кроется в сюжете и комически построенных диалогах. Автор использует образные средства: каламбуры, комические метафоры, сравнения, буквальное осмысление фразеологизмов.

Сказовая форма повествования, избранная писателем, также располагает большими юмористическими ресурсами. Сатира в тексте сталкивает читателя лицом к лицу с человеческими пороками, которые достаточно распространены и часто встречаются в жизни каждого. Узнаваемые ситуации и поведение героев, развязка произведения вызывают улыбку у читателя, наводят на размышления и переоценку взглядов.

К примеру, сатира в «Суратдагы кимди?» («Кто на портрете?») высмеивает лицемерие, невежество, чинопочитание, угодничество редактора журнала, который в итоге доводит до абсурда простую ситуацию. Речь идет о портрете, который принес художник Добар для публикации в одном из известных журналов города. Редактор Махмут долго сидел и молча смотрел на портрет, но вскоре заявил: «Жууугъум, соргъанны айыбы жокъду, бу кимни суратыды? – деп, къонакъны кёзюне къарады» [8, с. 7] («Родственник, пойми правильно, нет ничего такого в моем вопросе: чей это портрет?» – спросил, посмотрев в глаза гостю»). Тот в свою очередь удивленно ответил: «Къалай кимни суратыды? Мениди. Кесим ишле-генме. Оллахий, анга бир инсан дау эталлыкъ туйюлду. Аны ючюн бир да къоркъма» [8, с. 8] («Как чей портрет? Мой. Сам нарисовал. Клянусь Аллахом, ни один человек не сможет опровергнуть это. За это не беспокойся»). Махмут обосновывает невозможность публикации картины по причине того, что изображенный на портрете может узнать себя, и это повлечет за собой проблемы различного характера. Однако Добар пытается объяснить, что на портрете изображен несуществующий человек, вымышленный. Но редактор приводит пример из недавнего прошлого: после публикации одного юмористического рассказа к нему пришел человек и заявил: «Бу хапарны нек басмалагъансыз? Ол мени юсюмден жазылгъанды» [8, с. 9] («Почему вы опубликовали этот рассказ? Он написан обо мне»). Далее Махмут находит сходство портрета с двумя чиновниками, которые приходятся ему родственниками, что чревато для него большими неприятностями. Использование пословиц, поговорок, приемов остроумия способствует формированию особого стиля повествования. Комизм ситуации усиливается при описании персонажа, его характера, манеры общения.

Тема чинопочитания находит продолжение в рассказе «Алайгъа менден тийишли жокъду...» («На это место нет более подходящего, чем я»). В произведении обличаются такие пороки, как соперничество, зависть, лицемерие мелких чиновников, которые стремятся подняться по карьерной лестнице. Анекдотические сюжеты, порожденные «народным духом», нашли отражение в других произведениях – «Бек сейир адамса сен!» («Ты очень удивительный человек!»), «Жукъу бла уа жаным бирди...» («Со сном мы едины...»), «Сени оюмунг...» («Твои мысли...»). Рассказы характеризуются остроумной и поучительной концовкой. При этом, как правило, делается намек на скрытые или фиктивные смысловые связи, подчеркнутая разгадка которых противоречит ожиданиям читателя, что в итоге и вызывает смех.

В книге «Кюльорге сюемисиз?» («Хотите посмеяться?»), 1991) М. Аттоев не только обличает отдельные стороны человеческих взаимоотношений, но и раскрывает свое отношение к ситуациям. Рассказы «Ёнкючю эсине тюшер деп уялама» («Стесняюсь, думая, что он вспомнит о своем долге»), «Асыры уялгъандан» («Сильно стесняюсь»), «Кёлюм чыгъып кьалды ...» («Разочаровался...») [9] характеризуются простым, незатейливым сюжетом (продажа куриц на базаре, ссоры между мужем и женой, взяточничество, чинопочитание, жадность и т.д.); ситуации разворачиваются вокруг безобидных явлений, которые легко разрешимы. С помощью юмора автор указывает на несовершенства, недостатки в различных сферах жизни, а также обращает внимание на человеческие пороки.

Как отмечает Ю. Борев, «смех стремится разрушить существующий несправедливый мир и создать новый, принципиально отличный от него, – идеальный» [10, с. 360; 11]. Таким образом, писатель высвечивает различные проблемы, которые возникают из-за человеческих пороков. Сюжет определяется яркостью и динамичностью сюжета. В отличие от традиционной сатиры, которая направлена на желание беспощадно искоренить человеческие пороки, мягкий юмор в произведениях М. Аттоева проникнут грустью, сочувствием к героям. По справедливому замечанию А. Сарбашевой, «лишь писателю, обладающему этим даром (а вместе с ним и критически развитым умом, внутренней духовной силой), удастся конкретизировать присущие жизни комические стороны и подвергнуть их осмеянию» [12, с. 160].

Выводы

М. Аттоев и З. Зокаев сумели в своих произведениях обозначить социальные и нравственные проблемы своего времени, при этом писатели ненавязчиво раскрывают пороки, вызывающие у читателя не только улыбку, но и подключающие ассоциативность, дающие простор размышлениям. Одним из способов создания комедийной ситуации является использование диалектных особенностей родного языка. Так, благодаря использованию различных художественных приемов текстовое пространство включает в себе не только коммуникативную (развлекательную) функцию, но и несет определенную смысловую (назидательную) нагрузку.

В жанровом отношении выявляется синкретизм форм. В юмористических рассказах имеет место структурирование принципа цикличности. В творчестве З. Зокаева наблюдается развитие авторского прозаического цикла «Рассказы Отарова Исмаила» – серии произведений со сквозным персонажем.

Произведения характеризуются новыми настроениями, темами, в текстовое пространство внедряются элементы фольклора, философии, науки. Особенно велика в жанре комедии благотворная роль малых фольклорных форм (пословиц, поговорок, шуток). Юмор, ирония, сарказм, характерные для горского фольклора, формируют художественный мир балкарских писателей, который сопряжен с духовными и творческими исканиями своего времени.

Опираясь на достижения предшествующего поколения, усваивая и творчески переосмысливая богатый опыт, балкарские сатирики расширяют рамки художественной прозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Утижева Л. Б. Роль и место песен и куплетов в комедиях Б. К. Утижева // Научный диалог. 2016. № 3(51). С. 146–157. EDN: VRGTFFV
2. Урусбиева Ф. А. Путь к жанру. Нальчик: Эльбрус, 1972. 173 с.
3. Зокаев З. Киеу. Нальчик: Эльбрус, 1963. 76 с.

4. Иванова Л. П. Лингвокультурологические аспекты комического (к постановке проблемы) // Логический анализ языка: языковые механизмы комизма / Российская акад. наук, Ин-т языкознания; отв. ред. Н. Д. Арутюнова. М.: Индрик, 2007. С. 560–569.
5. Зокаев З. Жашаудан алынган суратчыкыла. Нальчик: Печатный двор, 2013. 131 с.
6. Кучмезова Л. Б. Лексико-семантические, лексико-грамматические и словообразовательные особенности словарных единиц цокающего диалекта карачаево-балкарского языка // Вестник КБИГИ. 2019. № 4–2 (43). С. 72–77.
7. Улаков М. З., Жашуев Р. Б. О влиянии разговорной речи на литературную норму карачаево-балкарского языка // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2011. № 5(43). С. 251–256.
8. Аттоев М. Кюльурге сюемисиз? Нальчик: Эльбрус, 1991. 241 с.
9. Аттоев М. Быланы таныймысыз? Нальчик: Эльбрус, 2000. 116 с.
10. Боров Ю. Нон-финито // Эстетика. Теория литературы: Энциклопедический словарь терминов / Сост. Ю. Б. Боров. М., 2003. С. 276.
11. Боров Ю. Б. Национальные особенности юмора // Проблемы развития литератур народов СССР. М.: Наука, 1964. С. 358–385.
12. Сарбашева А. М. Художественные средства отображения комического в балкарской драматургии: комедиография Жагафара Токумаева // Oriental Studies. 2014. № 3(14). С. 157–162. EDN: SYJGYN

REFERENCES

1. Utizheva L.B. The Role and Place of Songs and Couplets in the Comedies of B. K. Utizhev. *Nauchnyy dialog*. 2016. № 3(51). Pp. 146–157. EDN: VRGTFV. (In Russian)
2. Urusbieva F.A. *Put' k zhanru* [The Path to the Genre]. Nalchik: Elbrus, 1972. 173 p. (In Russian)
3. Zokayev Z. *Kiyeu* [Son-in-law]. Nalchik: Elbrus, 1963. 76 p. (In Balkar.)
4. Ivanova L.P. *Logicheskii analiz yazyka: yazykovyye mekhanizmy komizma* [Linguocultural aspects of the comic (towards the formulation of the problem)] Rossiyskaya akad. nauk, In-t yazykoznaniya; otv. red. N.D. Arutyunova. Moscow: Indrik, 2007. Pp. 560–569. (In Russian)
5. Zokayev Z. *Zhashaudan alynngan suratchyk"la* [Portraits taken from life]. Nalchik: Pechatnyy dvor, 2013. 131 p. (In Balkar.)
6. Kuchmezova L.B. Lexical-semantic, lexical-grammatical and word-formation features of vocabulary units of the Tsok dialect of the Karachay-Balkar language. *Vestnik KBIGI*. 2019. № 4–2 (43). Pp. 72–77. (In Russian)
7. Ulakov M.Z., Zhashuev R.B. On the influence of colloquial speech on the literary norm of the Karachay-Balkar language. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2011. No. 5(43). Pp. 251–256. (In Russian)
8. Attoev M. *Kyulyurge syuyemisiz?* [Want to laugh?]. Nalchik: Elbrus, 1991. 241 p. (In Balkar)
9. Attoev M. *Bylany tanyymysyz?* [Are you familiar with them?] Nalchik: Elbrus, 2000. 116 p. (In Balkar.)
10. Borev Yu. *Non-finito. Estetika. Teoriya literatury: Entsiklopedicheskiy slovar' terminov*. Sost. Yu.B. Borev [Non-finito. Esthetics. Theory of Literature: Encyclopedic Dictionary of Terms. Comp. Yu.B. Borev]. Moscow, 2003. P. 276. (In Russian)
11. Borev Yu.B. *Natsional'nyye osobennosti yumora* [National characteristics of humor] *Problemy razvitiya literatur narodov SSSR*. Moscow: Nauka, 1964. Pp. 358–385. (In Russian)
12. Sarbasheva A. M. Artistic means of displaying the comic in Balkar drama: comedy writing by Zhagafar Tokumaev. *Oriental Studies*. 2014. No. 3(14). Pp. 157–162. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

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 of the 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

Любовь Васильевна Маслиенко – 75 лет



Любовь Васильевна Маслиенко – доктор биологических наук, заведующая лабораторией биометода ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, заслуженный деятель науки Кубани, почетный работник науки и высоких технологий РФ.

Л. В. Маслиенко родилась 18 сентября 1950 года в ст. Кавказской Краснодарского края.

В 1972 году окончила факультет защиты растений Кубанского СХИ по специальности «ученый агроном по защите растений».

Во ВНИИМК работает с января 1975 года. В течение 18 лет (1975–1993) работала в отделе защиты растений: сначала младшим научным сотрудником, с июля 1985 года – старшим научным сотрудником, с мая 1988 года – ведущим научным сотрудником.

С 1976 по 1979 год обучалась в заочной аспирантуре, в 1982 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук. С 1993 года по настоящее время заведует лабораторией биометода.

В 2005 году защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук. Имеет ученое звание главный научный сотрудник.

Л. В. Маслиенко разработала концепцию целенаправленного создания микробиопрепаратов, в основе которой лежит поиск штаммов антагонистов, безопасных для человека, нефитотоксичных, проявляющих высокую активность в широко варьируемых условиях против комплекса патогенов, обладающих полифункциональным типом действия.

В результате многолетних исследований создана рабочая коллекция перспективных штаммов грибов и бактерий-антагонистов широкого круга возбудителей болезней масличных и других сельскохозяйственных культур. Разработаны новые экологичные, эффективные микробиопрепараты полифункционального типа действия против комплекса патогенов многих сельскохозяйственных культур – Вермикулен, Хетомин, Бациллин, Веррукозин и Фуникулозум на основе отселектированных активных штаммов антагонистов.

Микробиопрепарат Вермикулен, зарегистрированный в 1993 году, против комплекса болезней на подсолнечнике, зерновых и винограде применялся на десятках тысяч гектаров в Краснодарском, Ставропольском краях и Республике Адыгея. Остальные микробиопрепараты, разработанные в лаборатории, и лабораторные образцы на основе новых перспективных штаммов-продуцентов успешно проходят полевые и производственные испытания на многих сельскохозяйственных культурах в разных регионах России.

В последние годы ведутся исследования по разработке технологии получения препаративной формы микробиопрепаратов – смачивающийся порошок (СП), при поверхностном культивировании штаммов-продуцентов на жидких питательных средах, с пролонгированным сроком хранения, с высоким титром в условиях повышенной температуры, – имеющей конкурентные преимущества перед существующими в мире технологиями. Длительный срок хранения получаемых микробиопрепаратов (особенно на основе грибов-продуцентов) по разработанной технологии (как минимум год при температуре 25 °С), без снижения титра

(КОЕ/г) в комплексе с низкими нормами расхода (0,05–0,3 кг/га/т) и низкой стоимостью гектарной нормы, а также с высокой биологической эффективностью и экологической безопасностью обеспечат конкуренцию как с химическими препаратами, так и с биопрепаратами, произведенными по другим технологиям. Одним из преимуществ этой препаративной формы является возможность создания смесевых препаратов на основе разных штаммов-продуцентов (грибных и бактериальных), позволяющая получать высокоэффективные экологически пластичные микробиопрепараты.

Л. В. Маслиенко награждена медалью «Ветеран труда», национальной экологической премией ЭкоМир, премией администрации Краснодарского края, Почетной грамотой Министерства образования, науки и молодежной политики Краснодарского края, Почетной грамотой Россельхозакадемии, Почетной грамотой РАН, Почетной грамотой Кубанского государственного аграрного университета. Имеет Благодарность Министерства сельского хозяйства РФ, Благодарность Министерства образования, науки и молодежной политики Краснодарского края, Благодарность главы администрации (губернатора) Краснодарского края.

Уважаемая Любовь Васильевна, коллектив Кабардино-Балкарского научного центра РАН от всей души поздравляет Вас с 75-летним юбилеем! Желаем Вам крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших успехов на благо российской науки!

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-hm/>, на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеки «Киберленинка», в Российской государственной библиотеке, ВИНТИ, 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?jrmid=izkab&optionlang=rus>). Срок размещения редакцией очередного номера журнала – в течение 3 месяцев с даты выхода в свет номера.

6. Публикации в журнале для сотрудников КБНЦ РАН бесплатные, для сторонних авторов – 500 руб. за страницу (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, новизна, методика и результаты научного исследования, 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 полнзначное 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 journala* [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 A4 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 A4 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 может повысить 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 не указания 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 KBSC RAS employees are free, for outside 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 novelty, relevance and methodology and results of scientific research, conclusions, volume is no more than 150–250 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 konferentsii* [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 27 № 5 2025

Сквозной номер выпуска – 127

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*

ISSN 1991-6639



Подписано в печать 24.10.2025 г. Дата выхода в свет: 31.10.2025 г.

Формат бумаги 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 39,06. Тираж 300 экз.

Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-14936 от 20 марта 2003 г. выдано Министерством
Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Учредитель: Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Адрес редакции и издателя: 360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Отпечатано в редакционно-издательском отделе КБНЦ РАН по адресу:
360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2



DOI: 10.35330/1991-6639