

Print ISSN 1991-6639
Online ISSN 2949-1940

Том 27 № 3



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 № 3 2025

Сквозной номер выпуска – 125

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. 3 2025

Continuous issue number – 125

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 № 3 2025

<u>Редакционная коллегия</u>	5
---	---

Математика и механика

Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков для непрерывной стохастической задачи управления типа Россера <i>Р. О. МАСТАЛИЕВ</i>	11
---	----

Информационные технологии и телекоммуникации

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Нейросетевая модель оценки надежности контрагентов в системе закупок металлургического предприятия <i>В.В. ДБЯЧКОВА, Е.С. КОВАЛЕНКО</i>	29
---	----

Разработка системы управления курсом беспилотного автомобиля на основе обучения с подкреплением <i>А. Е. УШАКОВ, М. М. СТЕБУЛЯНИН, М. А. ШЕРЕУЖЕВ, Ф. В. ДЕВЯТКИН</i>	39
---	----

Исследование влияния электромагнитных процессов BLDC-мотора на показания гироскопа <i>Х. ФАМ ЧОНГ, А. А. ШИЛИН, М. Т. НГУЕН</i>	55
---	----

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Имитационное моделирование подсистемы сжигания черного щелока в топке содорегенерационного котлоагрегата <i>Д. А. КОВАЛЁВ</i>	73
---	----

Информатика и информационные процессы

Разработка ИАС для решения задачи прогнозирования промышленной экономики <i>В. Р. ИКСАНОВ</i>	88
--	----

Искусственный интеллект в пищевой отрасли <i>С. В. КОРШИКОВ</i>	99
--	----

Автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов <i>Д. В. ТИХОНОВ</i>	107
---	-----

Агрономия, лесное и водное хозяйство

Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Грибные заболевания пшеницы в России: распространение, симптомы, методы борьбы и экономический ущерб (обзор литературы) <i>Ф. ДУКСИ, М. Х. ВАЛЛИ, М. ЗАРГАР</i>	121
---	-----

Потери лесного покрова в Республике Бурятия: причины и перспективы <i>М. А. НОВИКОВА, Р. М. БОБРОВСКАЯ, М. Р. ВАГИЗОВ, С. В. НАВАЛИХИН</i>	133
---	-----

Экономика

Региональная и отраслевая экономика

Приоритетные направления пространственного развития сельского хозяйства России <i>А. И. АЛТУХОВ</i>	143
Цифровая кооперация в пассажирских авиаперевозках как фактор повышения качества обслуживания пассажиров <i>К. К. ЛАВСКАЯ, С. Е. БАРЫКИН, С. Г. БОЖУК, Е. А. МАКАРЕНКО</i>	154

Менеджмент

Демографический фактор в ментальных войнах <i>М. В. КАРМАНОВ, И. А. КИСЕЛЕВА, В. И. КУЗНЕЦОВ, А. М. ТРАМОВА</i>	170
--	-----

Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Экономико-математическое моделирование и инструментальные методы для повышения эффективности подготовки спортивного резерва <i>Т. С. ДЕМЬЯНЕНКО, Е. А. КОМОВ, Л. М. СЕМЕНЕНКО</i>	179
---	-----

Исторические науки

Дешифровка надписи сосуда № 2 из кургана Ошад майкопской культуры <i>А. К. ВОРОКОВ</i>	189
---	-----

Юбиляры

<i>Валерию Васильевичу Кузьминову – 75 лет</i>	210
<i>Александру Николаевичу Сёмину – 70 лет</i>	211
<i>Анатолию Феоодовичу Шевхужеву – 70 лет</i>	214

Правила для авторов журнала	216
--	-----

CONTENTS

News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS Vol. 27 No. 3 2025

Editorial Board	5
------------------------------	---

Mathematics and Mechanics

First and second order necessary optimality conditions for a continuous stochastic control problem of Rosser type <i>R.O. MASTALIYEV</i>	11
---	----

Information Technologies and Telecommunications

System analysis, management and information processing, statistics

A neural network model for assessing the reliability of counterparties within a metallurgical enterprise's procurement system <i>V.V. DYACHKOVA, E.S. KOVALENKO</i>	29
--	----

Development of an unmanned vehicle course control system based on Reinforcement Learning <i>A.E. USHAKOV, M.M. STEBULYANIN, M.A. SHEREUZHEV, F.V. DEVYATKIN</i>	39
--	----

The effect of electromagnetic processes on gyroscope readings in BLDC motors <i>H. PHAM TRONG, A.A. SHILIN, M.T. NGUYEN</i>	55
--	----

Automation and control of technological processes and productions

Simulation modeling of black liquor combustion subsystem in a recovery boiler furnace <i>D.A. KOVALEV</i>	73
--	----

Informatics and information processes

IAS development for industrial economic forecasting <i>V.R. IKSANOV</i>	88
--	----

Artificial intelligence in the food industry <i>S.V. KORSHIKOV</i>	99
---	----

Automated information support in technical diagnostics for radio-electronic equipment within software and hardware complexes <i>D.V. TIKHONOV</i>	107
--	-----

Agronomy, Forestry and Water Management

Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine

Fungal diseases of wheat in Russia: spread, symptoms, control methods and economic damage – a review <i>F. DUKSI, M.H. WALLI, M. ZARGAR</i>	121
--	-----

Reforestation processes in the Republic of Buryatia: trends and prospects <i>M.A. NOVIKOVA, R.M. BOBROVSKAYA, M.R. VAGIZOV, S.V. NAVALIKHIN</i>	133
--	-----

Economy

Regional and sectoral economics

Priority directions for spatial development of agriculture in Russia <i>A.I. ALTUKHOV</i>	143
Digital cooperation as a quality improvement factor in passenger air transportation services <i>K.K. LAVSKAYA, S.E. BARYKIN, S.G. BOZHUK, E.A. MAKARENKO</i>	154

Management

The demographic factor in mental warfare <i>M.V. KARMANOV, I.A. KISELEVA, V.I. KUZNETSOV, A.M. TRAMOVA</i>	170
---	-----

Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

Economic-mathematical modeling and instrumental methods for improving efficiency of sports reserve training <i>T.S. DEMYANENKO, E.A. KOMOV, L.M. SEMENENKO</i>	179
--	-----

Historical Sciences

Deciphering the inscription of vessel No. 2 from the Oshad mound of the Maikop culture <i>A.K. VOROKOV</i>	189
---	-----

Anniversaries

<i>Valery Vasilyevich Kuzminov is 75 years old</i>	210
<i>Alexander Nikolaevich Semin is 70 years old</i>	211
<i>Anatoly Foadovich Shevkhuzhev is 70 years old</i>	214

Publishing regulations for the authors	216
---	-----

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

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

Заместитель главного редактора:

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

Ответственный секретарь:

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

Члены редакционной коллегии:

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

Адуков Рухман 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, директор Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра 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. Bizhoev, Doctor of Philology, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

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

Kasbolat F. Dзамikhov, 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, Director of the 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

УДК 519.21:517.977.56

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-11-28

EDN: BHZCDK

Научная статья

Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков для непрерывной стохастической задачи управления типа Россера

Р. О. Масталиев

Университет «Азербайджан»

Az1007, Азербайджан, г. Баку, ул. Дж. Гаджибейли, 71

Институт систем управления Министерства науки и образования Азербайджанской Республики

Az1141, Азербайджан, г. Баку, ул. Б. Вахабзаде, 68

Аннотация. Данная работа посвящена изучению особого, в классическом смысле, случая и выводу необходимых условий оптимальности второго порядка в терминах второй вариации минимизируемого функционала в стохастической задаче управления, описываемой системой стохастических нелинейных гиперболических уравнений первого порядка, записанной в канонической форме. **Результаты.** Для одной стохастической задачи оптимального управления, описываемой стохастической системой нелинейных гиперболических уравнений первого порядка, получены необходимые условия оптимальности первого и второго порядков, которые представляют собой соответственно стохастические аналоги уравнения Эйлера и условия оптимальности классической экстремали. **Методы.** При получении результатов использовались теории оптимального управления и вариационного исчисления с учетом стохастических свойств рассматриваемой задачи. Подобные задачи управления возникают при оптимизации ряда химико-технологических процессов под влиянием случайных воздействий.

Ключевые слова: стохастическая система типа Россера, винеровский случайный процесс, оптимальность, аналог уравнения Эйлера, условия оптимальности второго порядка

Поступила 27.03.2025, одобрена после рецензирования 28.04.2025, принята к публикации 07.05.2025

Для цитирования. Масталиев Р. О. Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков для непрерывной стохастической задачи управления типа Россера // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 11–28. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-11-28

MSC: 93E20

Original article

First and second order necessary optimality conditions for a continuous stochastic control problem of Rosser type

R.O. Mastaliyev

Azerbaijan University

Az1007, Azerbaijan, Baku, 71 J. Hajibeyli street

Institute of Control Systems of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan

Az1141, Azerbaijan, Baku, 68 B. Vahabzade street

Abstract. This paper is devoted to the study of a singular, in the classical sense, case and the derivation second order necessary optimality conditions in terms of the second variation of the minimizable functional in the stochastic control problem described by first order stochastic nonlinear hyperbolic equations system written in the canonical form. **Results.** For one stochastic optimal control problem described by a stochastic

system of first-order nonlinear hyperbolic equations, necessary conditions of first- and second-order optimality are obtained, which are, respectively, stochastic analogs of the Euler equation and optimality conditions for the classical extremal. **Methods.** In obtaining the results, theories of optimal control and calculus of variations were used, taking into account the stochastic properties of the problem under consideration. Similar control problems arise in the optimization of a number of chemical-technological processes under the influence of random effects.

Keywords: Rosser-type stochastic system, Wiener random process, optimality, analogue of Euler equation, second-order optimality conditions

Submitted 27.03.2025,

approved after reviewing 28.04.2025,

accepted for publication 07.05.2025

For citation. Mastaliyev R.O. First and second order necessary optimality conditions for a continuous stochastic control problem of Rosser type. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 11–28. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-11-28

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам, связанным с получением необходимых условий оптимальности первого и второго порядка, в том числе в терминах первой и второй вариации минимизируемого функционала качества для задач оптимального управления для детерминированных динамических систем, описываемых гиперболическими уравнениями первого порядка, посвящено достаточное количество работ [1–3 и др.].

Подобная задача оптимального управления в стохастическом случае рассмотрена в работах [4, 5], и при этом установлены необходимые условия оптимальности первого порядка (аналог принципа максимума Понтрягина, линеаризованный принцип максимума, аналог уравнения Эйлера [6, 7]).

Актуальность исследований в этом направлении обусловливается необходимостью наиболее точного описания, например, систем автоматического управления, ряда химико-технологических процессов [8, 9], реалистичным вариантом которого является стохастическое описание, учитывающее воздействие на объект управления случайных шумов.

Цель исследования – изучение особого, в классическом смысле, случая и вывод необходимых условий оптимальности второго порядка в терминах второй вариации минимизируемого функционала в стохастической задаче управления, описываемой системой стохастических нелинейных гиперболических уравнений первого порядка, записанной в канонической форме.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Допустим, что управляемый процесс в заданной области $D = [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$ описывается следующей системой стохастических нелинейных дифференциальных уравнений типа Россера:

$$\begin{aligned} \frac{\partial z(t, x)}{\partial t} &= f(t, x, z, y, u) + p(t, x, z) \frac{\partial W_1(t, x)}{\partial t}, \\ \frac{\partial y(t, x)}{\partial x} &= g(t, x, z, y, u) + q(t, x, y) \frac{\partial W_2(t, x)}{\partial x}, (t, x) \in D \end{aligned} \quad (1)$$

с краевыми условиями типа Гурса:

$$z(t_0, x) = a(x), x \in [x_0, x_1], y(t, x_0) = b(t), t \in [t_0, t_1]. \quad (2)$$

Здесь $(z(t, x), y(t, x))$ – $(n + m)$ -мерная искомая вектор-функция; $f(t, x, z, y, u)(g(t, x, z, y, u))$ – заданная $n(m)$ -мерная вектор-функция, непрерывная по совокупности переменных вместе с частными производными (z, y) до второго порядка, при этом также предполагается, что существуют непрерывные производные $f_{zu}, f_{yu}, f_{uu}, g_{zu}, g_{yu}, g_{uu}$; $p(t, x, z)(q(t, x, y))$ – $(n \times n)((m \times m))$ -мерная непрерывная по совокупности переменных вместе с частными производными по $z(y)$ матричная функция; белые шумы $\frac{\partial W_1(t, x)}{\partial t}, \frac{\partial W_2(t, x)}{\partial x}$ являются производными соответственно по t и x от двухпараметрического винеровского процесса $W_1(t, x), W_2(t, x)$ [10, 11], а $a(x), b(t)$ – заданные измеримые и ограниченные на $[x_0, x_1], [t_0, t_1]$ соответственно вектор-функции соответствующих размерностей.

В качестве допустимых управлений берутся функции из класса измеримых относительно неубывающей борелевской σ – алгебры $\mathcal{F} = \bar{\sigma}(W(\tau, s), t_0 \leq \tau \leq t, x_0 \leq s \leq x)$ и ограниченных на D r -мерных вектор-функций $u(t, x)$ со значениями из заданного непустого, ограниченного и открытого множества $U \subset R^r(u(t, x) \in L_\infty(D, U))$.

Решение системы (1)–(2), соответствующее определенному допустимому управлению $u(t, x)$, понимается в смысле [12].

Всюду предполагается, что каждому допустимому управлению соответствующее решение системы (1)–(2) существует и единственно в D .

Рассмотрим задачу о минимуме функционала

$$S(u) = E \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} F_3(t, x, z(t, x), y(t, x), u(t, x)) dx dt + \right. \\ \left. + \int_{x_0}^{x_1} F_1(x, z(t_1, x)) dx + \int_{t_0}^{t_1} F_2(t, y(t, x_1)) dt \right\}, \quad (3)$$

определенного на решениях краевой задачи (1)–(2), порожденных всевозможными допустимыми управлениями.

Здесь $F_1(x, z), F_2(t, y), F_3(t, x, z, y, u)$ – заданные скалярные функции, непрерывные по совокупности переменных вместе с частными производными по вектору состояния до второго порядка, и существуют непрерывные производные $\frac{\partial^2 F_3}{\partial z \partial u}, \frac{\partial^2 F_3}{\partial y \partial u}$. E – знак математического ожидания.

Нашей целью является вывод стохастического аналога уравнения Эйлера и необходимых условий оптимальности второго порядка для классической экстремали [6, 7] в рассматриваемой стохастической задаче управления с распределенными параметрами (1)–(3).

2. ФОРМУЛА ПРИРАЩЕНИЯ В ТЕРМИНАХ ВАРИАЦИИ КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА

Пусть $(u(t, x), z(t, x), y(t, x))$ – фиксированный, а $(\bar{u}(t, x) = u(t, x) + \Delta u(t, x), \bar{z}(t, x) = z(t, x) + \Delta z(t, x), \bar{y}(t, x) = y(t, x) + \Delta y(t, x))$ – произвольный допустимые процессы.

Введем аналог функции Гамильтона – Понтрягина

$$H(t, x, z, y, u, \psi, \lambda) = -F_3(t, x, z, y, u) + \psi' f(t, x, z, y, u) + \lambda' g(t, x, z, y, u)$$

и обозначения типа

$$\Delta_v f[t, x] = f(t, x, z(t, x), y(t, x), v) - f(t, x, z(t, x), y(t, x), u(t, x)),$$

$$H_z[t, x] = H_z(t, x, z(t, x), y(t, x), u(t, x), \psi(t, x), \lambda(t, x)).$$

Здесь $(\psi(t, x), \lambda(t, x), \alpha(t, x), \beta(t, x)) \in L_\infty(D, R^n) \times L_\infty(D, R^m) \times L_\infty(D, R^{n \times n}) \times L_\infty(D, R^{m \times m})$ являются решениями следующей стохастической сопряженной задачи:

$$\begin{aligned} \psi_t(t, x) &= -\frac{\partial H(t, x, z, y, u, \psi, \lambda)}{\partial z} + \alpha(t, x) \frac{\partial W(t, x)}{\partial t}, & \psi(t_1, x) &= \frac{\partial F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z}, \\ \lambda_x(t, x) &= -\frac{\partial H(t, x, z, y, u, \psi, \lambda)}{\partial y} + \beta(t, x) \frac{\partial W(t, s)}{\partial s}, & \lambda(t, x_1) &= \frac{\partial F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y}. \end{aligned}$$

Применив формулу Тейлора к выражениям $F_1(x, \bar{z}(t_1, x)) - F_1(x, z(t_1, x))$, $F_2(t, \bar{y}(t, x_1)) - F_2(t, y(t, x_1))$, $H(t, x, \bar{z}, \bar{y}, \bar{u}, \psi, \lambda) - H(t, x, z, y, u, \psi, \lambda)$ и учитывая введенные обозначения, получаем

$$\begin{aligned} \Delta S(u) &= S(\bar{u}(t, x)) - S(u(t, x)) = E \left\{ - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} H'_u[t, x] \Delta u(t, x) dx dt + \right. \\ &\quad + \frac{1}{2} \int_{x_0}^{x_1} \Delta z'(t_1, x) \frac{\partial^2 F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z^2} \Delta z(t_1, x) dx + \\ &\quad + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \Delta y'(t, x_1) \frac{\partial^2 F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y^2} \Delta y(t, x_1) dt - \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \Delta z(t, x) H_{zz}[t, x] \Delta z(t, x) dx dt - \\ &\quad - \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \Delta z'(t, x) H_{zy}[t, x] \Delta y(t, x) dx dt - \\ &\quad - \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \Delta y'(t, x) H_{yz}[t, x] \Delta z(t, x) dx dt - \\ &\quad - \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \Delta y'(t, x) H_{yy}[t, x] \Delta y(t, x) dx dt - \\ &\quad - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \Delta u'(t, x) H_{uz}[t, x] \Delta z(t, x) dx dt - \\ &\quad \left. - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \Delta u'(t, x) H_{uy}[t, x] \Delta y(t, x) dx dt \right\} + \eta_1(t, x; \Delta u), \end{aligned} \quad (4)$$

где по определению

$$\eta_1(t, x; \Delta u) = E \left\{ \int_{x_0}^{x_1} o_1(\|\Delta z(t_1, x)\|^2) dx + \int_{t_0}^{t_1} o_2(\|\Delta y(t, x_1)\|^2) dt - \right.$$

$$- \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} o_3(\|\Delta z(t, x)\| + \|\Delta y(t, x)\| + \|\Delta u(t, x)\|)^2 dx dt \Bigg\}, \quad (5)$$

где $\|\Delta z\|$ – норма вектора $\Delta z = (\Delta z_1, \Delta z_2, \dots, \Delta z_n)$, определяемая формулой $\|\Delta z\| = \sum_{i=1}^n |\Delta z_i|$, а всюду $\frac{o_i(\alpha^2)}{\alpha^2} \rightarrow 0$ при $\alpha \rightarrow 0$.

Теперь покажем, что почти для всех $(t, x) \in D$ справедливы следующие оценки:

$$\|\Delta z(t, x)\| \leq K_1 E \left(\int_{t_0}^t \|\Delta u(\tau, x)\| d\tau + \int_{t_0}^t \int_{x_0}^x \|\Delta u(\tau, s)\| ds d\tau \right), \quad (6)$$

$$\|\Delta y(t, x)\| \leq K_2 E \left(\int_{x_0}^x \|\Delta u(t, s)\| ds + \int_{t_0}^t \int_{x_0}^x \|\Delta u(\tau, s)\| ds d\tau \right), \quad (7)$$

где $K_i = \text{const} > 0, i = 1, 2$.

Сначала заметим, что из системы уравнений (1) с учетом (2) получим

$$\begin{aligned} \Delta z(t, x) &= \int_{t_0}^t [f(\tau, x, \bar{z}, \bar{y}, \bar{u}) - f(\tau, x, z, y, u)] d\tau + \\ &+ \int_{t_0}^t [p(\tau, x, \bar{z}) - p(\tau, x, z)] \frac{\partial W_1(\tau, x)}{\partial \tau} d\tau, \\ \Delta y(t, x) &= \int_{x_0}^x [g(t, s, \bar{z}, \bar{y}, \bar{u}) - f(t, s, z, y, u)] ds + \\ &+ \int_{x_0}^x [q(t, s, \bar{z}) - q(t, s, z)] \frac{\partial W_2(t, s)}{\partial s} ds. \end{aligned}$$

Отсюда, переходя к норме и используя условие Липшица, а также принимая от обеих частей полученных неравенств математические ожидания, делаем вывод:

$$\begin{aligned} E\|\Delta z(t, x)\| &\leq E \left\{ \int_{t_0}^t \|\Delta u(\tau, x)\| d\tau + L_1 \int_{t_0}^t (\|\Delta z(\tau, x)\| + \|\Delta y(\tau, x)\|) d\tau \right\}, \\ E\|\Delta y(t, x)\| &\leq E \left\{ \int_{x_0}^x \|\Delta u(t, s)\| ds + L_2 \int_{x_0}^x (\|\Delta z(t, s)\| + \|\Delta y(t, s)\|) ds \right\}. \end{aligned}$$

Применяя к последним двум неравенствам известную лемму Гронуолла – Вендроффа [13], имеем

$$E\|\Delta z(t, x)\| \leq E \left\{ \int_{t_0}^t \|\Delta u(\tau, x)\| d\tau + L_3 \int_{t_0}^t \|\Delta y(\tau, x)\| d\tau \right\},$$

$$E\|\Delta y(t, x)\| \leq E \left\{ \int_{x_0}^x \|\Delta u(t, s)\| ds + L_4 \int_{x_0}^x \|\Delta z(t, s)\| ds \right\},$$

где $L_i = \text{const} > 0, i = \overline{1, 4}$, и, наконец, усиливая последние неравенства друг другом и снова применяя лемму Гронуолла – Вендроффа, получаем справедливость оценки (6) для $\|\Delta z(t, x)\|$ и оценку (7) для $\|\Delta y(t, x)\|$, что и следовало доказать.

Специальное приращение допустимого управления $u(t, x)$ определим по формуле

$$\Delta u_\varepsilon(t, x) = \varepsilon \delta u(t, x), (t, x) \in D. \quad (8)$$

Здесь ε – достаточно малое по абсолютной величине число, а $\delta u(t, x) \in L_\infty(D, U)$ – произвольная измеримая и ограниченная в D r -мерная вектор-функция (вариация управления).

Здесь мы воспользовались тем фактором, что область управления U – открытое множество.

Через $(\Delta z_\varepsilon(t, x), \Delta y_\varepsilon(t, x))$ обозначим специальное приращение системы (1)–(2), соответствующее специальному приращению (8) управления.

Используя оценки (6), (7) и формулу (8) по схеме, аналогичной из [14, 15], получаем справедливость разложений

$$\begin{aligned} \Delta z_\varepsilon(t, x) &= \varepsilon \delta z(t, x) + o(\varepsilon; t, x), \\ \Delta y_\varepsilon(t, x) &= \varepsilon \delta y(t, x) + o(\varepsilon; t, x). \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь $(\delta z(t, x), \delta y(t, x))$ – вариация вектора состояния, являющаяся решением стохастического уравнения в вариациях

$$\begin{aligned} (\delta z)_t &= f_z[t, x] \delta z + f_y[t, x] \delta y + f_u[t, x] \delta u + p_z[t, x] \delta z \frac{\partial W_1(t, x)}{\partial t}, \\ (\delta y)_x &= g_z[t, x] \delta z + g_y[t, x] \delta y + g_u[t, x] \delta u + q_y[t, x] \delta y \frac{\partial W_2(t, x)}{\partial x}, \end{aligned} \quad (10)$$

с нулевой граничной условий

$$\delta z(t_0, x) = 0, x \in [x_0, x_1], \delta y(t, x_0) = 0, t \in [t_0, t_1]. \quad (11)$$

Теперь, принимая во внимание (5), (8), (9), из (4) убеждаемся, что первая $(\delta^1 S(u; \delta u))$ и вторая $(\delta^2 S(u; \delta u))$ вариации функционала $S(u)$ (в классическом смысле) определяются соответственно формулами:

$$\begin{aligned} \delta^1 S(u; \delta u) &= -E \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} H'_u[t, x] \delta u(t, x) dx dt, \\ \delta^2 S(u; \delta u) &= E \left\{ \int_{x_0}^{x_1} \delta z'(t_1, x) \frac{\partial^2 F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z^2} \delta z(t_1, x) dx \right. \\ &\quad + \int_{t_0}^{t_1} \delta y'(t, x_1) \frac{\partial^2 F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y^2} \delta y(t, x_1) dt - \\ &\quad \left. - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} [\delta z'(t, x) H_{zz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta z'(t, x) H_{zy}[t, x] \delta y(t, x) + \right. \\ &\quad \left. + \delta y'(t, x) H_{yz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta y'(t, x) H_{yy}[t, x] \delta y(t, x)] dx dt \right\} \end{aligned}$$

$$+ \delta y'(t, x) H_{yz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta y'(t, x) H_{yy}[t, x] \delta y(t, x)] dx dt + \\ - 2 \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \delta u'(t, x) H_{uz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta u'(t, x) H_{uy}[t, x] \delta y(t, x)] dx dt \Bigg\}.$$

Заметим, что последние две формулы будут иметь важное значение для дальнейшего исследования.

3. НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

Как известно (см., напр., [16]), вдоль оптимального процесса $(u(t, x), z(t, x), y(t, x))$ первая вариация (в классическом смысле) функционала (3) должна равняться нулю, а вторая вариация должна быть неотрицательной:

$$\delta^1 S(u; \delta u) = -E \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} H'_u[t, x] \delta u(t, x) dx dt = 0, \quad (12)$$

$$\delta^2 S(u; \delta u) = E \left\{ \int_{x_0}^{x_1} \delta z'(t_1, x) \frac{\partial^2 F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z^2} \delta z(t_1, x) dx + \right. \\ \left. + \int_{t_0}^{t_1} \delta y'(t, x_1) \frac{\partial^2 F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y^2} \delta y(t, x_1) dt - \right. \quad (13)$$

$$- \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} [\delta z'(t, x) H_{zz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta z'(t, x) H_{zy}[t, x] \delta y(t, x) + \\ + \delta y'(t, x) H_{yz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta y'(t, x) H_{yy}[t, x] \delta y(t, x)] dx dt + \\ \left. - 2 \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \delta u'(t, x) H_{uz}[t, x] \delta z(t, x) + \delta u'(t, x) H_{uy}[t, x] \delta y(t, x)] dx dt \right\} \geq 0.$$

Из тождества (12), в силу произвольности $\delta u(t, x) \in L_\infty(D, R^r)$, следует аналог уравнения Эйлера для рассматриваемой задачи (1)–(3).

Сформулируем полученный результат.

Теорема 1 (аналог уравнения Эйлера [6]). Для оптимальности допустимого управления $u(t, x)$ необходимо, чтобы соотношение

$$E H_u(\theta, \xi, z(\theta, \xi), y(\theta, \xi), u(\theta, \xi), \psi(\theta, \xi), \xi(\theta, \xi)) = 0 \quad (14)$$

выполнялось для всех $(\theta, \mu) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$.

Здесь и в дальнейшем $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$ — произвольная точка Лебега (правильная точка [1, 2]) управления $u(t, x)$.

Поскольку условие (14) является необходимым условием оптимальности первого порядка в рассматриваемой стохастической задаче оптимального управления, оно несет ограниченную информацию об управлении, подозрительном на оптимальность. Чтобы устранить этот недостаток, надо иметь необходимые условия оптимальности второго порядка

несмотря на то, что неравенство (13) в принципе является необходимым условием оптимальности второго порядка, но являясь всего лишь неявным необходимым условием оптимальности. В свою очередь это диктует получить явные необходимые условия оптимальности второго порядка, явно выраженные непосредственно через параметры стохастической задачи (1)–(3). Займемся этим вопросом.

Интерпретируя уравнения в вариациях (5), (6) как линейные неоднородные стохастические уравнения относительно $\delta z(t, x)$, $\delta y(t, x)$, на основе аналога формулы Коши из [12] получим

$$\delta z(t, x) = \int_{t_0}^t V_{11}(t, x; \tau, x) f_u[\tau, x] \delta u(\tau, x) d\tau + \int_{t_0}^t \int_{x_0}^x A(t, x; \tau, s) \delta u(\tau, s) ds d\tau, \quad (15)$$

$$\delta y(t, x) = \int_{x_0}^x V_{22}(t, x; t, s) g_u[t, s] \delta u(t, s) ds + \int_{t_0}^t \int_{x_0}^x B(t, x; \tau, s) \delta u(\tau, s) ds d\tau, \quad (16)$$

где по определению

$$A(t, x; \tau, s) = \frac{\partial V_{11}(t, x; \tau, s)}{\partial x} f_u[\tau, s] + \frac{\partial V_{12}(t, x; \tau, s)}{\partial x} g_u[\tau, s],$$

$$B(t, x; \tau, s) = \frac{\partial V_{21}(t, x; \tau, s)}{\partial t} f_u[\tau, s] + \frac{\partial V_{22}(t, x; \tau, s)}{\partial t} g_u[\tau, s].$$

Здесь $V_{ij}(t, x; \tau, s)$, $(t_0 \leq \tau \leq t \leq t_1, x_0 \leq s \leq x \leq x_1)$, $i, j = 1, 2$ – матричные функции, являющиеся решениями следующих стохастических задач [12]:

$$\frac{\partial V_{11}(t, x; \tau, s)}{\partial \tau} = -V_{11}(t, x; \tau, s) f_z[\tau, s] - V_{12}(t, x; \tau, s) g_z[\tau, s] -$$

$$-V_{11}(t, x; \tau, s) p[\tau, s] \frac{\partial W(\tau, s)}{\partial \tau},$$

$$\frac{\partial V_{12}(t, x; \tau, s)}{\partial s} = V_{11}(t, x; \tau, s) f_y[\tau, s] - V_{12}(t, x; \tau, s) g_y[\tau, s] -$$

$$-V_{12}(t, x; \tau, s) q[\tau, s] \frac{\partial W(\tau, s)}{\partial s},$$

$$\frac{\partial V_{21}(t, x; \tau, s)}{\partial \tau} = -V_{21}(t, x; \tau, s) f_z[\tau, s] - V_{22}(t, x; \tau, s) g_z[\tau, s] -$$

$$-V_{21}(t, x; \tau, s) p[\tau, s] \frac{\partial W(\tau, s)}{\partial \tau},$$

$$\frac{\partial V_{22}(t, x; \tau, s)}{\partial s} = -V_{21}(t, x; \tau, s) f_y[\tau, s] - V_{22}(t, x; \tau, s) g_y[\tau, s] -$$

$$-V_{22}(t, x; \tau, s) q[\tau, s] \frac{\partial W(\tau, s)}{\partial s},$$

$$V_{11}(t, x; t, s) = E_1, V_{12}(t, x; t, x) = 0, t_0 \leq \tau \leq t, V_{21}(t, x; t, s) = 0,$$

$$V_{22}(t, x; t, s) = E_2, x_0 \leq s \leq x,$$

где E_1, E_2 – единичные матрицы соответствующих размерностей.

Для дальнейших изложений введем в рассмотрение $(n \times n)$ -матричную функцию $R(x, \tau, s)$ и $(m \times m)$ -матричную функцию $Q(t, \tau, s)$ посредством следующих формул:

$$\begin{aligned}
 R(x, \tau, s) &= \int_{\max(\tau, s)}^{t_1} V'_{11}(t, x; \tau, x) H_{zz}[t, x] V_{11}(t, x; s, x) dt - \\
 &\quad - V'_{11}(t_1, x; \tau, x) \frac{\partial^2 F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z^2} V_{11}(t_1, x; s, x), \\
 Q(t, \tau, s) &= \int_{\max(\tau, s)}^{x_1} V'_{22}(t, x; t, x) H_{yy}[t, x] V_{22}(t, x; t, s) dx - \\
 &\quad - V'_{22}(t, x_1; t, \tau) \frac{\partial^2 F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y^2} V_{22}(t, x_1; t, s).
 \end{aligned}$$

Отсюда, следуя работам [1, 2], при помощи представлений (15), (16) решений δz и δy вторую вариацию критерия качества (3), определяемую формулой (13), можно преобразовать к виду

$$\begin{aligned}
 \delta^2 S(u; \delta u) &= E \left\{ - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \int_{t_0}^{t_1} \delta u'(\tau, x) f'_u[\tau, x] R(x, \tau, s) f_u[s, x] \delta u(s, x) ds dx d\tau \right. \\
 &\quad - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \int_{x_0}^{x_1} \delta u'(t, \tau) g'_u[t, \tau] Q(t, \tau, s) g_u[t, s] \delta u(t, s) d\tau ds dt - \\
 &\quad - 2 \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \left[\int_t^{t_1} \delta u'(\tau, x) H_{uz}[\tau, x] V_{11}(\tau, x; t, x) d\tau \right] f_u[t, x] \delta u(t, x) dx dt - \\
 &\quad - 2 \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \left[\int_x^{x_1} \delta u'(t, s) H_{uy}[t, s] V_{22}(t, s; t, x) ds \right] g_u[t, x] \delta u(t, x) dx dt \\
 &\quad \left. - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \delta u'(t, x) H_{uu}[t, x] \delta u(t, x) \right\} + \eta_2(t, x; \delta u), \tag{17}
 \end{aligned}$$

где по определению

$$\begin{aligned}
 \eta_2(t, x; \delta u) &= \\
 &= E \left\{ - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} [\delta z'(t, x) H_{zy}[t, x] \delta y(t, x) + \delta y'(t, x) H_{yz}[t, x] \delta z(t, x)] dx dt - \right. \\
 &\quad \left. - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \delta u'(t, x) (H_{uz}[t, x] \eta_3(t, x; \delta u) + H_{uy}[t, x] \eta_4(t, x; \delta u)) dx dt + \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{x_0}^{x_1} \eta'_3(t_1, x) \frac{\partial^2 F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z^2} \delta z(t_1, x) dx + \\
 & + \int_{t_0}^{t_1} \eta'_4(t, x_1) \frac{\partial^2 F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y^2} \delta y(t, x_1) dt - \\
 & - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \left(\int_{t_0}^t V_{11}(t, x; \tau, x) f_u[\tau, x] \delta u(\tau, x) d\tau \right)' H_{zz}[t, x] \eta_3(t, x) dx dt - \\
 & - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \left(\int_{x_0}^x V_{22}(t, x; t, s) g_u[t, s] \delta u(t, s) ds \right)' H_{yy}[t, x] \eta_4(t, x; \delta u) dx dt - \\
 & - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \eta'_3(t, x; \delta u) H_{zz}[t, x] \delta z(t, x) dx dt - \\
 & - \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} \eta'_4(t, x; \delta u) H_{yy}[t, x] \delta y(t, x) dx dt + \\
 & + \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} V_{11}(t_1, x; t, x) f_u[t, x] \delta u(t, x) \frac{\partial^2 F_1(x, z(t_1, x))}{\partial z^2} \eta_3(t_1, x; \delta u) dx dt + \\
 & + \int_{t_0}^{t_1} \int_{x_0}^{x_1} V_{22}(t, x_1; t, s) g_u[t, x] \delta u(t, x) \frac{\partial^2 F_2(t, y(t, x_1))}{\partial y^2} \eta_4(t, x_1; \delta u) dx dt \Bigg\}.
 \end{aligned}$$

Здесь по определению

$$\begin{aligned}
 \eta_3(t, x; \delta u) &= \int_{t_0}^t \int_{x_0}^x A(t, x; \tau, s) \delta u(\tau, s) ds d\tau, \\
 \eta_4(t, x; \delta u) &= \int_{t_0}^t \int_{x_0}^x B(t, x; \tau, s) \delta u(\tau, s) ds d\tau.
 \end{aligned}$$

Теперь, считая, что $u(t, x)$ является оптимальным управлением, его специальную вариацию построим по формуле

$$\delta u_\varepsilon(t, x) = \begin{cases} l_1(t), & (t, x) \in D_\varepsilon = [t_0, t_1] \times [\xi, \xi + \varepsilon), \\ 0, & (t, x) \in D \setminus D_\varepsilon, \end{cases} \quad (18)$$

где $\varepsilon > 0$ — достаточно малое число, $\xi \in [x_0, x_1)$, а $l_1(t) \in KC_r([t_0, t_1], R^r)$.

Обозначим через $(\delta z_\varepsilon(t, x), \delta y_\varepsilon(t, x))$ решение стохастического уравнения в вариациях (10)–(11), соответствующее вариации (17) управления $u(t, x)$.

Тогда из представлений (15), (16) следует, что почти для всех (t, x)

$$\delta z_\varepsilon(t, x) \sim \begin{cases} \varepsilon^0, (t, x) \in [t_0, t_1] \times [\xi, \xi + \varepsilon), \\ \varepsilon, (t, x) \in [t_0, t_1] \times [\xi + \varepsilon, x_1], \end{cases} \quad (19)$$

$$\delta y_\varepsilon(t, x) \sim \varepsilon, (t, x) \in [t_0, t_1] \times [\xi, x_1]. \quad (20)$$

Принимая во внимание оценки (19), (20) и требование неотрицательности второй вариации функционала (3) на оптимальном управлении, из представления (17) получим

$$\begin{aligned} \delta^2 S(u; \delta u_\varepsilon) = & -E \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} l'_1(\tau) f'_u[\tau, \xi] R(\xi, \tau, s) f_u[s, \xi] l_1(s) ds d\tau + \int_{t_0}^{t_1} l'_1(t) H_{uu}[t, \xi] l_1(t) dt \right. \\ & \left. + 2 \int_{t_0}^{t_1} \left[\int_t^{t_1} l'_1(\tau) H_{uz}[\tau, \xi] V_{11}(\tau, \xi; t, \xi) d\tau \right] f_u[t, \xi] l_1(t) dt \right\} + o(\varepsilon) \geq 0. \end{aligned}$$

Отсюда в силу малости $\varepsilon > 0$ имеет место соотношение

$$\begin{aligned} E \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} l'_1(\tau) f'_u[\tau, \xi] R(\xi, \tau, s) f_u[s, \xi] l_1(s) ds d\tau + \int_{t_0}^{t_1} l'_1(t) H_{uu}[t, \xi] l_1(t) dt + \right. \\ \left. + 2 \int_{t_0}^{t_1} \left[\int_t^{t_1} l'_1(\tau) H_{uz}[\tau, \xi] V_{11}(\tau, \xi; t, \xi) d\tau \right] f_u[t, \xi] l_1(t) dt \right\} \leq 0 \end{aligned}$$

для всех $\xi \in [x_0, x_1]$, и $l_1(t) \in KC_r([t_0, t_1], R^r)$.

Исследуя неравенство (13) с учетом представления (17), на вариации управления вида

$$\delta u_\varepsilon(t, x) = \begin{cases} l_2(x), (t, x) \in D_\varepsilon = [\theta, \theta + \varepsilon) \times [x_0, x_1], \\ 0, (t, x) \in D/D_\varepsilon, \end{cases}$$

где $\varepsilon > 0$ — достаточно малое число, $\theta \in [t_0, t_1]$, $l_2(x) \in KC_r([x_0, x_1], R^r)$, симметричными рассуждениями доказывается, что вдоль оптимального процесса $(u(t, x), z(t, x), y(t, x))$ выполняется неравенство

$$\begin{aligned} E \left\{ \int_{x_0}^{x_1} \int_{x_0}^{x_1} l'_2(\tau) g_u[\theta, \tau] Q(\theta, \tau, s) g_u[\theta, s] l_2(s) ds d\tau + \right. \\ \left. + \int_{x_0}^{x_1} l'_2(x) H_{uu}[\theta, x] l_2(x) dx + \right. \\ \left. + 2 \int_{x_0}^{x_1} \left[\int_x^{x_1} l'_2(s) H_{uy}[\theta, s] V_{22}(\theta, s; \theta, x) ds \right] f_u[\theta, x] l_2(x) dx \right\} \leq 0 \end{aligned}$$

для всех $\theta \in [t_0, t_1]$, $l_2(x) \in KC_r([x_0, x_1], R^r)$.

Следовательно, доказана

Теорема 2. Если допустимое управление $u(t, x)$ удовлетворяет уравнению Эйлера (14), то для оптимальности его в задаче (1)–(3) необходимо, чтобы выполнялись соотношения:

$$E \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} l_1(\tau) f_u[\tau, \xi] R(\xi, \tau, s) f_u[s, \xi] l_1(s) ds d\tau + \int_{t_0}^{t_1} l_1(t) H_{uu}[t, \xi] l_1(t) dt + \right. \\ \left. + 2 \int_{t_0}^{t_1} \left[\int_t^{t_1} l_1(\tau) H_{uz}[\tau, \xi] V_{11}(\tau, \xi; t, \xi) d\tau \right] f_u[t, \xi] l_1(t) dt \right\} \leq 0 \quad (21)$$

для всех $\xi \in [x_0, x_1]$, $l_1(t) \in KC_r([t_0, t_1], R^r)$ и

$$E \left\{ \int_{x_0}^{x_1} \int_{x_0}^{x_1} l_2(\tau) g_u[\theta, \tau] Q(\theta, \tau, s) g_u[\theta, s] l_2(s) ds d\tau + \right. \\ \left. + \int_{x_0}^{x_1} l_2(x) H_{uu}[\theta, x] l_2(x) dx + \right. \\ \left. + 2 \int_{x_0}^{x_1} \left[\int_x^{x_1} l_2(s) H_{uy}[\theta, s] V_{22}(\theta, s; \theta, x) ds \right] f_u[\theta, x] l_2(x) dx \right\} \leq 0 \quad (22)$$

для всех $\theta \in [t_0, t_1]$, $l_2(x) \in KC_r([x_0, x_1], R^r)$.

Заметим, что полученные необходимые условия оптимальности второго порядка сами являются источниками получения ряда более простых по структуре и удобных для проверки условий оптимальности второго порядка.

Непосредственным следствием условий теоремы 2 является стохастический аналог условия Лежандра – Клебша для рассматриваемой задачи управления (1)–(3):

Следствие 1 (аналог условия Лежандра – Клебша). Вдоль оптимального процесса $(u(t, x), z(t, x), y(t, x))$ для всех $v \in R^r$, $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$

$$E v' H_{uu}[\theta, \xi] v \leq 0.$$

Введем обозначения:

$$L_1(\theta, \xi, l_1(t)) = \int_{\theta}^{t_1} [V'_{11}(\tau, \xi; \theta, \xi) H_{zu}[\tau, \xi] + R(\xi, \theta, \tau) f_u[\tau, \xi]] l_1(\tau) d\tau, \quad (23)$$

$$L_2(\theta, \xi, l_2(x)) = \int_{\xi}^{x_1} [V_{22}(\theta, s; \theta, \xi) H_{yu}[\theta, s] + Q(\theta, \xi, s) g_u[\theta, s]] l_2(s) ds, \quad (24)$$

$$P_1(\theta, \xi, l_1(t)) = \int_{\theta}^{t_1} \left[\int_t^{t_1} l'_1(s) H_{uz}[s, \xi] V_{11}(s, \xi; t, \xi) ds \right] f_u[t, \xi] l_1(t) dt + \\ + \int_{\theta}^{t_1} l'_1(t) f_u[t, \xi] \left[\int_t^{t_1} V_{11}(s, \xi; t, \xi) H_{zu}[s, \xi] l_1(s) ds \right] dt + \\ + \int_{\theta}^{t_1} l'_1(t) H_{uu}[t, \xi] l_1(t) dt + \int_{\theta}^{t_1} \int_{\theta}^{t_1} l'_1(\tau) f_u[\tau, \xi] R(\xi, \tau, s) f_u[s, \xi] l_1(s) ds d\tau, \quad (25)$$

$$\begin{aligned}
P_2(\theta, \xi, l_2(x)) = & \int_{\xi}^{x_1} \left[\int_x^{x_1} l'_2(s) H_{uy}[\theta, s] V_{22}(\theta, s; \theta, x) ds \right] g_u[\theta, x] l_2(x) dx + \\
& + \int_{\xi}^{x_1} l_2(x) g_u[\theta, x] \left[\int_x^{x_1} V_{22}(\theta, x; \theta, x) H_{yu}[\theta, s] l_2(s) ds \right] dx + \\
& + \int_{\xi}^{x_1} l'_2(x) H_{uu}[\theta, x] l_2(x) dx + \int_{\xi}^{x_1} \int_{\xi}^{x_1} l_2(\tau) g_u[\theta, \tau] Q(\theta, \tau, s) g_u[\theta, s] l_2(s) ds d\tau.
\end{aligned} \tag{26}$$

Полагая соответственно в неравенствах (21) и (22)

$$l_1(t) = \begin{cases} 0, & t \in [t_0, \theta), \\ e_1(t), & t \in [\theta, t_1], \end{cases} \quad l_2(x) = \begin{cases} 0, & x \in [x_0, \xi), \\ e_1(t), & t \in [\xi, x] \end{cases}$$

и учитывая обозначения $P_1(\theta, \xi, l_1(t))$ и $P_2(\theta, \xi, l_2(x))$, следует справедливость следующего поточечного необходимого условия оптимальности.

Теорема 3. Если $u(t, x)$ — оптимальное управление в стохастической задаче (1)–(3), то вдоль процесса $(u(t, x), z(t, x), y(t, x))$ для всех $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$ выполняются неравенства

$$EP_1(\theta, \xi, e_1(t)) \leq 0, \quad \forall e_1(t) \in KC_r([t_0, t_1], R^r),$$

$$EP_2(\theta, \xi, e_2(x)) \leq 0, \quad \forall e_2(x) \in KC_r([x_0, x_1], R^r).$$

Здесь $P_1(\theta, \xi, e_1(t)), P_2(\theta, \xi, e_2(x))$ определяются соответственно формулами (25), (26).

Теперь снова принимаем во внимание $L_i(\theta, \xi, l_i(\cdot))$ и $P_i(\theta, \xi, l_i(\cdot)), i = 1, 2$.

Тогда с учетом матричных функций $R(x, \tau, s), Q(\tau, \tau, s)$ с непосредственным дифференцированием получаем, что $L_i(\theta, \xi, l_i(\cdot))$ и $P_i(\theta, \xi, l_i(\cdot)), i = 1, 2$ являются соответственно решениями следующих стохастических задач:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L_1(\theta, \xi, l_1)}{\partial \theta} = & - \left(f_z[\theta, \xi] + p[\theta, \xi] \frac{\partial W_1(\theta, \xi)}{\partial \theta} \right)' L_1(\theta, \xi, l_1) - \\
& - (H_{zu}[\theta, \xi] + R(\xi, \theta, \theta) f_u[\theta, \xi]) l_1(\theta), L_1(t_1, \xi, l_1) = 0, \\
\frac{\partial P_1(\theta, \xi, l_1)}{\partial \theta} = & l'_1(\theta) f_u[\theta, \xi] L_1(\theta, \xi, l_1) - l'_1(\theta) H_{uu}[\theta, \xi] l_1(\theta) - \\
& - L_1(\theta, \xi, l_1) f_u[\theta, \xi] l_1(\theta), P_1(t_1, \xi, l_1) = 0, \\
\frac{\partial L_2(\theta, \xi, l_2)}{\partial \xi} = & - \left(g_y[\theta, \xi] + q[\theta, \xi] \frac{\partial W_2(\theta, \xi)}{\partial \xi} \right)' L_2(\theta, \xi, l_2) - \\
& - (H_{yu}[\theta, \xi] + Q(\theta, \xi, \xi) g_u[\theta, \xi]) l_2(\xi), L_2(\theta, x_1, l_2) = 0, \\
\frac{\partial P_2(\theta, \xi, l_2)}{\partial \xi} = & l'_2(\xi) g_u[\theta, \xi] L_2(\theta, \xi, l_2) - l'_2(\xi) H_{uu}[\theta, \xi] l_2(\xi) - \\
& - L_2(\theta, \xi, l_2) g_u[\theta, \xi] l_2(\theta), P_2(\theta, x_1, l_2) = 0.
\end{aligned}$$

Отсюда следует, что если положить $l_1(t) \equiv w_1 \in R^r, l_2(x) \equiv w_2 \in R^r$, то

$$L_i(\theta, \xi, w_i) = Z_i(\theta, \xi)w_i; P_i(\theta, \xi, w_i) = w_i' M_i(\theta, \xi)w_i, i = 1, 2.$$

Здесь $Z_i(\theta, \xi), M_i(\theta, \xi)$ являются соответственно решениями следующих стохастических задач:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z_1(\theta, \xi)}{\partial \theta} &= - \left(f_z[\theta, \xi] + p[\theta, \xi] \frac{\partial W_1(\theta, \xi)}{\partial \theta} \right)' Z_1(\theta, \xi) \\ &- (H_{zu}[\theta, \xi] + R(\xi, \theta, \theta)f_u[\theta, \xi]), Z_1(t_1, \xi) = 0, \\ \frac{\partial Z_2(\theta, \xi)}{\partial \xi} &= - \left(g_y[\theta, \xi] + q[\theta, \xi] \frac{\partial W_1(\theta, \xi)}{\partial \xi} \right)' Z_2(\theta, \xi) - \\ &- (H_{yu}[\theta, \xi] + Q(\theta, \xi, \xi)g_u[\theta, \xi]), Z_2(\theta, x_1) = 0, \\ \frac{\partial M_1(\theta, \xi)}{\partial \theta} &= f_u[\theta, \xi]Z_1(\theta, \xi) - H_{uu}[\theta, \xi] - Z_1(\theta, \xi)f_u[\theta, \xi], M_1(t_1, \xi) = 0, \\ \frac{\partial M_2(\theta, \xi)}{\partial \xi} &= g_u[\theta, \xi]Z_2(\theta, \xi) - H_{uu}[\theta, \xi] - Z_2(\theta, \xi)g_u[\theta, \xi], M_2(\theta, x_1) = 0. \end{aligned}$$

Следствие 2. При сделанных предположениях для оптимальности допустимого управления $u(t, x)$ в рассматриваемой стохастической задаче управления (1)–(3) необходимо, чтобы неравенства

$$E w_1' M_1(\theta, \xi) w_1 \leq 0,$$

$$E w_2' M_2(\theta, \xi) w_2 \leq 0$$

выполнялись для всех $w_i \in R^r, i = 1, 2$, и $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$.

Теперь перейдем к изучению случая вырождения условия Лежандра – Клебша.

Определение [6]. Допустимое управление $u(t, x)$ назовем особым, в классическом смысле, управлением в стохастической задаче (1)–(3), если для всех $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$ и $v \in R^r$

$$E H_u[\theta, \xi] = 0, E v' H_{uu}[\theta, \xi] v = 0.$$

Имеет место

Теорема 4. Для оптимальности особого, в классическом смысле, управления $u(t, x)$ в стохастической задаче (1)–(3) необходимо, чтобы выполнялись следующие интегральные необходимые условия оптимальности:

$$\begin{aligned} & E v' \left[\int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{t_1} f_u[\tau, \theta] R(\xi, \tau, s) f_u[s, \xi] ds d\tau + \right. \\ & \left. + 2 \int_{t_0}^{t_1} \left[\int_t^{t_1} H_{uz}[\tau, \xi] V_{11}(\tau, \xi; t, \xi) d\tau \right] f_u[t, \xi] dt \right] v \leq 0 \end{aligned}$$

для всех $v \in R^r, \xi \in [x_0, x_1]$,

$$E v' \left[\int_{x_0}^{x_1} \int_{x_0}^{x_1} g_u[\theta, \tau] Q(\theta, \tau, s) g_u[\theta, s] ds d\tau + \right. \\ \left. + 2 \int_{x_0}^{x_1} \left[\int_x^{x_1} H_{uy}[\theta, s] V_{22}(\theta, s; \theta, x) ds \right] g_u[\theta, x] dx \right] v \leq 0$$

для всех $v \in R^r, \theta \in [t_0, t_1]$.

Последнее неравенство позволяет нам получить поточечные необходимые условия оптимальности особых, в классическом смысле, управлений.

С этой целью для дальнейших изложений ведем следующие обозначения:

$$C(\theta, \xi, v) = v' [f'_u[\theta, \xi] R(\xi, \theta, \theta) f_u[\theta, \xi] + H_{zu}[\theta, \xi] f_u[\theta, \xi]] v,$$

$$D(\theta, \xi, v) = v' [g'_u[\theta, \xi] Q(\theta, \xi, \xi) g_u[\theta, \xi] + H_{yu}[\theta, \xi] g_u[\theta, \xi]] v.$$

Имеют место следующие поточечные необходимые условия оптимальности особых, в классическом смысле, управлений.

Теорема 5. Если $u(t, x)$ особое, в классическом смысле, оптимальное управление в задаче (1)–(3), то для всех $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$ выполняются соотношения:

$$E[C(\theta, \xi, v) + 2L'_1(\theta, \xi, e_1) f_u[\theta, \xi] v + P_1(\theta, \xi, e_1)] \leq 0 \quad (27)$$

для всех $v \in R^r, e_1(t) \in KC_r([t_0, t_1], R^r)$,

$$E[D(\theta, \xi, v) + 2L'_2(\theta, \xi, e_2) g_u[\theta, \xi] v + P_2(\theta, \xi, e_2)] \leq 0 \quad (28)$$

для всех $v \in R^r, e_2(x) \in KC_r([x_0, x_1], R^r)$.

Для доказательства обратимся к соотношению (21) и здесь вариацию $l_1(t)$ положим как

$$l_1(t) = \begin{cases} 0, & t \in [t_0, \theta), \\ v, & t \in [\theta, \theta + \varepsilon), \\ \varepsilon e_1(t), & \end{cases}$$

где $\varepsilon > 0, v \in R^r, e_1(t) \in KC_r([t_0, t_1], R^r)$.

Тогда с учетом обозначений (23)–(26) неравенство (21) принимает вид

$$E \varepsilon^2 [C(\theta, \xi, v) + 2L'_1(\theta, \xi, e_1) f_u[\theta, \xi] v + P_1(\theta, \xi, e_1)] + o(\varepsilon^2) \leq 0.$$

Отсюда, в силу достаточной малости $\varepsilon > 0$, следует неравенство (27). А в неравенстве (22), вариацию $l_2(x)$ определяя

$$l_2(x) = \begin{cases} 0, & x \in [x_0, \xi), \\ v, & x \in [\xi, \xi + \varepsilon), \\ \varepsilon e_2(x), & \end{cases}$$

где $e_2(x) \in KC_r([x_0, x_1], R^r)$, симметрическими рассуждениями получаем неравенство (28), что и требовалось доказать.

Следствие 3. Если $u(t, x)$ – особое, в классическом смысле, оптимальное управление в задаче (1)–(3), то для всех $(\theta, \xi) \in [t_0, t_1] \times [x_0, x_1]$ выполняются соотношения:

$$EC(\theta, \xi, v) \leq 0,$$

$$ED(\theta, \xi, v) \leq 0.$$

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучается стохастическая задача оптимального управления, описываемая системами нелинейных стохастических гиперболических уравнений первого порядка в каноническом виде. При предположении открытости областей управления установлены необходимые условия оптимальности первого и второго порядка, в том числе исследована на оптимальность классическая экстремаль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мансимов К. Б. К теории необходимых условий оптимальности в одной задаче с распределенными параметрами // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2001. Т. 41. № 10. С. 1505–1520.
2. Мансимов К. Б. Исследование квазиособых процессов в одной задаче управления химическим реактором // Дифференциальные уравнения. 1997. Т. 33. № 4. С. 540–546.
3. Васильев О. В., Терлецкий В. А. К оптимизации одного класса управляемых систем с распределенными параметрами // Оптимизация динамических систем. 1978. С. 26–30.
4. Мансимов К. Б., Масталиев Р. О. Необходимые условия оптимальности первого порядка в одной стохастической задаче управления с распределенными параметрами // ВСПУ/ИПУ РАН. 2024. С. 547–549.
5. Mansimov K. B., Mastaliyev R. O. Analog of Euler equation and second order necessary optimality conditions for Rosser type continuous stochastic control problem // COIA-2024. 27–29 august. Istanbul. Turkiye. Pp. 567–570.
6. Габасов Р., Кириллова Ф. М. Особые оптимальные управления. М.: URSS, 2018. 256 с.
7. Мансимов К. Б., Марданов М. Дж. Качественная теория оптимального управления системами Гурса–Дарбу. Баку: Элм, 2010. 360 с.
8. Lu Q., Zhang X. Control theory for stochastic distributed parameters systems an engineering perspective // Annual Reviews in Control. 2021. Vol. 51. No. 6. Pp. 268–330. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2021.04.002
9. Рачинский В. В. Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии. М.: Наука, 1964. 136 с.
10. Хрычев Д. А. Об одном стохастическом квазилинейном гиперболическом уравнении // Математический сборник. 1981. Т. 116(158). № 3(11). С. 398–426.
11. Васьковский М. М. О решениях стохастических гиперболических уравнений с запаздыванием с измеримыми локально ограниченными коэффициентами // Вестник БГУ. Сер. 1. Физика. Математика. Информатика. 2012. № 2. С. 115–121. EDN: RUPPAR
12. Мансимов К. Б., Масталиев Р. О. О представлении решения краевой задачи Гурса для стохастических гиперболических уравнений с частными производными первого порядка // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Математика. 2023. Т. 45. С. 145–151. DOI: 10.26516/1997-7670.2023.45.145
13. Масталиев Р. О. Необходимые условия оптимальности первого порядка в стохастических системах Гурса–Дарбу // Дальневосточный математический журнал. 2021. Т. 21. № 1. С. 89–104. DOI: 10.47910/FEMJ202108
14. Мансимов К. Б., Керимова А. В. Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков в одной ступенчатой задаче управления, описываемой разностным и интегродифференциальными уравнениями типа Вольтерра // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2024. Т. 64. № 10. С. 1868–1880. DOI: 10.31857/S0044466924100072

15. Рзаева В. Г. Необходимые условия оптимальности первого и второго порядков в одной задаче оптимального управления, описываемой системой гиперболических интегродифференциальных уравнений типа Вольтерра // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 62. С. 4–12. DOI: 10.17223/19988605/62/1

16. Бутома А. М., Сотская Л. И. Вариационное исчисление и оптимальное управление. Могилев: Белорусско-Российский университет, 2021. 46 с.

REFERENCES

1. Mansimov K.B. On the theory of necessary optimality conditions in one problem with distributed parameters. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2001. Vol. 41. No. 10. Pp. 1429–1443. (In Russian)

2. Mansimov K.B. Study of quasi-singular processes in one problem of chemical reactor control. *Differential equations*. 1997. Vol. 33. No. 4. Pp. 544–551. (In Russian)

3. Vasiliev O.V., Terletsky V.A. On the optimization of one class of controlled systems with distributed parameters. *Optimization of dynamic systems*. Minsk. 1978. Pp. 26–30. (In Russian)

4. Mansimov K.B., Mastaliyev R.O. Necessary conditions for first-order optimality in one stochastic control problem with distributed parameters. *VSPU/IPU RAS*. 2024. Pp. 547–549. (In Russian)

5. Mansimov K.B., Mastaliyev R.O. Analog of Euler equation and second order necessary optimality conditions for Rosser type continuous stochastic control problem. *COIA-2024*. 27–29 august. Istanbul. Turkiye. Pp. 567–570.

6. Gabasov R., Kirillova F.M. *Osobyie optimal'nyye upravleniya* [Singular optimal controls]. Moscow: URSS, 2018. 256 p. (In Russian)

7. Mansimov K.B., Mardanov M.J. *Kachestvennaya teoriya optimal'nogo upravleniya sistemami Gursa–Darbu* [Qualitative theory of optimal control of Goursat–Darboux systems]. Baku: Elm, 2010. 360 p. (In Russian)

8. Lu Q., Zhang X. Control theory for stochastic distributed parameters systems an engineering perspective. *Annual Reviews in Control*. 2021. Vol. 51. No. 6. Pp. 268–330. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2021.04.002

9. Rachinsky V.V. *Vvedeniye v obshchuyu teoriyu dinamiki sorbtsii i khromatografii* [Introduction to the General Theory of Sorption and Chromatography Dynamics]. Moscow: Nauka, 1964. 136 p. (In Russian)

10. Khrychev D.A. On one stochastic quasilinear hyperbolic equation. *Sbornik: Mathematics*. 1981. Vol. 116(158). No. 3(11). Pp. 398–426. DOI: 10.1070/SM1983v044n03ABEH000972. (In Russian)

11. Vas'kovsky M.M. On solutions of stochastic hyperbolic equations with delay with measurable locally bounded coefficients. *Bulletin of BSU. Series 1. Physics, Mathematics, Informatics*. 2012. No. 2. Pp. 115–121. EDN: RUPPAR. (In Russian)

12. Mansimov K.B., Mastaliyev R.O. On the representation of the solution of the Goursat boundary value problem for stochastic hyperbolic partial differential equations of the first order. *Bulletin of the Irkutsk State University, series. Mathematics*. 2023. Vol. 45. Pp. 145–151. DOI: 10.26516/1997-7670.2023.45.145. (In Russian)

13. Mastaliyev R.O. Necessary conditions for first-order optimality in stochastic Goursat – Darboux systems. *Far Eastern Mathematical Journal*. 2021. Vol. 21. No. 1. Pp. 89–104. DOI: 10.47910/FEMJ202108. (In Russian)

14. Mansimov K.B., Kerimova A.V. Necessary optimality conditions of the first and second orders in one step control problem described by difference and integro-differential equations of Volterra type. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2024. Vol. 64. No. 10. Pp. 2256–2268. DOI: 10.31857/S0044466924100072. (In Russian)

15. Rzaeva V.G. Necessary optimality conditions of the first and second orders in one optimal control problem described by a system of hyperbolic integro-differential equations of the Volterra type. *Bulletin of Tomsk State University. Management, Computer Science and Information Science*. 2023. No. 62. Pp. 4–12. DOI: 10.17223/19988605/62/1. (In Russian)

16. Butoma A.M., Sotskaya L.I. *Variatsionnoye ischisleniye i optimal'noye upravleniye* [Variational Calculus and Optimal Control]. Mogilev: Belarusian-Russian University, 2021. 46 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Масталиев Рашад Октай оглы, д-р философии по математике, доцент, зав. кафедрой математики и информатики университета «Азербайджан»;

Az1007, Азербайджан, г. Баку, ул. Дж. Гаджибейли, 71;

вед. науч. сотр., Институт систем управления Министерства науки и образования Азербайджанской Республики;

Az1141, Азербайджан, г. Баку, ул. Б. Вахабзаде, 68;

mastaliyevrashad@gmail.com; rashad.mastaliyev@au.edu.az, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6387-2146>
SPIN-код: 4056-5919

Information about the author

Rashad O. Mastaliyev, PhD Mathematics, Associate Professor, Head of the Department of Mathematic and Informatic of the Azerbaijan University;

Az1007, Azerbaijan, Baku, 71 J. Hajibeyli street;

Leading Researcher at the Institute of Control Systems of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan;

Az1141, Azerbaijan, Baku, 68 B. Vahabzade street;

mastaliyevrashad@gmail.com; rashad.mastaliyev@au.edu.az, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6387-2146>
SPIN-code: 4056-5919

УДК 004.032.26:658.7

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-29-38

EDN: DHCTWY

Нейросетевая модель оценки надежности контрагентов в системе закупок металлургического предприятия

В. В. Дьячкова, Е. С. Коваленко✉

Донбасский государственный технический университет
294204, Россия, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16

Аннотация. В статье рассматривается нейросетевая модель оценки надежности контрагентов в системе закупок металлургического предприятия. **Цель исследования** – разработка нейросетевой модели для оценки надежности контрагентов в системе управления закупками металлургического предприятия. **Результаты.** В рамках исследования произведены сбор, анализ и обработка релевантных данных, проведен комплексный анализ параметров, характеризующих поставщиков, включая финансовые, юридические, операционные, организационные и репутационные показатели, построена архитектура модели, выполнены ее обучение и проверка на тестовой выборке, а также осуществлено сравнение с традиционными подходами оценки. Результаты тестирования модели показали высокую точность прогнозирования и подтвердили целесообразность ее применения в условиях информационной неопределенности. Представлены перспективы интеграции модели в корпоративные информационные системы металлургических предприятий.

Ключевые слова: управление закупками, надежность контрагента, металлургия, искусственный интеллект, нейросеть, управление рисками, цифровизация

Поступила 06.05.2025, одобрена после рецензирования 13.05.2025, принята к публикации 19.05.2025

Для цитирования. Дьячкова В. В., Коваленко Е. С. Нейросетевая модель оценки надежности контрагентов в системе закупок металлургического предприятия // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 29–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-29-38

MSC: 68T07; 90B50

Original article

A neural network model for assessing the reliability of counterparties within a metallurgical enterprise's procurement system

V.V. Dyachkova, E.S. Kovalenko✉

Donbass State Technical University
294204, Russia, Lugansk People's Republic, Alchevsk, 16 Lenin avenue

Abstract. The article presents a neural network model for evaluating the reliability of counterparties within a metallurgical enterprise's procurement system. **Aim.** The study aims to develop a neural network model to assess the reliability of counterparties within a metallurgical enterprise's procurement management system. **Results.** The study involved collecting, analyzing and processing relevant data; conducting a comprehensive analysis of parameters characterizing suppliers, including financial, legal, operational, organizational and reputational indicators; constructing the model architecture; training and testing it on a sample; and comparing it with traditional assessment approaches. Testing the model showed that it has high forecasting accuracy and can be used in conditions of information uncertainty.

This paper presents the prospects for integrating the model into the corporate information systems of metallurgical enterprises.

Keywords: procurement management, counterparty reliability, metallurgy, artificial intelligence, neural network, risk management, digitalization

Submitted 06.05.2025,

approved after reviewing 13.05.2025,

accepted for publication 19.05.2025

For citation. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. A neural network model for assessing the reliability of counterparties within a metallurgical enterprise's procurement system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 29–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-29-38

ВВЕДЕНИЕ

Современные металлургические предприятия функционируют в условиях высокой динамики рынка, жесткой конкуренции и необходимости строгого соблюдения сроков поставок сырья и товарно-материальных ценностей. Отказ или ненадежность контрагента может привести к существенным сбоям в производственном цикле, финансовым потерям и нарушению обязательств перед конечными потребителями [1]. В связи с этим вопросы своевременной и точной оценки надежности контрагентов становятся особенно актуальными.

Традиционные методы анализа поставщиков, основанные на экспертных оценках, скоринговых картах или статической отчетности, демонстрируют ограниченную эффективность при работе с большими объемами данных и не способны выявлять скрытые риски. Кроме того, они требуют значительных временных и трудовых затрат, а результаты могут носить субъективный характер.

На фоне стремительного развития технологий обработки данных и искусственного интеллекта в промышленной сфере возникает объективная необходимость внедрения интеллектуальных систем оценки контрагентов [2]. Одним из перспективных направлений является использование нейросетевых моделей, способных выявлять сложные зависимости в многомерных выборках и формировать обоснованные прогнозы на основе как структурированных, так и неструктурированных данных.

Проблемы, касающиеся вопросов оценки надежности контрагентов, рассматривались многими российскими и зарубежными учеными и практиками. А. Д. Лузик, Е. В. Пяткова, Е. Д. Тареева, Д. В. Антипов [3] описывают процесс автоматизации оценки потенциальных поставщиков с помощью создания программного обеспечения. Е. М. Казурова [4] описывает порядок оценки поставщиков и получателей лекарственных средств. В. А. Качалов, Л. С. Дворкин, Л. Е. Скрипко [5] предлагают методы проверки поставщиков дополнительно к процедурам, предусмотренным федеральным законом¹. Л. Г. Мишура, Ю. В. Васильева [6] предлагают придерживаться метода рейтинговых оценок и универсальных критериев при оценивании поставщиков. К. Н. Митус, А. А. Митус [7] обобщили существующие методики оценки поставщиков с целью их выбора. Н. С. Херсонский, Л. Г. Большедворская [8] разработали механизм выбора надежного поставщика. С. Ю. Сивандаева [9] рассматривает аудит как механизм оценки поставщиков. С. Н. Кузьминой, В. В. Силаевой, Е. И. Екимовой [10] предложена методика обеспечения качества процесса оценки поставщиков, учитывающая требования международных стандартов на системы менеджмента безопасности пищевой

¹Федеральный закон «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» от 18.07.2011 № 223-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/ (дата обращения: 13.05.2025 г.)

продукции. К. С. Гордеев, А. А. Жидков, Е. С. Илюшина [11] дают определение понятию поставщика, анализируют сущность процесса поиска, выбора и оценки его надежности. Г. Г. Левкин [12] предлагает методику оценки логистической деятельности поставщиков сырья для промышленного предприятия за счет обеспечения контроля за выполнением транспортно-логистических процессов. Ю. Н. Гулевич, Г. М. Наливайко [13] разработали методику оценки поставщиков на основе системы управления базами данных. Несмотря на большое количество публикаций, посвященных оценке поставщиков, вопросы применения нейросетевых моделей в управлении закупками на металлургических предприятиях еще недостаточно проработаны и являются актуальными.

Целью настоящего исследования является разработка нейросетевой модели для оценки надежности контрагентов в системе управления закупками металлургического предприятия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для построения нейросетевой модели оценки надежности контрагентов в закупочной деятельности металлургического предприятия авторами использовались как внутренние, так и внешние источники информации.

Внутренние данные были получены из информационной системы металлургического предприятия ООО «ЮГМК» (г. Алчевск) и включали: реестр контрагентов, допущенных к участию в процедурах закупки; статистику выполнения договорных обязательств за 2022–2024 гг.; сведения о просрочках поставок, отклонениях от объемов, рекламациях; отчетные данные отдела закупок и юридического отдела предприятия.

Внешние данные собирались из общедоступных источников и агрегаторов: данные из Единого государственного реестра юридических лиц (ЕГРЮЛ); финансовая отчетность поставщиков (бухгалтерский баланс, отчет о финансовых результатах, отчет об изменениях капитала, отчет о движении денежных средств, отчет о целевом использовании средств); судебные дела (по базе «Картотека арбитражных дел»); информация из систем Rusprofile, СПАРК, а также новостных и аналитических порталов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании собранных данных была сформирована выборка, включающая сведения по 427 поставщикам, принимавшим участие в закупочных процедурах предприятия. Каждому поставщику сопоставлен набор параметров, охватывающих следующие группы показателей: финансовые, операционные, юридические, репутационные, организационные.

Для осуществления бинарной классификации все контрагенты были разделены на две группы:

- надежные – поставщики, не имевшие нарушений сроков, претензий по качеству и судебных споров с предприятием за последние 12 месяцев;
- ненадежные – поставщики, по которым зафиксированы случаи срывов поставок, нарушение договорных обязательств, судебные разбирательства или частота рекламаций свыше 5 % от объема поставок.

Перед обучением нейросетевой модели был проведен следующий комплекс процедур по очистке и структурированию исходных данных:

- устранены записи с критическим уровнем пропусков (более 30 % отсутствующих значений по основным признакам). Для остальных случаев пропущенные значения заменены на медианные значения внутри соответствующих групп по отрасли или региону, что позволит сохранить баланс данных;

- числовые признаки нормализованы методом Z-преобразования для приведения всех значений к единой шкале со средним значением, близким к нулю, и единичным стандартным отклонением. Это обеспечит корректную работу функции активации в слоях нейросети и повысит сходимость при обучении;

- категориальные признаки (например, форма собственности и регион регистрации контрагента) закодированы методом one-hot-кодирования, что позволило преобразовать категориальные данные в бинарные векторы без потери информации о различиях между классами;

- проведена проверка корреляции между признаками для исключения мультиколлинеарности и повышения устойчивости модели к переобучению. Из выборки были исключены признаки с коэффициентом корреляции $|r| > 0,8$, оставшиеся признаки прошли дополнительную фильтрацию по критерию информационной ценности (information gain).

В итоговом наборе данных было оставлено 15 признаков, которые условно разделены на следующие группы:

- финансовые показатели: годовая выручка, чистая прибыль, рентабельность, коэффициент ликвидности;

- операционные характеристики: средний срок поставки, процент просроченных заказов, количество рекламаций;

- юридические параметры: количество арбитражных дел, открытые исполнительные производства;

- репутационные признаки: публичный рейтинг контрагента, наличие негативных новостных упоминаний;

- организационные: форма собственности, год основания компании, численность персонала, регион регистрации.

Проведенная предобработка данных позволила сформировать датасет из 15 372 позиций, разделенный в пропорции 80/20 на обучающую и тестовую выборки, для обучения нейросетевой модели. Это позволило минимизировать влияние выбросов и повысить достоверность прогнозов.

Авторами проведено более 80 экспериментов для определения оптимальных параметров модели. В качестве инструмента интеллектуального анализа данных и прогнозирования надежности контрагентов была выбрана нейросетевая модель типа многослойного перцептрона (Multilayer Perceptron, MLP). Такой тип архитектуры зарекомендовал себя при решении задач бинарной классификации на табличных данных, особенно в условиях наличия скрытых нелинейных зависимостей между признаками.

Выбор двух скрытых слоев обоснован необходимостью соблюдения баланса между модельной сложностью и способностью к обобщению. Слишком малое число нейронов приводило к недостаточной гибкости модели и заниженной точности. Слишком большое количество – к переобучению на тренировочной выборке, особенно при ограниченном числе наблюдений. При сравнении моделей с различными конфигурациями 16–8, 64–32, 32–16 выявлено, что архитектура 32–16 обеспечила наилучшие показатели по метрикам ROC-AUC и F1-score при приемлемом времени обучения. В скрытых слоях применена функция активации ReLU (Rectified Linear Unit), зарекомендовавшая себя как эффективная и вычислительно простая для глубоких моделей, устойчивая к проблеме затухающего градиента. Для выходного слоя использовалась сигмоида (Sigmoid), так как задача сводилась к бинарной классификации, где требуется получить вероятность принадлежности к одному из классов.

Обучение модели производилось с использованием оптимизатора Adam благодаря его способности адаптивно подстраивать скорость обучения. Значение `learning_rate = 0,001` было выбрано как обеспечившее устойчивую сходимость на реальных и искусственных данных.

Dropout-регуляризация с вероятностью 0,2 применялась на скрытых слоях, чтобы уменьшить избыточную зависимость от отдельных нейронов.

Для тестирования и разработки модели использовался Python с библиотеками TensorFlow и Keras, обеспечивающий гибкую настройку параметров сети и визуализацию результатов обучения.

На основании обучающей выборки была проведена оценка качества нейросетевой модели по основным метрикам бинарной классификации. Полученные результаты были сопоставлены с базовыми моделями (логистическая регрессия и дерево решений), что позволило объективно оценить преимущество предлагаемого подхода. Сравнительный анализ качества моделей приведен в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные метрики качества моделей

Table 1. Comparative metrics of model quality

Модель	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC
Логистическая регрессия	0,81	0,77	0,73	0,75	0,83
Дерево решений	0,83	0,79	0,76	0,77	0,85
Нейросетевая модель (MLP)	0,89	0,86	0,84	0,85	0,92

Как видно из таблицы, нейросетевая модель демонстрирует наилучшие значения всех ключевых метрик. Особенно важным является высокий показатель $ROC-AUC = 0,92$, что указывает на выраженную способность модели различать надежных и ненадежных поставщиков.

Итоговая архитектура модели включает следующие компоненты:

- входной слой: 15 нейронов – по количеству отобранных признаков;
- первый скрытый слой: 32 нейрона с функцией активации ReLU;
- второй скрытый слой: 16 нейронов, также с функцией ReLU;
- выходной слой: 1 нейрон с функцией активации Sigmoid, возвращающий вероятность принадлежности контрагента к классу «надежных».

Гиперпараметры обучения:

- функция потерь – бинарная кросс-энтропия;
- оптимизатор Adam с параметром `learning rate = 0,001`;
- количество эпох обучения – 100;
- размер батча – 32;
- метрики: accuracy, precision, recall, F1-score, ROC-AUC.

Для предотвращения переобучения в процессе обучения применялись:

- dropout-регуляризация (с вероятностью 0,2);
- раннее завершение обучения (early stopping) при отсутствии улучшения на валидационной выборке.

Разработанная модель показала высокие результаты по ключевым метрикам, превысив показатели базовых моделей – логистической регрессии и дерева решений. Это подтверждает целесообразность использования нейросетевых подходов в системе оценки надежности контрагентов металлургического предприятия.

Проведен анализ важности признаков, который показал, что наибольшее влияние на результат классификации оказывают следующие параметры: выручка и рентабельность контрагента, частота просрочек по договорам, рейтинг в открытых источниках, количество судебных дел.

На рисунке 1 представлена диаграмма важности признаков, ранжированных по степени влияния на результат.

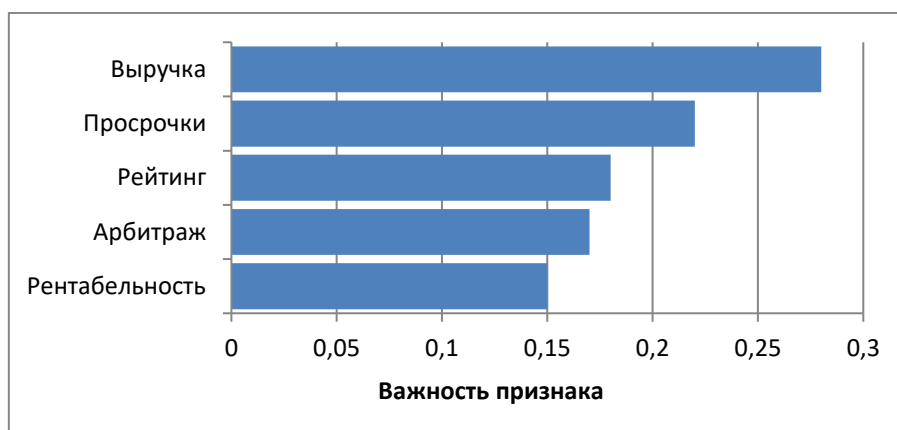


Рис. 1. Диаграмма важности признаков

Fig. 1. Feature importance diagram

Дополнительно была построена ROC-кривая (рис. 2), демонстрирующая высокую чувствительность и специфичность модели.

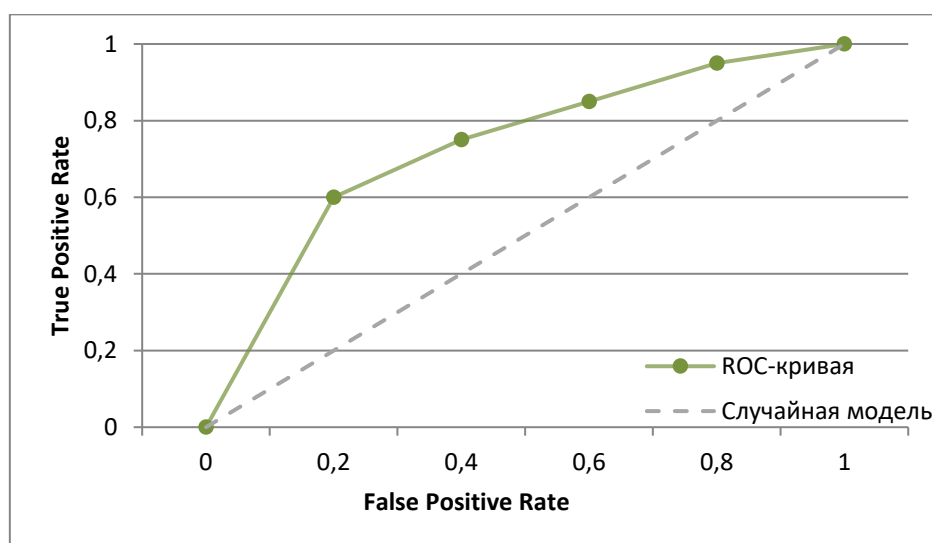


Рис. 2. ROC-кривая нейросетевой модели

Fig. 2. ROC curve of the neural network model

Разработанная модель может быть интегрирована в существующие ERP-системы металлургического предприятия в качестве модуля предварительной фильтрации поставщиков. Это позволит:

- оперативно исключать рискованных контрагентов еще на этапе подачи заявки;
- повысить прозрачность и обоснованность закупочных решений;
- снизить вероятность срывов поставок и непредвиденных финансовых потерь [14].

Предложенная архитектура многослойного перцептрона (MLP) продемонстрировала высокие значения точности классификации, а также показатели полноты, точности и ROC-AUC, существенно превосходящие результаты базовых моделей. Это свидетельствует о высокой эффективности применения нейросетевого подхода для задач предиктивной оценки контрагентов.

Важным преимуществом модели является возможность ее интеграции в корпоративные информационные системы, что позволяет автоматизировать процесс предварительной фильтрации поставщиков и существенно сократить риски, связанные с выбором ненадежных партнеров. Практическое применение модели способствует повышению прозрачности закупочных процедур, снижению издержек и укреплению устойчивости логистической цепи.

Тем не менее стоит отметить, что эффективность модели во многом зависит от качества исходных данных. Поэтому ее применение целесообразно в условиях налаженного документооборота, доступа к внешним аналитическим ресурсам и возможности актуализации информации о контрагентах.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают целесообразность и практическое применение нейросетевых моделей в сфере управления закупками, особенно в условиях неполноты, динамичности и сложности доступной информации. Разработанная нейросетевая модель, построенная на основе многослойного перцептрона, предназначена для классификации поставщиков по степени надежности на основании совокупности признаков и может быть использована в качестве инструмента предварительной фильтрации поставщиков, а также интегрирована в корпоративные информационные системы в целях автоматизации принятия решений в сфере закупок.

В дальнейшем планируется расширение обучающей выборки, включение временных рядов, отражающих поведение контрагентов во времени, а также адаптация модели для других отраслей промышленности. Кроме того, перспективным направлением является построение гибридной экспертно-нейросетевой системы, объединяющей количественные оценки и экспертные знания в едином контуре для принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьячкова В. В., Коваленко Е. С. Особенности закупочной деятельности промышленного предприятия в условиях цифровизации экономики // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации: Сборник тезисов докладов юбилейной Международной научно-технической конференции, Алчевск, 13–14 октября 2022 года. Часть 2. Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022. С. 94–95. EDN: KSWVGH
2. Дьячкова В. В., Коваленко Е. С. Современные цифровые инструменты в управлении закупками промышленного предприятия // Направления повышения эффективности управленческой деятельности органов государственной власти и местного самоуправления: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Алчевск, 15 декабря 2022 года. Алчевск: Луганский государственный университет имени Владимира Даля, 2023. С. 387–390. EDN: KPRAQC
3. Лузик А. Д., Пяткова Е. В., Тареева Е. Д., Антипов Д. В. Создание автоматизированной системы оценки потенциальных поставщиков // От качества инструментов к инструментам качества: Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 19–20 октября 2023 года. Тула: Тульский государственный университет, 2023. С. 376–380. EDN: GBPLKC

4. Казурова Е. М. Оценка поставщиков и получателей лекарственных средств аптечного склада // Вестник фармации. 2024. № 1(103). С. 26–30. DOI 10.52540/2074-9457.2024.1.26. EDN: PUSBJW
5. Качалов В. А., Дворкин Л. С., Скрипко Л. Е. О проведении оценки и повторной оценки внешних поставщиков // Методы менеджмента качества. 2020. № 3. С. 48–53. EDN: NRYLOY
6. Мишура Л. Г., Васильева Ю. В. Оценка поставщика с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001 // Экономика. Право. Инновации. 2020. № 2. С. 4–9. EDN: ASYOOD
7. Митус К. Н., Митус А. А. Трехпараметрическая методика оценки поставщика // Вектор экономики. 2020. № 4(46). С. 75. EDN: EWZQLS
8. Херсонский Н. С., Большедворская Л. Г. Методы выбора и оценки поставщиков с учетом категорирования параметров продукции и комплектующих // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 4. С. 6–19. DOI: 10.51955/2312-1327_2023_4_6. EDN: VKMOFY
9. Сивандаева С. Ю. Аудит – как механизм оценки поставщиков // Моя профессиональная карьера. 2022. Т. 1. № 32. С. 19–21. EDN: IBGGVF
10. Кузьмина С. Н., Силаева В. В., Екимова Е. И. Методика обеспечения качества процесса оценки поставщиков на предприятиях пищевой промышленности // Качество. Инновации. Образование. 2022. № 4(180). С. 3–11. DOI: 10.31145/1999-513X-2022-4-03-11. EDN: DJMEUY
11. Гордеев К. С., Жидков А. А., Илюшина Е. С. и др. Методы поиска, выбора и оценки надежности поставщика // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 3(119). С. 23. EDN: TGYGKD
12. Левкин Г. Г. Методика оценки логистической деятельности поставщиков промышленного предприятия // Логистика. 2024. № 6(211). С. 14–16. EDN: KOQRDE
13. Гулевич Ю. Н., Наливайко Г. М. Перспективы применения ИТ для выбора и оценки поставщиков материалов и комплектующих изделий // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2021. Т. 19. № 5. С. 61–69. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-5-61-69. EDN: BEWIRM
14. Дьячкова В. В., Коваленко Е. С. Организация тендерной деятельности промышленного предприятия в условиях цифровизации экономики // Инновации и информационные технологии в условиях цифровизации экономики: Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции, Алчевск, 27–28 апреля 2023 года. Алчевск: Донбасский государственный технический университет, 2023. С. 141–143. EDN: FWOLES

REFERENCES

1. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. Features of procurement activities of an industrial enterprise in the context of digitalization of the economy. *65 let DonGTI. Nauka i praktika. Aktual'nyye voprosy i innovatsii* [65 years of DonSTI. Science and practice. Current issues and innovations]: *Sbornik tezisev dokladov yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Alchevsk, October 13–14, 2022. Part 2. Alchevsk: Donbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy institut, 2022. Pp. 94–95. EDN: KSWVGH. (In Russian)
2. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. Modern digital tools in procurement management of an industrial enterprise. *Napravleniya povysheniya effektivnosti upravlencheskoy deyatel'nosti organov gosudarstvennoy vlasti i mestnogo samoupravleniya* [Directions for improving the efficiency of managerial activities of public authorities and local self-government]: *Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Alchevsk, 15 dekabrya 2022 goda, Alchevsk,

December 15, 2022. Alchevsk: Luganskiy gosudarstvennyy universitet imeni Vladimira Dalya, 2023. Pp. 387–390. EDN: KPRAQC. (In Russian)

3. Luzik A.D., Pyatkova E.V., Tareeva E.D., Antipov D.V. Creation of an automated system for evaluating potential suppliers. *Ot kachestva instrumentov k instrumentam kachestva* [From the quality of tools to quality tools]: *Sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Tula, October 19–20, 2023. Tula: Tul'skiy gosudarstvennyy universitet, 2023. Pp. 376–380. EDN: GBPLKC. (In Russian)

4. Kazurova E.M. Evaluation of suppliers and recipients of medicines in a pharmacy warehouse. *Bulletin of Pharmacy*. 2024. No. 1(103). Pp. 26–30. DOI: 10.52540/2074-9457.2024.1.26. EDN: PUBBJW. (In Russian)

5. Kachalov V.A., Dvorkin L.S., Skripko L.E. On the assessment and re-assessment of external suppliers. *Quality Management Methods*. 2020. No. 3. Pp. 48–53. EDN: NRYLOY. (In Russian)

6. Mishura L.G., Vasilyeva Yu.V. Supplier assessment taking into account the requirements of GOST R ISO 9001. *Economics. Law. Innovations*. 2020. No. 2. Pp. 4–9. EDN: ASYOOD. (In Russian)

7. Mitus K.N., Mitus A.A. Three-parameter method for supplier evaluation. *Vector of Economics*. 2020. No. 4(46). P. 75. EDN: EWZQLS. (In Russian)

8. Khersonsky N.S., Bolshedvorskaya L.G. Methods for selecting and evaluating suppliers taking into account the categorization of product and component parameters. *Crede Experto: Transport, Society, Education, Language*. 2023. No. 4. Pp. 6–19. DOI: 10.51955/2312-1327_2023_4_6. EDN: VKMOFY. (In Russian)

9. Sivandaeva S.Yu. Audit as a mechanism for supplier evaluation. *My Professional Career*. 2022. Vol. 1. No. 32. Pp. 19–21. EDN: IBGGVF. (In Russian)

10. Kuzmina S.N., Silaeva V.V., Ekimova E.I. Methodology for ensuring the quality of the supplier evaluation process at food industry enterprises. *Quality. Innovations. Education*. 2022. No. 4(180). Pp. 3–11. DOI: 10.31145/1999-513X-2022-4-03-11. EDN: DJMEUY. (In Russian)

11. Gordeev K.S., Zhidkov A.A., Ilyushina E.S. et al. Methods for searching, selecting, and assessing supplier reliability. *Modern Scientific Research and Innovations*. 2021. No. 3(119). P. 23. EDN: TGYGKD. (In Russian)

12. Levkin G.G. Methodology for evaluating the logistics activities of suppliers of an industrial enterprise. *Logistics*. 2024. No. 6(211). Pp. 14–16. EDN: KOQRDE. (In Russian)

13. Gulevich Yu.N., Nalivaiko G.M. Prospects for the use of IT in the selection and evaluation of suppliers of materials and components. *Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*. 2021. Vol. 19. No. 5. Pp. 61–69. DOI: 10.35596/1729-7648-2021-19-5-61-69. EDN: BEWIRM. (In Russian)

14. Dyachkova V.V., Kovalenko E.S. Organization of tender activities of an industrial enterprise in the context of digitalization of the economy. *Innovatsii i informatsionnyye tekhnologii v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki* [Innovations and information technologies in the context of digitalization of the economy]: *Sbornik tezisev dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Alchevsk, 27–28 aprelya 2023 goda*. Alchevsk: Donbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2023. Pp. 141–143. EDN: FWOLES. (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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Дьячкова Виктория Викторовна, канд. экон. наук, доцент кафедры информационных технологий, Донбасский государственный технический университет;

294204, Россия, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;

dyachkova.vika@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9771-616X>, SPIN-код: 5620-0952

Коваленко Екатерина Сергеевна, ст. преподаватель кафедры информационных технологий, Донбасский государственный технический университет;

294204, Россия, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр-т Ленина, 16;

kathris92@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8931-7138>, SPIN-код: 9202-9286

Information about the authors

Victoria V. Dyachkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technology, Donbass State Technical University;

294204, Russia, Lugansk People's Republic, Alchevsk, 16 Lenin avenue;

dyachkova.vika@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9771-616X>, SPIN-code: 5620-0952

Ekaterina S. Kovalenko, Senior Lecturer of the Department of Information Technology, Donbass State Technical University;

294204, Russia, Lugansk People's Republic, Alchevsk, 16 Lenin avenue;

kathris92@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8931-7138>, SPIN-code: 9202-9286

Разработка системы управления курсом беспилотного автомобиля на основе обучения с подкреплением

А. Е. Ушаков¹, М. М. Стебулянин¹, М. А. Шереужев^{✉1}, Ф. В. Девяткин^{1,2}

¹Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

²Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская улица, 5

Аннотация. Рост развития автономного транспорта связан с повышением безопасности на дорогах, снижением столкновений и повышением эффективности логистических операций. На безопасность также влияет такой фактор, как усложнение дорожных условий и задач, связанных с навигацией и управлением автомобилем, и поэтому традиционные алгоритмы управления оказываются недостаточно качественными и эффективными. **Цель исследования** – разработка интеллектуальной системы, которая позволяет автономному транспортному средству самостоятельно управлять курсом движения автономного агента (модель автомобиля), который обучается навигации и следованию по заданному курсу с помощью обучения с подкреплением на основе взаимодействия с имитационной средой методом актер-критик. **Материалы и методы.** В данной работе для реализации и обучения модели с подкреплением использовалась библиотека Stable-Baselines3 (SB3), построенная на фреймворке PyTorch. В качестве среды обучения использовался симулятор DonkeyCar. Для повышения скорости и эффективности обучения был применен алгоритм шумоподавляющего автокодера для выделения зоны интереса. **Результаты.** В рамках исследования была проведена серия сравнительных тестов, направленных на оценку влияния различных параметров эффективности обучения модели – ограничение скорости, ограничение угла поворота колес, ширины допустимого отклонения, непрерывности движения, коэффициента дисконтирования, частоты отрисовки кадров. **Выводы.** Результаты исследования позволяют сделать выводы о потенциале использования обучения с подкреплением в сфере автономного транспорта, включая необходимость дообучения модели на реальных данных, перспективы масштабирования на транспортные средства различного класса, ограничения, связанные с вычислительными ресурсами и необходимостью безопасной верификации поведения.

Ключевые слова: обучение с подкреплением, беспилотный автомобиль, Q-learning, DQN (Deep Q-Network), актер-критик, имитационное моделирование, интеллектуальная система, симуляционная среда, устойчивость обучения

Поступила 19.05.2025, одобрена после рецензирования 28.05.2025, принята к публикации 02.06.2025

Для цитирования. Ушаков А. Е., Стебулянин М. М., Шереужев М. А., Девяткин Ф. В. Разработка системы управления курсом беспилотного автомобиля на основе обучения с подкреплением // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 39–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-39-54

Development of an unmanned vehicle course control system based on reinforcement learning

A.E. Ushakov¹, M.M. Stebulyanin¹, M.A. Shereuzhev^{✉1}, F.V. Devyatkin^{1,2}

¹Moscow State University of Technology “STANKIN”
127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane

²Bauman Moscow State Technical University
105005, Russia, Moscow, 5, 2-nd Baumanskaya street

Abstract. At present, there is a growing development of autonomous transportation, driven by the need to improve road safety, reduce collisions, and enhance the efficiency of logistics operations. This trend is also influenced by increasing complexity in road conditions and challenges related to vehicle navigation and control, which make traditional control algorithms insufficient in terms of quality and effectiveness. **Aim.** The objective of this research is to develop an intelligent system that enables an autonomous vehicle to independently control its course. The autonomous agent (a vehicle model) learns to navigate and follow a predefined trajectory using reinforcement learning through interaction with a simulation environment, based on the Actor-Critic method. **Materials and Methods.** In this work, the Stable-Baselines 3 (SB3) library built on the PyTorch framework was used to implement and train the reinforcement learning model. The DonkeyCar simulator served as the training environment. To improve the speed and efficiency of training, a denoising autoencoder algorithm was applied to extract the region of interest (ROI). **Results.** A series of comparative experiments was conducted to evaluate the impact of various parameters on training efficiency – such as speed limits, steering angle constraints, allowable deviation width from the lane center, movement continuity, discount factor, and frame rendering rate. **Conclusion.** The results of the study demonstrate the potential of reinforcement learning in the field of autonomous transport, while also highlighting the need for further training on real-world data, the prospects for scaling the approach to different classes of vehicles, and limitations related to computational resources and the need for safe behavior verification.

Keywords: reinforcement learning, unmanned vehicle, Q-learning, DQN (Deep Q-Network), actor-critic, simulation modeling, intelligent system, simulation environment, training stability

Submitted 19.05.2025,

approved after reviewing 28.05.2025,

accepted for publication 02.06.2025

For citation. Ushakov A.E., Stebulyanin M.M., Shereuzhev M.A., Devyatkin F.V. Development of an unmanned vehicle course control system based on reinforcement learning. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 39–54. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-39-54

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается стремительное развитие технологий автономного вождения. Интеллектуальные транспортные системы становятся неотъемлемой частью концепции «умного города» и рассматриваются как ключевой элемент в повышении безопасности дорожного движения, снижении аварийности, а также оптимизации логистических и эксплуатационных процессов [1]. Одной из важнейших задач в этой области является разработка системы управления курсом движения беспилотного автомобиля, способной адаптироваться к изменяющимся условиям дорожной среды¹. В условиях растущей сложности задач традиционные алгоритмы управления становятся недостаточно эффективными, что

¹Когда беспилотные автомобили появятся на дорогах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bespilot.com/chastye-voprosy/kogda-ba-poyavyatsya-na-dorogakh> (дата обращения: 19.03.2025).

актуализирует использование методов искусственного интеллекта, в частности обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) [2–5].

Методы обучения с подкреплением в последние годы активно исследуются в научной среде и находят применение в широком спектре задач – от игр и робототехники до систем управления автономными транспортными средствами. Тем не менее практическая реализация RL в задачах управления курсом движения автомобиля все еще сопряжена с рядом трудностей [6], включая необходимость настройки среды, корректного определения функций награды, обеспечения стабильности и скорости обучения [7]. В отечественной и зарубежной литературе накоплен теоретический материал по алгоритмам Q-learning, DQN, Actor-Critic, однако реальных внедрений в условиях, приближенных к транспортным, пока немного, что подчеркивает научную и прикладную значимость исследования [8–9].

В будущем разработанная система может быть использована в составе более сложных автономных транспортных платформ. Также возможно ее применение в учебных и исследовательских целях для демонстрации и тестирования поведения RL-агентов в задачах управления мобильными объектами [1].

Цель исследования – разработка интеллектуальной системы управления курсом движения автономного транспортного средства на основе методов обучения с подкреплением. В условиях стремительного развития технологий автономного вождения и повышения требований к адаптивности и надежности систем управления особенно актуальными становятся подходы, позволяющие транспортному средству обучаться самостоятельному принятию решений в сложных и изменяющихся условиях дорожной среды.

В рамках исследования предполагается реализация системы, в которой агент (модель автомобиля) обучается навигации и следованию по заданной траектории, взаимодействуя с имитационной средой. Особенность подхода заключается в применении алгоритма актер-критик, позволяющего эффективно комбинировать достоинства методов обучения с политикой и ценностной функцией. Обучение осуществляется в условиях ограниченного пространства действий, ограничений по управлению (скорость, угол поворота) и с использованием специально разработанной функции вознаграждения, стимулирующей безопасное и эффективное поведение агента.

МЕТОДЫ

Традиционно обучение с подкреплением считалось сложной вычислительной задачей, тогда как нейронные сети относятся к задачам, работающим с большими объемами данных. Но развитие глубоких нейронных сетей пошло на пользу обучению с подкреплением. Сейчас нейронные сети начали широко использоваться в моделях обучения с подкреплением, что дало начало глубокому обучению с подкреплением [10].

Несмотря на недавние достижения, ландшафт обучения с подкреплением остается не очень удобным для разработчиков. Интерфейсы для обучения моделей постепенно становятся проще, но эта тенденция пока не проникла в сферу обучения с подкреплением. Еще одна сложность – значительные требования к вычислительным ресурсам и ко времени сходимости модели (до момента, когда обучение можно считать завершенным). Обучение модели может занимать дни, а то и недели [10].

Ключевой характеристикой обучения с подкреплением является то, что в процессе обучения система взаимодействует с окружающей средой. Таким образом, процесс является замкнутым, как представлено на рис. 1. Объектом обучения с подкреплением является так называемый агент, который принимает решения на основе совершения различных действий. Все, что находится вне агента, обозначается как среда [11]. Так, обучение с подкреп-

лением представляет собой процесс, в котором агент взаимодействует с окружающей средой, совершая различные действия, ощущая состояния и получая вознаграждения. Цель агента – научиться действовать таким образом, чтобы максимизировать общее накопленное в течение всего процесса вознаграждение [12].



Рис. 1. Структура процесса обучения с подкреплением: агент взаимодействует с окружающей средой (совершает действие, ощущает состояние и получает вознаграждение) [6]

Fig. 1. The structure of the reinforcement learning process: the agent interacts with the environment (performs an action, senses a state and receives a reward) [6]

В симуляторе агент взаимодействует с окружающей средой, выполняя случайные действия, которые затем оцениваются с помощью функции вознаграждения. Каждому действию в определенном состоянии присваивается числовая оценка: чем она выше, тем более оптимальным считается выбранное действие. Информация о состоянии, действии, вознаграждении сохраняется в буфере воспроизведения и используется для обучения. Суть подхода заключается в том, чтобы обучить автопилот на основе накопленных оценок, начиная с активной фазы исследования среды, которая постепенно снижается по мере приобретения агентом опыта [10].

В симуляторе входные изображения обрабатываются с частотой от 20 до 120 кадров (в зависимости от настройки), и на каждом шаге автомобиль переходит в новое состояние. Сначала модель выбирает случайные действия, но со временем доля использования накопленного опыта увеличивается, а исследовательских – уменьшается. Этот процесс может следовать линейной или экспоненциальной стратегии с экспоненциальным уменьшением доли исследовательских действий в практике обучения с подкреплением (рис. 2).

Также остается проблема сбалансированного обучения системы управления. Глубокие нейронные сети требуют больших объемов данных, и 500 изображений могут быть недостаточны для полноценного обучения [13]. При ограниченном наборе данных сеть может переобучиться, запоминая обучающие данные, и показывает высокие результаты на них, но плохо обобщает новые данные. Это приводит к низкой точности на контрольном наборе, как показано на примере синусоидального распределения данных². Простая модель не может точно аппроксимировать распределение, тогда как мощная (переобученная) модель может запомнить обучающие данные и показать действительно хорошие результаты (рис. 2)³.

²Что такое TensorFlow? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.realiventblog.com/27-what-is-tensorflow-the-machine-learning-library-explained> (дата обращения: 26.03.2025).

³Pylot [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pylot.readthedocs.io/en/latest/index.html> (дата обращения: 20.03.2025).

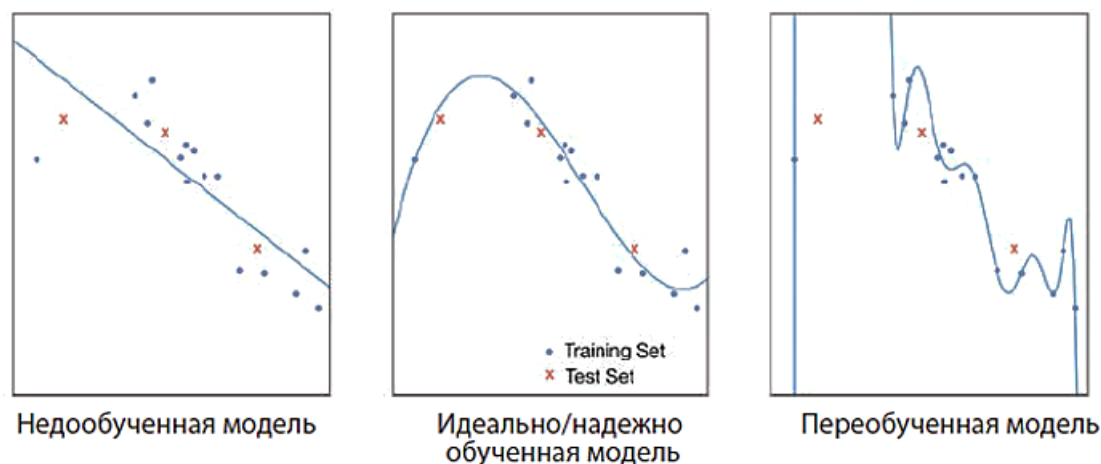


Рис. 2. Недообучение, переобучение и идеальное обучение на точках с распределением, близким к синусоидальному [12]

Fig. 2. Underfitting, overfitting, and ideal learning on points with a distribution close to sinusoidal [12]

В данной работе для реализации и обучения агентов с подкреплением использовалась библиотека Stable-Baselines3 (SB3), разработанная в Центре робототехники и мехатроники Немецкого аэрокосмического центра (DLR-RM)⁴. Stable-Baselines3 представляет собой современную реализацию популярных алгоритмов глубокого обучения с подкреплением, построенную на фреймворке PyTorch, и ориентирована на воспроизводимость, модульность и удобство интеграции в исследовательские и прикладные проекты [14].

При обучении в качестве симулятора взято программное обеспечение симулятора движения Donkey, в котором можно извлекать и воздействовать на такие параметры, представленные в табл. 1. Визуальное объяснение некоторых параметров функции вознаграждения показано на рис. 3 [11].

Таблица 1. Параметры, которые можно извлекать и воздействовать на них [11]

Table 1. Parameters that can be extracted and influenced [11]

Описание параметра	Параметр
Расстояние от осевой линии трека в метрах	"distance_from_center": float
Признак, что автомобиль находится слева от осевой линии трека	"is_left_of_center": Boolean
Отклонение автомобиля от основного направления в градусах	"heading": float
Доля трека в процентах, которую преодолел автомобиль	"progress": float
Количество пройденных шагов	"steps": int
Скорость автомобиля в м/с	"speed": float
Угол поворота колес автомобиля в градусах	"steering_angle": float
Ширина трека	"track_width": float
Список координат (x, y) путевых точек на осевой линии трека	"waypoints": [(float, float),]
Индексы двух ближайших путевых точек	"closest_waypoints": [int, int]

⁴Документация Stable-Baselines3 (SB3) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stable-baselines3.readthedocs.io/en/master/index.html> (дата обращения: 19.03.2025).

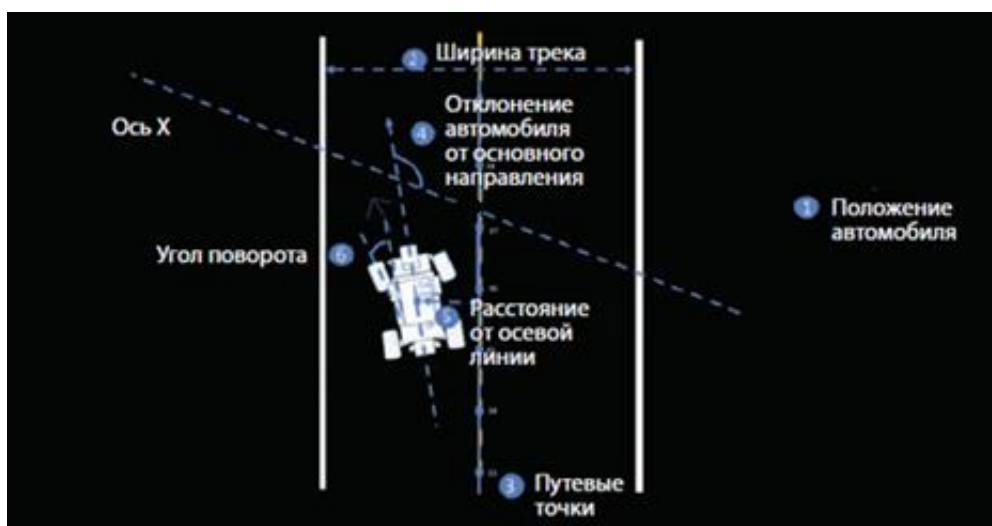


Рис. 3. Визуальное объяснение некоторых параметров, которые можно извлекать и воздействовать на них [12]

Fig. 3. Visual explanation of some of the parameters that can be extracted and influenced [12]

Логика, заложенная в данной функции вознаграждения, заключается в стремлении направить автомобиль по максимально безопасной траектории вдоль трассы. Вес вознаграждения очень важен – при правильной настройке параметров вероятность того, что автомобиль, движущийся по осевой линии, съедет с трека, значительно снижается. С этой целью трасса условно разделена на три зоны, каждая из которых соответствует определенному уровню поощрения – узкая центральная зона, вторая (нецентральная) зона и краевая зона (рис. 4). Назначение веса каждого параметра указано в табл. 2.

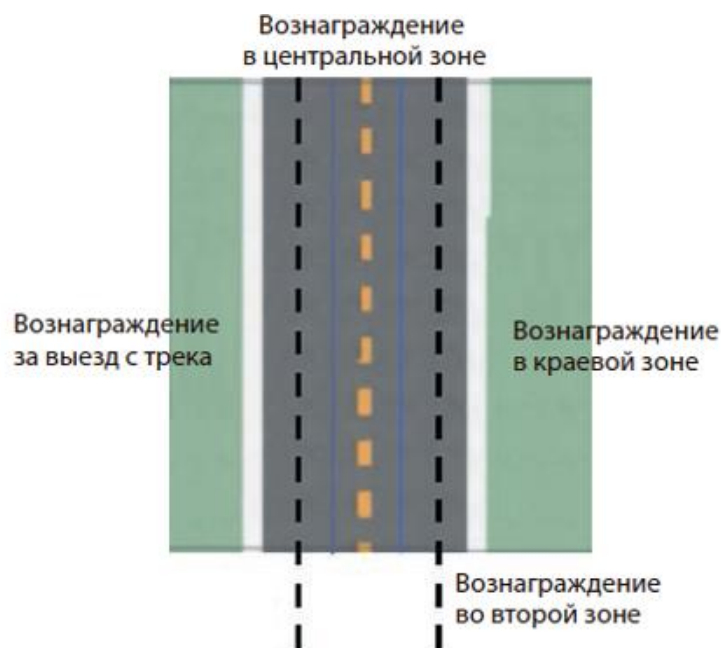


Рис. 4. Определение зон вознаграждения [2]

Fig. 4. Definition of reward zones [2]

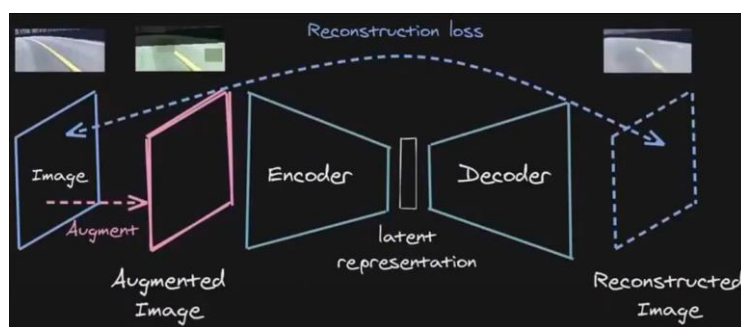
Таблица 2. Назначение веса каждого параметра**Table 2.** Assignment of weight to each parameter

Параметр	Вес
Нахождение в узкой центральной зоне	2
Нахождение во второй (нецентральной) зоне	0,5
Нахождение в краевой зоне	0,2

Если уменьшить вознаграждение за нахождение в центральной зоне или увеличить вознаграждение за нахождение во второй зоне, мы фактически побудим машину использовать большую часть поверхности трека [11].

Если мы хотим подготовить быстро и качественно модель, то нам нужно сократить пространство обзора камеры агента, чтобы на обработку изображений с камеры тратилось меньше вычислительных ресурсов. При взгляде на кадр с камеры его удобно разбить на три горизонтальных сегмента (рис. 6 а). Нижний сегмент можно исключить, т.к. там мало информации, которая нам требуется, такой как дорога и разметка, верхний сегмент тоже довольно однороден – в нем доминируют серо-белые оттенки неба и облаков. Средний же сегмент кардинально отличается: он заполнен многочисленными деталями, такими как дорога, разделительная полоса, ограждения и т. д.

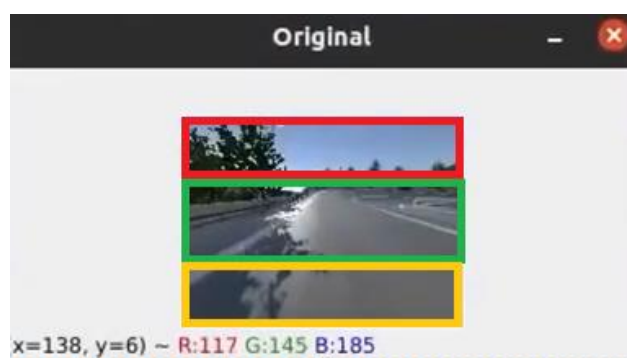
Предложим автопилоту сосредоточиться исключительно на нужной части кадра для упрощения обучения. Для этого на изображении выделим область интереса ROI (Region Of Interest) [14]. Поскольку строгих требований к форме ROI не существует, ее выбор определяется конкретной задачей. В нашем случае камера жестко зафиксирована, а наклон дороги остается постоянным, поэтому зону ROI можно представить в виде простого прямоугольника, охватывающего проезжую часть и ее границы [15]. Выделение будет выполняться при помощи шумоподавляющего автокодера – принципиальная схема его работы показана на рис. 5.

**Рис. 5.** Схема работы шумоподавляющего автокодера⁵**Fig. 5.** Operation scheme for the noise-suppressing autoencoder

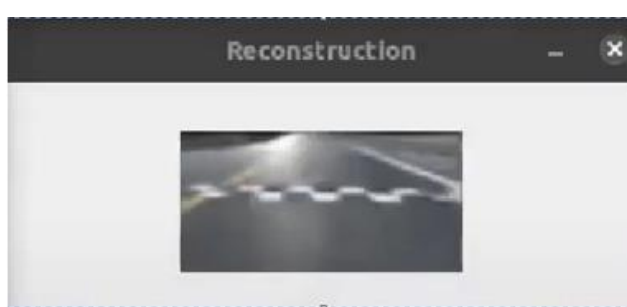
Суть его работы заключается в том, что есть изображение в качестве входных данных, оно кодируется в небольшом скрытом пространстве латентного вектора-представления этого изображения, и, используя этот вектор, оно пытается реконструировать изображение. В конечном итоге автокодер перебрасывает изображение после обработки на вход обратно. В результате после обработки можно увидеть изображение, как на рис. 6 б. Теперь модель будет принимать на вход изображение только непосредственно дороги. Другие изменения

⁵Araffin A. aae-train-donkeycar: GitHub repository. URL: <https://github.com/araffin/aae-train-donkeycar> (дата обращения: 19.05.2025).

в верхней и нижней зоне не будут входить, что позволит уменьшить размер изображения вдвое и существенно упростит обучение нейронной сети.



а) Выделение областей интереса



б) Работа шумоподавляющего автокодера

Рис. 6. Определение области интереса (разработано авторами)

Fig. 6. Area of interest definition (developed by the authors)

Путем тестов было выявлено что наиболее сбалансированный и эффективный набор сети (net_arch) [16] будет 256 x 256 точек. В таблице 3 представлен список всех требований, которые мы только что определили.

Таблица 3. Список компонентов и требований

Table 3. List of components and requirements

Компонент	Требования
Операционная система	Linux
Симулятор	DonkeyCar Simulator
Язык и среда программирования	Python. Visual Studio Code
CPU/GPU	Процессор от 8 ядер, частота 4.2 Гц Видеоускоритель с большим количеством видеопамяти – от 16 Гб
Другие инструменты + зависимости для Python	TensorFlow+Keras Шумоподавляющий автокодер Библиотека Stable-Baselines3 (SB3)
Размер сети	256 x 256
Обратные вызовы	Функция ReduceLROnPlateau

После определения требуемых параметров для обучения модели можно приступить непосредственно к процессу обучения.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Поначалу агент находится на старте (рис. 7 а), через какое-то время начинается выполнение действия.

После выполнения действия, выбранного случайно или на основе прежнего опыта, автомобиль переходит в новое состояние (рис. 7 б). С помощью функции вознаграждения вычисляется оценка, и результат присваивается выбранному действию.

Этот процесс повторяется для каждого состояния, пока не будет достигнуто конечное состояние, то есть когда автомобиль выкатится за пределы трека (рис 7 в) или завершит круг, после чего автомобиль будет установлен на старт, и заезд повторится. Шаг – это переход из одного состояния в другое, и на каждом шаге записываются данные (состояние, действие, вознаграждение, новое состояние). Коллекция шагов от начального до конечного состояния называется эпизодом.

Также на рис. 7 б показано, как агент проходит эпизод. Функция вознаграждения с весом 2 побуждает агента придерживаться осевой линии – это самый короткий и быстрый путь от старта до финиша.



а) агент находится на старте



б) агент переходит в новое состояние



в) агент выкатился за пределы трека

Рис. 7. Процесс обучения модели (разработан авторами)

Fig. 7. Model training process (developed by the authors)

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Если агенту не ограничить (конкретизировать) условия обучения, то на общее обучение будет затрачено гораздо больше времени. Поэтому для агента задается ограничение угла поворота колес относительно основной прямой траектории движения. На графике (рис. 8) приведены три результата опыта при трех различных параметрах угла отклонения агента от траектории. Максимально «широкое» ограничение изменения угла отклонения от траектории агента $(-0.8, 0.8)$. Усредненное значение ограничения изменения угла отклонения от траектории агента $(-0.6, 0.6)$. Минимально «узкое» ограничение изменения угла отклонения от траектории агента $(-0.5, 0.5)$. Так, при «расширенном» ограничении изменения угла отклонения от траектории агента в пределах $(-0.8, 0.8)$ автомобиль затратит больше времени на прохождение того же пути, что он пройдет при более «суженном» ограничении изменения угла отклонения от траектории агента в пределах $(-0.5, 0.5)$. Другими словами, если ограничение изменения угла отклонения от траектории агента будет задано в более «узких» предельных значениях, то времени на процесс обучения будет потрачено меньше, а пройденный путь будет больше.

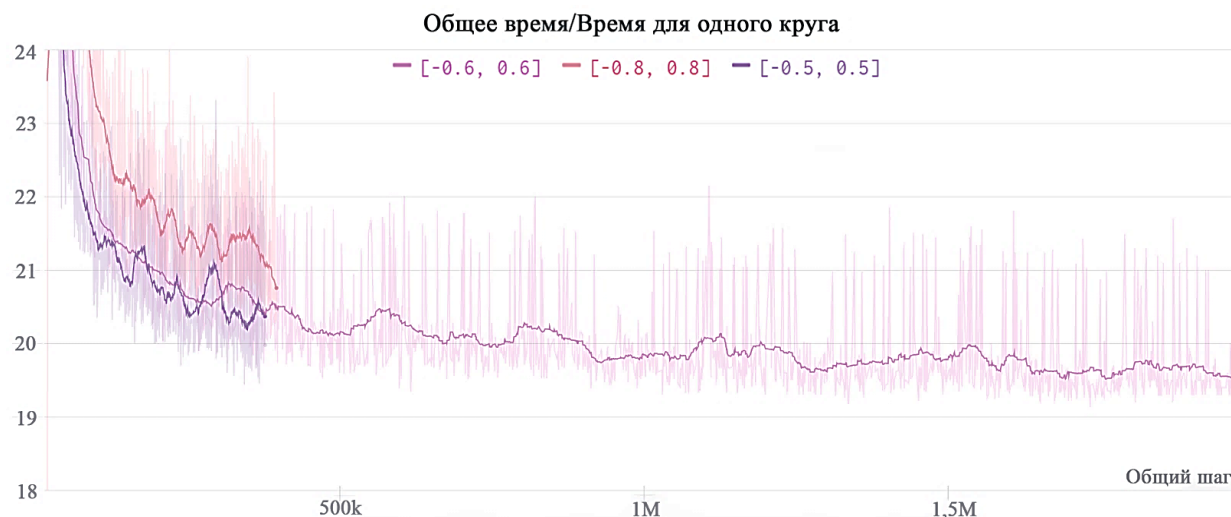


Рис. 8. График сравнения различных максимальных значений отклонения колес при разных ограничениях угла поворота

Fig. 8. Comparison chart for maximum wheel deflection values at steering angle limits

Ограничение использования скорости также либо ускоряет, либо усложняет процесс обучения агента. Как видно из графика (рис. 9), положительная единица, соответствующая ускорению автомобиля, прямо пропорциональна отрицательной единице торможения. Для исследования взяты разные отношения ограничений ускорения-торможения.

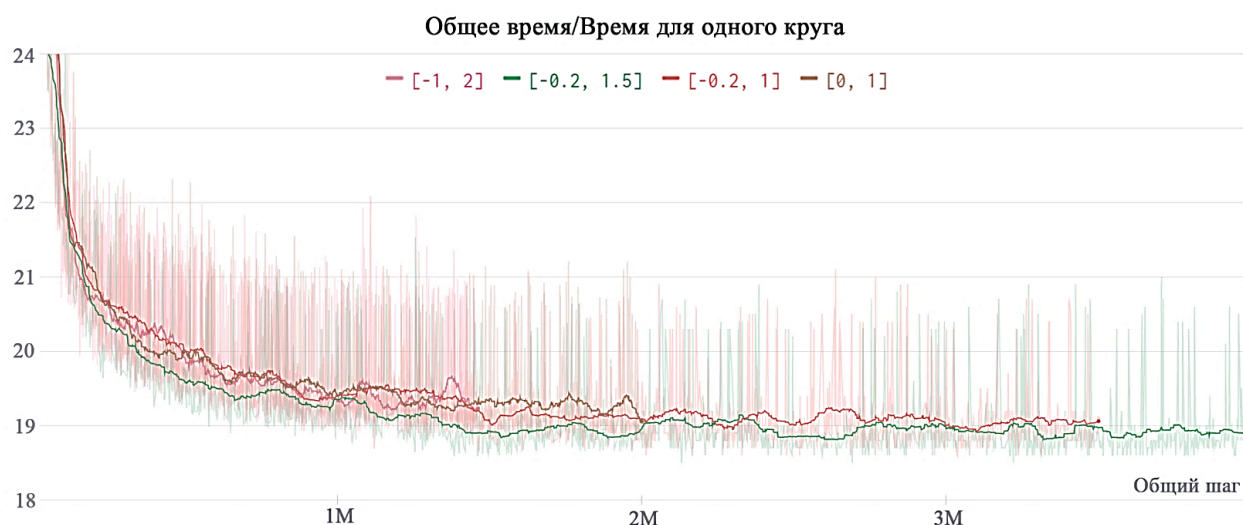


Рис. 9. График сравнения различных пределов использования скорости

Fig. 9. Comparison chart for speed limits

Агент едет по дороге с конкретно заданной шириной. Если не ограничивать ширину пространства его действия, которое он может использовать для построения маршрута и маневрирования, то он будет просто за счет значений других показателей пытаться решить задачу (рис 10). Т.е. вместо того, чтобы замедлиться для вхождения в поворот на узкой полосе дороги, агент будет постоянно ускоряться для того, чтобы пройти трассу за более короткий промежуток времени. Но задавать максимально узкую полосу для построения маршрутных маневров тоже нельзя. Агент должен научиться проходить трассу максимально коротким, но правильным маршрутом – пройти трассу за наименьшее время и без столкновений. Т.е. агент должен научиться двигаться не только по центру полосы/участка движения, но и сокращать общий путь движения для более быстрого прохождения круга.

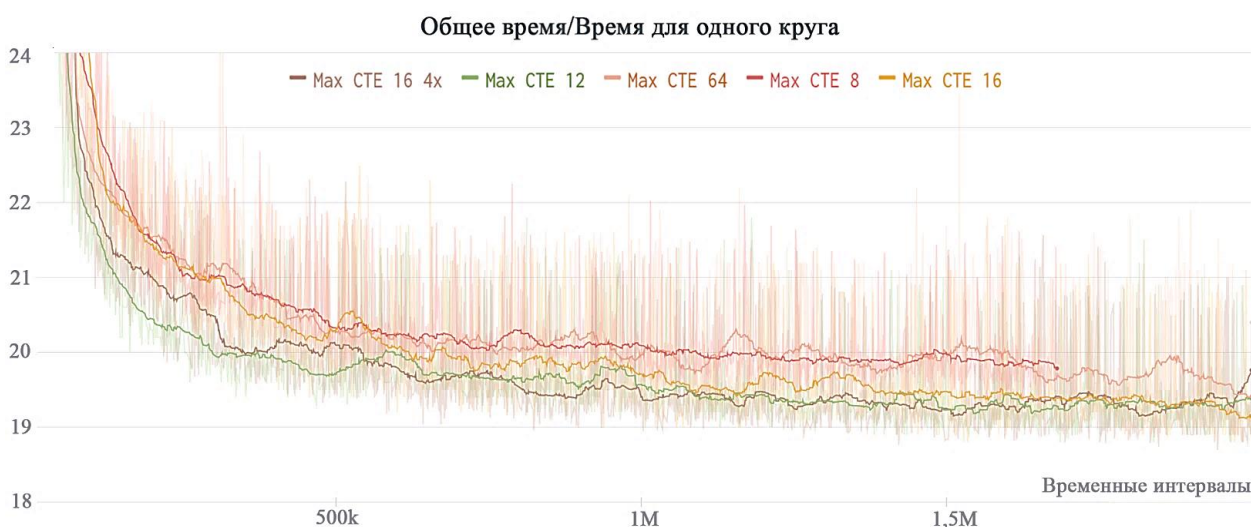


Рис. 10. График сравнения различной ширины допустимого отклонения

Fig. 10. Comparison chart for widths tolerance

На время прохождения трассы также влияет и непрерывность скорости движения агента (рис. 11). Если у агента стоит задача преодолеть круг за наиболее короткий путь и наиболее короткое время, то ему нужно также научиться минимизировать количество остановок во время движения для экономии этого самого времени. Чем меньше агенту приходится прерывать свое движение, тем быстрее будет преодолена трасса.

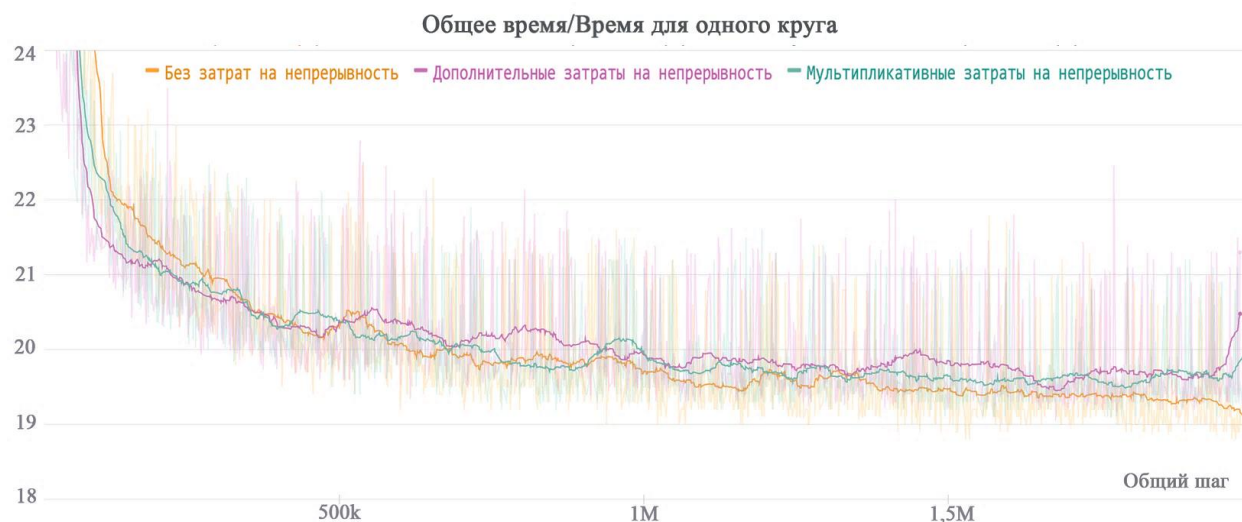


Рис. 11. График сравнения непрерывного движения и остановок

Fig. 11. Comparison chart for continuous movement and stops

Это значение, при котором агент получает вознаграждение за правильно пройденный круг трассы (рис. 12). Если значение γ будет составлять 0.98, то агент будет часто получать сиюминутные вознаграждения за правильно пройденный участок трассы на допустимой скорости, но не научиться сокращать и оптимизировать свой путь. Если значение γ будет составлять 0.995, то агент будет искать идеальные условия и траектории движения для быстрого преодоления трассы, но это увеличит время обучения и количество попыток для идеального преодоления трассы.

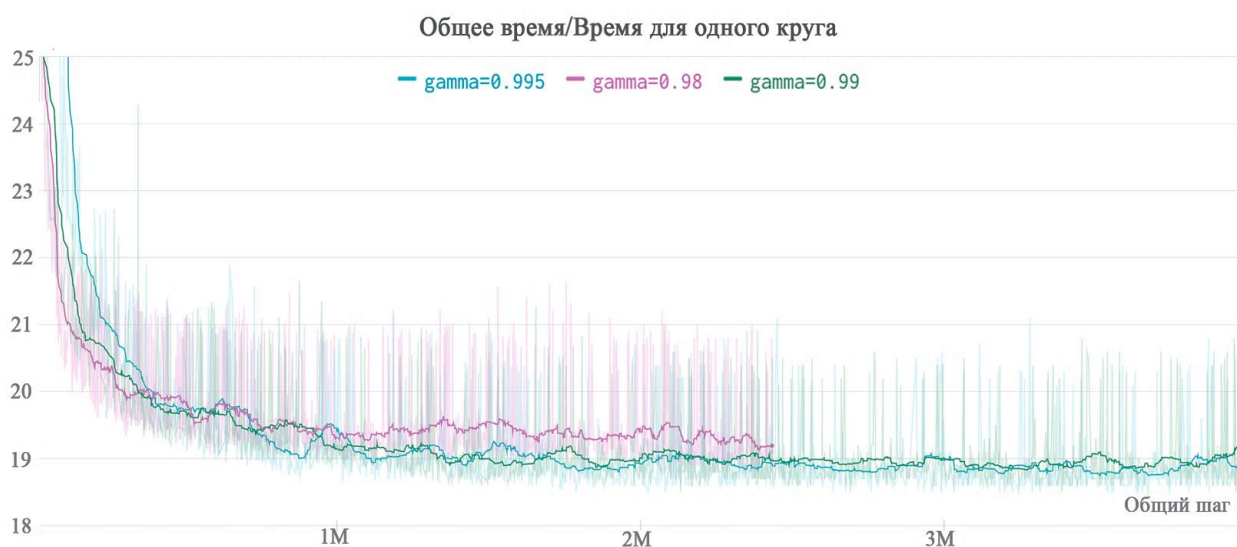


Рис. 12. График сравнения с различными коэффициентами дисконтирования (γ)

Fig. 12. Comparison chart with different discount factors (γ)

Частота отрисовки кадров в секунду также важна для эффективного обучения. Чем стабильней и выше частота кадров в секунду, тем больше шагов проходит агент без совершения ошибок (рис. 13).

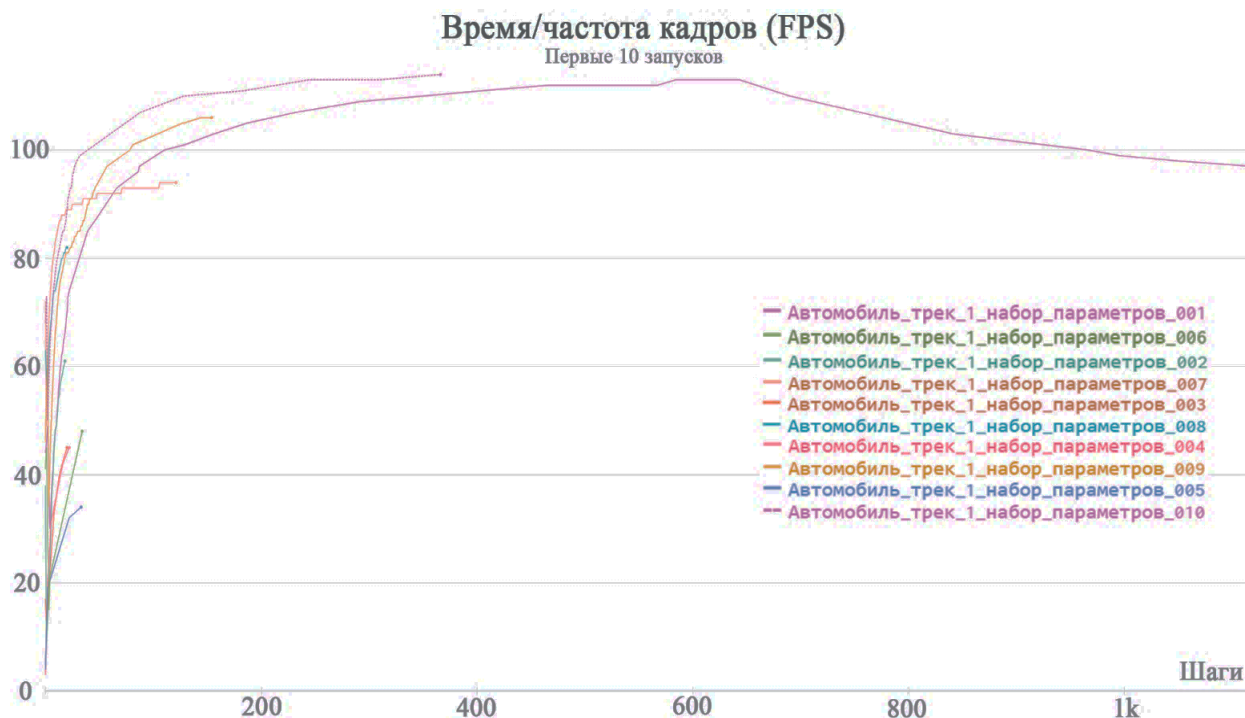


Рис. 13. График зависимости пройденных шагов от количества кадров в секунду (FPS/s)

Fig. 13. Dependence graph between the number of steps traveled and the number of frames per second (FPS/s)

Выводы

Результаты исследования позволяют сделать выводы о потенциале использования обучения с подкреплением в сфере автономного транспорта, включая необходимость дообучения модели на реальных данных, перспективы масштабирования на транспортные средства различного класса, ограничения, связанные с вычислительными ресурсами и необходимостью безопасной верификации поведения. Как показали эксперименты, модели с более высокой максимальной скоростью движения обучаются дольше. Можно выявить общую зависимость времени адаптации агента к ограничениям – чем больше ограничений, которые воздействуют на автомобиль, тем лучше модель адаптируется к среде. Метод актер-критик может быть использован в обучении, но не так быстро, как бы того хотелось. На обучение одной только этой модели ушло 125 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Сыркин И. С., Дубинкин Д. М., Юнусов И. Ф., Ушаков А. Е. Системы управления автономного карьерного самосвала // Россия молодая: сб. материалов XIV Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, Кемерово, 19–21 апр. 2022 г. Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2022. С. 420071–420078. EDN: CXHGOK

Syrkin I.S., Dubinkin D.M., Yunusov I.F., Ushakov A.E. Control systems of autonomous mining dump trucks. *Young Russia: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*, Kemerovo, April 19–21, 2022. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2022. Pp. 420071–420078. EDN: CXHGOK. (In Russian)

2. Toromanoff M., Wirbel E., Moutarde F. End-to-end model-free reinforcement learning for urban driving using implicit affordances. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2020. С. 7151–7160. DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00718

3. Sauer A., Savinov N., Geiger A. Conditional affordance learning for driving in urban environments. *Proceedings of the Conference on Robot Learning (CoRL)*. 2018. DOI: 10.48550/arXiv.1806.06498

4. Шереушев М. А., У Го, Серебрянный В. В. Модификация алгоритма глубокого обучения для распределения функций и задач между робототехническим комплексом и человеком в условиях неопределенности и переменности окружающей среды // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 208–218. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-208-218.

Shereuzhev M.A., U Go, Serebrenny V.V. Modification of a deep learning algorithm for the distribution of functions and tasks between a robotic system and a human under conditions of uncertainty and environmental variability. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. P. 208–218. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-208-218. (In Russian)

5. Tampuu A., Semikin M., Muhammad N. et al. Survey of end-to-end driving: Architectures and training methods: arXiv preprint arXiv:2003.06404. 2020.

6. Лютикова Л. А. Применение метода машинного обучения для анализа неполных данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 139–145. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-139-145.

Lyutikova L.A. Application of a machine learning method for the analysis of incomplete data. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 139–145. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-139-145. (In Russian)

7. Шереушев М. А., Арабаджиев Д. И., Семянников И. В. Моделирование алгоритма предотвращения столкновений в робототехнических коллаборативных системах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 67–81. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-67-81.

Shereuzhev M.A., Arabadzhiev D.I., Semyannikov I.V. Modeling of a collision avoidance algorithm in collaborative robotic systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 67–81. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-67-81. (In Russian)

8. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas (NV), 2016. Pp. 770–778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90

9. Петренко В. И. Классификация задач мультиагентного обучения с подкреплением // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. Т. 3. № 101. С. 32–44. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-3-101-32-44.

Petrenko V.I. Classification of multi-agent reinforcement learning tasks. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. Vol. 3. No. 101. Pp. 32–44. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-3-101-32-44. (In Russian)

10. Коул А., Ганджу С., Казам М. Искусственный интеллект и компьютерное зрение: реальные проекты на Python, Keras и TensorFlow. Санкт-Петербург: Питер, 2019. 356 с. ISBN: 978-1-492-04305-0.

Cole A., Gandju S., Kazam M. *Iskusstvennyy intellekt i komp'yuternoye zreniye: real'nyye proyekty na Python, Keras i TensorFlow* [Artificial intelligence and computer vision: Real projects using Python, Keras, and TensorFlow]. St. Petersburg: Piter, 2019. 356 p. ISBN: 978-1-492-04305-0. (In Russian)

11. Ушаков А. Е., Стебулянин М. М. Исследование параметров обучения модели для системы управления курсом движения // Интернаука: электронный научный журнал. 2025. № 1-3(365). С. 53–57. EDN: OXPGLQ

Ushakov A.E., Stebulyanin M.M. Study of model training parameters for a course control system. *Internauka*. 2025. No. 1-3(365). Pp. 53–57. EDN: OXPGLQ. (In Russian)

12. Ушаков А. Е. Использование симулятора для исследования технологий автономного движения // Российская наука в современном мире: сборник статей LXVII международной научно-практической конференции, Москва, 15 января 2025 г. М.: Актуальность. РФ, 2025. С. 155–158. EDN: JFUWYO

Ushakov A.E. Using a simulator to study autonomous driving technologies. *Russian Science in the Modern World: Proceedings of the LXVII International Scientific and Practical Conference*. Moscow, January 15, 2025. Moscow: Aktualnost. RF, 2025. Pp. 155–158. EDN: JFUWYO. (In Russian)

13. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. Cambridge, MA: MIT Press, 2018. 552 с.

14. Liang X., Wang T., Yang L., Xing E. CIRL: Controllable imitative reinforcement learning for vision-based self-driving. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*. 2018. DOI: 10.48550/arXiv.1807.03776

15. Шереузов М. А., Шереузов М. А., Кишев А. Ю. Вопросы выбора системы технического зрения сельскохозяйственных робототехнических комплексов для контроля сорной растительности // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 4(108). С. 84–95. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-4-108-84-95

Shereuzhev M.A., Shereuzhev M.A., Kishev A.Yu. Issues of selecting a machine vision system for agricultural robotic complexes for weed control. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 4(108). Pp. 84–95. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-4-108-84-95. (In Russian)

16. Chen D., Zhou B., Koltun V., Krähenbühl P. Learning by Cheating: arXiv preprint arXiv:1912.12294. 2019

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare no conflicts of interests.

Вклад авторов:

Ушаков А. Е. – постановка эксперимента, написание выводов статьи,
Стебулянин М. М. – разработка концепта статьи,
Шереузов М. А. – постановка проблемы,
Девяткин Ф. Д. – подготовка списка литературы, оформление рисунков и таблиц.

Contribution of the authors:

Ushakov A.E. – experimental setup, writing the paper's conclusions,
Stebulyanin M.M. – article conceptualization,
Shereuzhev M.A. – problem statement,
Devyatkin F.D. – preparation of the reference list and the design of figures and tables.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках темы госзадания 2024–2026 (проект FSFS-2024-0012).

Funding. This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state task 2024–2026 (project FSFS-2024-0012).

Информация об авторах

Ушаков Александр Евгеньевич, аспирант, инженер-исследователь кафедры «Робототехника и мехатроника», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

ushakov_ae@internet.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1467-5043>, SPIN-код: 5174-7378

Стебулянин Михаил Михайлович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Робототехника и мехатроника», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

mmsteb@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3443-0593>, SPIN-код: 4389-1120

Шереузов Мадин Артурович, кан. тех. наук, доцент кафедры «Робототехника и мехатроника», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

shereuzhev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>, SPIN-код: 1734-9056

Девяткин Федор Владимирович, аспирант кафедры СМ7 «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана;

105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская улица, 5;

инженер, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

feodor-dev@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2639-9521>, SPIN-код: 7738-5724

Information about the authors

Alexander E. Ushakov, Postgraduate student, Research Engineer, Department of Robotics and Mechatronics, Moscow State University of Technology “STANKIN”;

127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane;

ushakov_ae@internet.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1467-5043>, SPIN-code: 5174-7378

Mikhail M. Stebulyanin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Robotics and Mechatronics, Moscow State University of Technology “STANKIN”;

127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane;

mmsteb@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3443-0593>, SPIN-code: 4389-1120

Madin A. Shereuzhev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Robotics and Mechatronics, Moscow State University of Technology “STANKIN”;

127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane;

shereuzhev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>, SPIN-code: 1734-9056

Fedor V. Devyatkin, Postgraduate student at the Department of ME7 “Robotic Systems and Mechatronics”, The Bauman Moscow State Technical University;

105005, Russia, Moscow, 5, 2-nd Baumanskaya street;

Engineer, Moscow State University of Technology “STANKIN”;

127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane;

feodor-dev@ya.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2639-9521>, SPIN-code: 7738-5724

Исследование влияния электромагнитных процессов BLDC-мотора на показания гироскопа

Х. Фам Чонг^{✉1}, А. А. Шилин¹, М. Т. Нгуен²

¹Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 7

²Российский технологический университет МИРЭА
119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78

Аннотация. Актуальность работы заключается в том, что вибрационные помехи, возникающие вследствие работы двигателей квадрокоптера, остаются одной из ключевых причин ухудшения точности и устойчивости систем управления беспилотными летательными аппаратами. Эти помехи, вызванные переключением магнитных потоков в электродвигателях, могут существенно влиять на показания датчиков, таких как гироскопы и акселерометры, что снижает общую эффективность навигации и стабилизации. Поэтому исследование свойств таких помех и их влияния на динамику квадрокоптера является важной и практически значимой задачей. **Цель данной работы** заключается в определении свойств вибрационных помех, вызванных переключением магнитных потоков в двигателях, и влияния этих помех на работу квадрокоптера. **Методы.** В работе использованы методы математического моделирования, спектрального анализа и экспериментального исследования. **Результаты.** В работе предложена модификация модели квадрокоптера, учитывающая эти помехи. Результаты моделирования и экспериментальных исследований подтверждают, что частота вибрации связана с управлением двигателей и присутствует в спектре силы тяги, что в свою очередь отражается на показаниях гироскопа и акселерометра. Подчеркивается необходимость учета вибрационных помех для качественного синтеза систем управления квадрокоптером, а также разработки новых алгоритмов, устойчивых к шумам. **Выводы.** Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию архитектуры управления с учетом выявленных спектральных составляющих помехи, а также на разработку более эффективных фильтров, которые могли бы обеспечить высокий уровень производительности и точности при условии наличия помех.

Ключевые слова: BLDC-мотор, спектральная составляющая, помехи, математическое ожидание, квадрокоптер, дисперсия

Поступила 15.05.2025, одобрена после рецензирования 28.05.2025, принята к публикации 02.06.2025

Для цитирования. Фам Чонг Х., Шилин А. А., Нгуен М. Т. Исследование влияния электромагнитных процессов BLDC-мотора на показания гироскопа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 55–72. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-55-72

MSC: 81T80; 37N35

Original article

The effect of electromagnetic processes on gyroscope readings in BLDC motors

H. Pham Trong^{✉1}, A.A. Shilin¹, M.T. Nguyen²

¹Tomsk Polytechnic University
634050, Russia, Tomsk, 7 Usova street

²MIREA – Russian Technological University
119454, Russia, Moscow, 78 Vernadsky avenue

Abstract. The relevance of the work lies in the fact that vibration interference due to the operation of quadcopter engines remains one of the key reasons for the deterioration in accuracy and stability of drone control systems. This interference, caused by a flux switching motor, can significantly affect the accuracy of accelerometer and gyroscope readings, reducing the overall navigation and stabilisation performance. Therefore, studying the properties of such disturbances and their influence on quadcopter dynamics is an important and practical task. **The objective** of this paper is to determine vibration properties caused by flux switching motor, as well as their effect on quadcopter performance. **Methods.** The methods of mathematical modelling, spectral analysis and experimental investigations are used in this work. **Results.** This paper proposes a modification to the quadcopter model that considers these interferences. Modelling and experimental results confirm that vibration frequency is related to engine control and is present in the thrust force spectrum, which in turn is reflected in the readings from the gyroscope and accelerometer. The necessity of taking vibration noise into account for qualitative synthesis of quadcopter control systems, as well as the development of new noise-tolerant algorithms is emphasized. **Conclusions.** Further research could focus on optimising the control architecture to account for the identified spectral interference. It could also involve developing more efficient filters that could deliver high performance and accuracy when noise interference is included.

Keywords: BLDC motor, spectral component, disturbances, mathematical expectation, quadcopter, variance

Submitted 15.05.2025,

approved after reviewing 28.05.2025,

accepted for publication 02.06.2025

For citation. H. Pham Trong, Shilin A.A., Nguyen M.T The effect of electromagnetic processes on gyroscope readings in BLDC motors. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 55–72. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-55-72

ВВЕДЕНИЕ

Синтез системы управления полетом квадрокоптера является сложной и интересной научной задачей с точки зрения исследования замкнутых контуров с ПИД-регулированием. Сложность реализации стабильного управления связана не только с взаимосвязанным многоконтурным управлением системами с астатизмом второго порядка, но и с проблемой учета помех в каналах измерения гироскопа. Это требует разработки эффективных методов управления в условиях помех, обеспечивающих требуемую функциональность [1]. Для обеспечения стабильного полета используются многоконтурные ПИД-регуляторы с отрицательной обратной связью. Учитывая особенности математической модели, можно достичь управления с разделенными замкнутыми контурами, что обеспечивает высокую точность в ориентации аппарата [2].

Основные входные данные для ПИД-регулятора, касающиеся ориентации квадрокоптера, формируются на основе информации, получаемой от инерциального измерительного блока (IMU), включающего как программу обработки, так и непосредственно датчик. Этот датчик способен оценивать изменения линейных ускорений и угловой скорости, а также углы наклона, используя трехосные гироскопы и акселерометры [3]. Программа обработки показаний гироскопа обычно включает фильтр Калмана, позволяющий нивелировать помехи в виде гауссовского шума.

Современные математические модели квадрокоптеров рассматривают переходной процесс (ПП), описывая их либо как гладкие, либо с добавлением гауссовского шума [4–6]. Однако данные, получаемые с высокочувствительных и бюджетных IMU, часто содержат шумы, не соответствующие нормальному распределению. В частности, шум, вызванный вибрацией двигателей, затрудняет анализ данных акселерометра, так как эти вибрации отражаются как помеха со спектральной составляющей, отличной от спектра белого шума.

Поэтому вышеуказанные модели могут оказаться менее адекватными для качественного описания реальных условий полета.

Основанием для данного исследования стала работа [7], где проведено экспериментальное исследование современных алгоритмов фильтрации, включая фильтр Калмана и комплементарный фильтр. Кроме оценок качества работы фильтров, наше внимание привлекла колебательная составляющая показаний гироскопа и акселерометра. Наблюдаемые в переходных процессах колебания (рис. 1) имеют не гауссовскую природу. Анализ нефiltroванных сигналов "Асс" и "Gyro" свидетельствует о том, что данные колебания способны существенно влиять на качество фильтрации и достоверность конечных оценок.

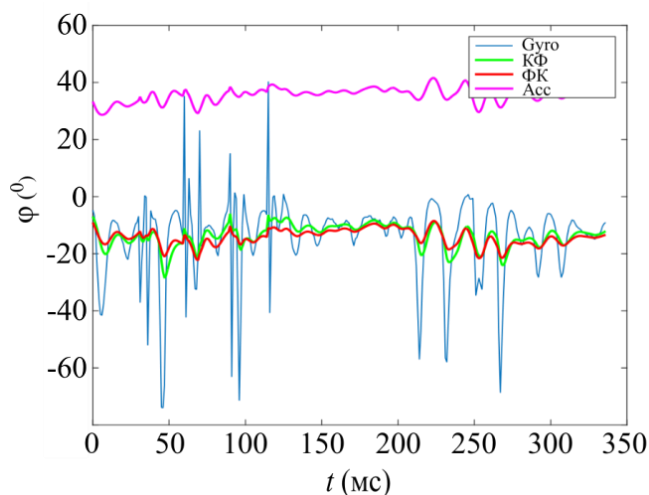


Рис. 1. Исследование колебаний в угле тангажа

Fig. 1. Study of oscillations in pitch angle

Сама природа возникновения этих периодических процессов в работе [7] не исследуется, несмотря на то, что это может быть пробелом в понимании механизмов, вызывающих такие колебания. Исследование причины колебаний, таких как механические вибрации, может объяснить изменения в динамике полета или нестабильность работы контура, что может оказаться критически важным для описания математических моделей работы квадрокоптера.

Конечно, спектральная компонента может быть связана с радиопомехами или с работой контура резонансного генератора для измерения угловой скорости на основе силы Кориолиса. К сожалению, частота собственных колебаний резонансного генератора в описании не указана. Однако попытка оценить частоту по выражению

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

где жесткость пружины (k) и массу (m) пластины датчика позволяет оценить, приняв реалистичные значения. К примеру, при $k = 500 \text{ Н/м}$ и $m = 0,001 \text{ кг}$. В этом случае частота составит 112 Гц, что вполне может быть той самой причиной колебаний на ПП. Но поскольку сама пластина имеет стабильную массу и на порядок меньше массы микросхемы (до грамма), то частота резонанса пластины должна быть значительно выше и не должна зависеть от частоты оборотов двигателя.

Целью данной работы являются исследование причин появления вибрационных помех в показаниях гироскопа и акселерометра, а также модификация математической модели квадрокоптера, которая учитывает эти периодические и вибрационные помехи, возникающие на валу двигателя. Для достижения цели следует выполнить следующие задачи:

1. Исследование ПП момента на валу BLDC-мотора с помощью модели трехфазного синхронного двигателя на постоянных магнитах с прямоугольной формой напряжений обмотки [8]. Процесс изменения момента предполагается исследовать на быстром и плавном пуске с целью обнаружения периодической составляющей.

2. Выполнение натурного эксперимента для подтверждения результатов моделирования.

3. Проведение сравнительного спектрального анализа с целью определения связи спектра с частотой оборотов.

4. Коррекция математической модели квадрокоптера с учетом влияния вибраций момента из модели BLDC-мотора, характерных для реальных полетных условий.

5. Выполнение дополнительных экспериментов исключения причин возникновения колебаний из-за радиопомех и возможного влияния резонанса при измерении силы Кориолиса.

Для определения возможного влияния радиопомех и помех по сети питания предполагается выполнение экспериментов на двух платформах: с общей и разделенной силовой и измерительной частью. Таким образом, предложенные шаги направлены на более точное и достоверное объяснение влияния вибраций BLDC-мотора на функционирование квадрокоптера.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ BLDC-МОТОРА

Математическая модель BLDC-мотора представляет трехфазную синхронную машину. Согласно исследованиям [9] и технической документации преобразователя частоты [10] принята прямоугольная форма фазных напряжений.

Математическая модель [11] представлена системой дифференциальных уравнений (ДУ), описывающей эволюцию фазных токов i_X , i_Y и i_Z , и имеет вид:

$$\begin{cases} u_X = L_S \frac{di_X}{dt} + i_X R_S + e_X, \\ u_Y = L_S \frac{di_Y}{dt} + i_Y R_S + e_Y, \\ u_Z = L_S \frac{di_Z}{dt} + i_Z R_S + e_Z, \end{cases} \quad (2)$$

где u_X , u_Y , u_Z – фазные напряжения статора, e_X , e_Y , e_Z – противо-ЭДС фаз статора, R_S – активное сопротивление фазной обмотки, L_S – индуктивность статора.

Зависимость между скоростью вращения ротора и противо-ЭДС каждой фазы статора представлена уравнениями [11]:

$$\begin{cases} e_X = K_e \omega_r F(\theta_r), \\ e_Y = K_e \omega_r F\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right), \\ e_Z = K_e \omega_r F\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right), \end{cases} \quad (3)$$

где K_e – постоянная константа ЭДС, θ_r – положение ротора, ω_r – скорость вращения ротора, F – трапецевидная форма противо-ЭДС. Она зависит от углового положения ротора двигателя согласно выражениям

$$F(\theta_r) = \begin{cases} 10 \leq \theta_r \leq \frac{2\pi}{3}, \\ 1 - \frac{6}{\pi} \left(\theta_r - \frac{2\pi}{3} \right) \frac{2\pi}{3} \leq \theta_r \leq \pi, \\ -1\pi \leq \theta_r \leq \frac{5\pi}{3}, \\ 1 + \frac{6}{\pi} \left(\theta_r - \frac{5\pi}{3} \right) \frac{5\pi}{3} \leq \theta_r \leq 2\pi. \end{cases} \quad (4)$$

Электромагнитный момент, обеспечивающий вращение, зависит от тока фаз [12] и может быть записан в виде:

$$M_E = K_f i_\Phi F(\theta_r), \quad (5)$$

где M_E и i_Φ – векторы моментов и токов, K_f – коэффициент крутящего момента. Поскольку трапецеидальная форма (4) противо-ЭДС (3) не совпадает с прямоугольной формой управляющего сигнала (2), то в выражении они не могут быть полностью компенсированы в токах i_X , i_Y , i_Z . Следовательно, спектральная составляющая сигнала управления в ПП момента (5) будет присутствовать.

Сумма моментов по 3 фазам определяет частоту вращения согласно механической модели турбовентиляторной машины согласно ДУ [13]:

$$M_E = B \omega_r(t) + J \frac{d\omega_r(t)}{dt} + M_L, \quad (6)$$

где J – момент инерции, M_L – крутящий момент внешней нагрузки, B – коэффициент трения в подшипниках и лопастях.

Типовая математическая модель BLDC-мотора обычно не учитывает момент внешней нагрузки M_L ввиду его малой величины по сравнению с M_E . Это допущение обеспечивает возможность перехода от полных уравнений (2) и (6) к упрощенной структурной схеме.

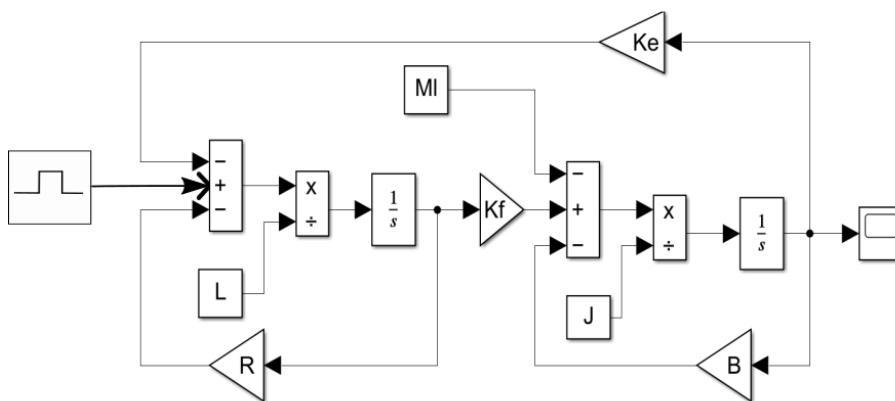


Рис. 2. Блок-схема вычисления положения ротора BLDC-мотора

Fig. 2. Block diagram of BLDC motor rotor position calculation

Из структурной схемы, как это предложено в работе [14], можно получить упрощенную передаточную функцию

$$W(s) = \frac{\omega_r(s)}{U_{PWM}(s)} = \frac{K_f}{\tau_2^2 s^2 + \tau_1 s + 1}, \quad (7)$$

где

$$\tau_1 = \frac{RJ + BL}{RB + K_f K_E}; \quad \tau_2^2 = \frac{JL}{RB + K_f K_E}. \quad (8)$$

Это ДУ описывает зависимость между управлением частотой переключения (U_{PWM}) и угловой скоростью вращения ротора (ω_r). Эти параметры приведены в работе [15].

Следует отметить, что постоянные времени достаточно малы в сравнении с периодом переключения фазных напряжений, чтобы демпфировать рывки в ПП магнитного потока. Однако в математических моделях квадрокоптеров в качестве модели двигателя с приводом применяется (7) с большими временами, значительно превышающими значения (8). Это связано с применением низкочастотных фильтров в цепи обратной связи контура управления, где спектр ПП момента нивелирован. Однако необоснованно большое превышение постоянных времени низкочастотного фильтра также значительно понижает быстродействие контуров управления.

Для исследования ПП момента на валу двигателя разработана программа на языке Python [16] для реализации более подробной математической модели турбовентиляционной машины [8]. На базе данной модели получены ПП для нескольких характерных режимов изменения скорости вращения. В ходе анализа результатов моделирования были выбраны два процесса для двигателя квадрокоптера при быстром и плавном пусках.

При моделировании быстрого пуска (рис. 3) наблюдается наличие начального смещения математического ожидания наведенных шумов относительно задающего сигнала при наборе частоты вращения. Продолжительность переходного процесса (~ 80 мс) определяется электрохимической постоянной времени двигателя (8) и приведенным моментом инерции нагрузки J .

Также был рассмотрен переходный процесс с плавным пуском, при котором частота переключения фазных напряжений плавно нарастает. На рис. 4 видно, что математическое ожидание шума как в установившемся режиме, так и в процессе нарастания скорости остается близким к нулю, что является важным условием для корректной работы фильтра Калмана.

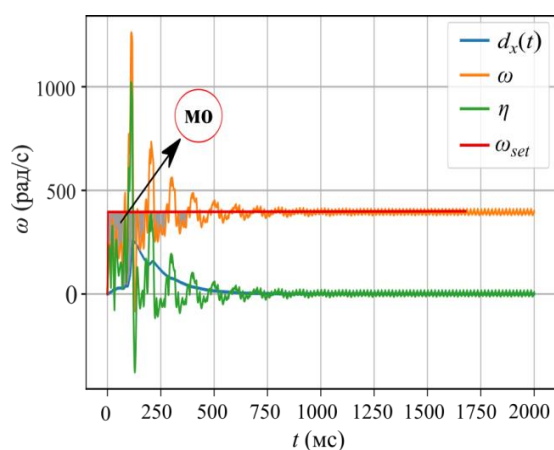


Рис. 3. Переходные процессы при быстром пуске

Fig. 3. Transient processes during fast start

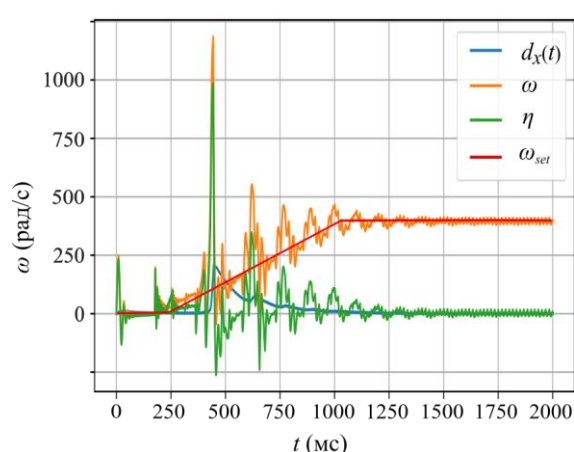


Рис. 4. Переходные процессы при плавном пуске

Fig. 4. Transient processes during soft start

Результаты моделирования для обоих случаев демонстрируют наличие двух выраженных периодических составляющих в спектре.

Первая синусоидальная компонента с увеличенной амплитудой и низкой частотой возникает при нарастании скорости и исчезает после установления потокосцепления. Вторая компонента, с меньшей амплитудой, но более высокой частотой, вызывает чувствительные рывки значения частоты и сохраняется даже при стабилизации системы. Эти составляющие спектра можно записать следующим образом:

$$\Delta = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2), \quad (9)$$

где $A_1 > A_2$, $\omega_1 \approx \omega_2/6$.

В математической модели квадрокоптера [17] из-за сложности описания работы мотора принято использовать ДУ второго порядка (7) для описания связи управляющего сигнала на входе частотного преобразователя со скоростью вращения в следующем виде:

$$\tau_s^2 \frac{d^2 \omega_r(t)}{dt^2} + 2\gamma \tau_s \frac{d\omega_r(t)}{dt} + y = K_p u_r(t). \quad (10)$$

В этом случае частота вращения не содержит периодической составляющей, которая может значительно влиять на контур управления. Если предположить связь частоты от сигнала управления с включенным спектром (9), то сигнал частоты вращения каждого двигателя в модели квадрокоптера можно представить в следующем виде:

$$\delta(t) = A_1 \sin(\omega_u n_p t) + A_2 \sin\left(\frac{\omega_u n_p}{6} t\right), \quad (11)$$

где $i \in (1, 2, 3, 4)$ – номера двигателей, n_p – количество полюсов двигателя. В этом случае полагаем, что этот спектр будет влиять на момент тяги.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КВАДРОКОПТЕРА

Обозначим $\varphi, \theta, \psi \in R$ как углы поворота крена, тангажа и рыскания соответственно, $-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2$, $\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$, $-\pi \leq \psi \leq \pi$; $x, y, z \in R$ – как координаты положения квадрокоптера в земной системе координат. Нелинейная динамическая модель квадрокоптера, учитывающая внешние возмущения и неопределенности, может быть сформулирована следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{F}{m} (C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi) - \frac{K_x}{m} \dot{x} \\ \ddot{y} = \frac{F}{m} (S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi) - \frac{K_y}{m} \dot{y} \\ \ddot{z} = \frac{F}{m} (C_\phi C_\theta) - \frac{K_z}{m} \dot{z} - g \\ \ddot{\phi} = \frac{1}{I_{xx}} [(I_{yy} - I_{zz}) \dot{\theta} \dot{\psi} - J_r \dot{\theta} \Omega + M_\phi - K_{ax} \dot{\phi}] \\ \ddot{\theta} = \frac{1}{I_{yy}} [(I_{zz} - I_{xx}) \dot{\phi} \dot{\psi} + J_r \dot{\phi} \Omega + M_\theta - K_{ay} \dot{\theta}] \\ \ddot{\psi} = \frac{1}{I_{zz}} [(I_{xx} - I_{yy}) \dot{\phi} \dot{\theta} + M_\psi - K_{az} \dot{\psi}], \end{array} \right. \quad (12)$$

где $C(x) = \cos(x)$, $S(x) = \sin(x)$, $T(x) = \tan(x)$, параметры $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, m, g$ в выражении (13) представлены инерционными свойствами квадрокоптера. Полная модель, включающая ПИД-регуляторы по положению, скорости и ускорению, приведена в работах [21–23], $u_i \in R$, $i = 1, 2, 3, 4$ – каналы управления. Из математической модели квадрокоптера, что скорость вращения ротора пропорциональна создаваемой подъемной силе и крутящему моменту, которые выражены системой уравнений [18–19]:

$$\begin{bmatrix} F \\ M_\phi \\ M_\theta \\ M_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2) \\ bl(\omega_1^2 - \omega_3^2) \\ bl(\omega_2^2 - \omega_4^2) \\ d(\omega_1^2 - \omega_2^2 + \omega_3^2 - \omega_4^2) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_F \\ \delta_\phi \\ \delta_\theta \\ \delta_\psi \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где ω_i – угловая скорость ротора, b – коэффициент тяги, l – длина руки квадрокоптера, d – коэффициент сопротивления, δ – помехи, которые предлагается включить в модель.

А моменты в свою очередь определяют ускорение по тангажу φ , крену θ , рысканию ψ , их производные и далее положения x , y , z , которые непосредственно измеряются датчиком.

На основании выражений (12) и (13) делаем вывод, что показания гироскопа напрямую зависят от крутящих моментов, тогда как данные акселерометра определяются величиной приложенной тяги. Таким образом, при включении зависимости (10) в модель во всех показаниях гироскопа должна присутствовать спектральная компонента, соответствующая графикам на рисунках 1, 3 и 4.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Популярная реализация гироскопа MPU-6050 с чипом GY-521 позволяет измерять шесть переменных состояния из (13), что соответствует углам крена и тангажа, их производные q и p , вертикальное ускорение производной угла рыскания r . Для определения влияния радиопомех и наводок по силовым линиям собрана экспериментальная платформа, где ESC-преобразователи, микроконтроллер и средства измерения подключены к одному источнику питания. На платформе выполнена серия экспериментов на разных скоростях с установленными винтами и без них. На рис. 5, 6 показаны переходные процессы, полученные на данной платформе.

Из рисунков видно, что частота колебаний пропорциональна скорости оборотов, и в случае, когда винтов нет, амплитуда колебаний значительно меньше. Это позволяет предполагать, что колебания показаний гироскопа и акселерометра имеют механическую связь с переключением потокоцепления обмоток с постоянными магнитами мотора.

После снятия с платформы датчика, расположенного рядом с включенными двигателями, форма сигнала практически полностью соответствует ПП, достаточно подробно рассмотренным в работе [24], где помеха не имеет четко выраженных периодических сигналов. Следовательно, резонансная частота подвешенного датчика также не просматривается в показаниях гироскопа и акселерометра.

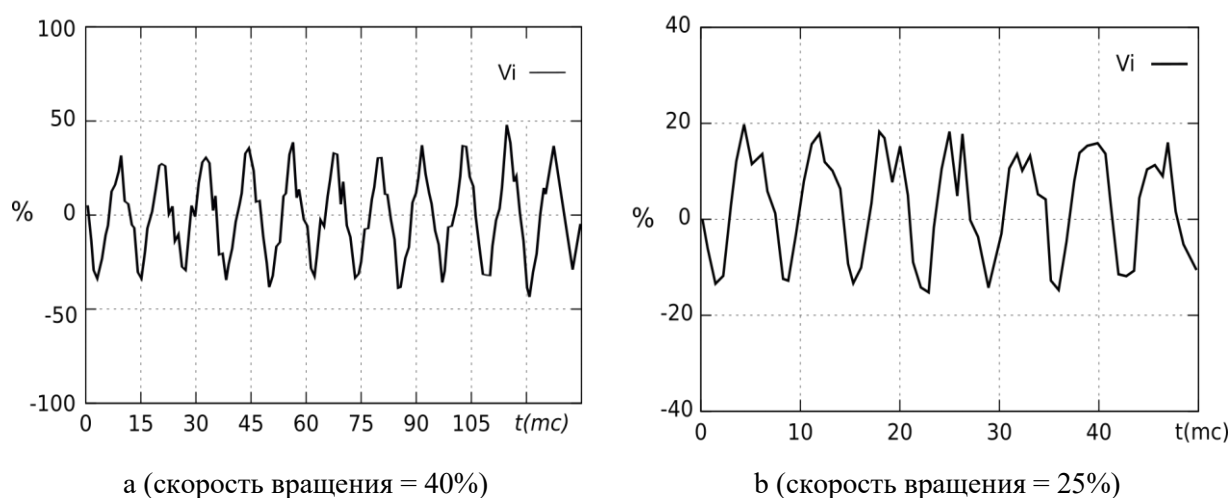
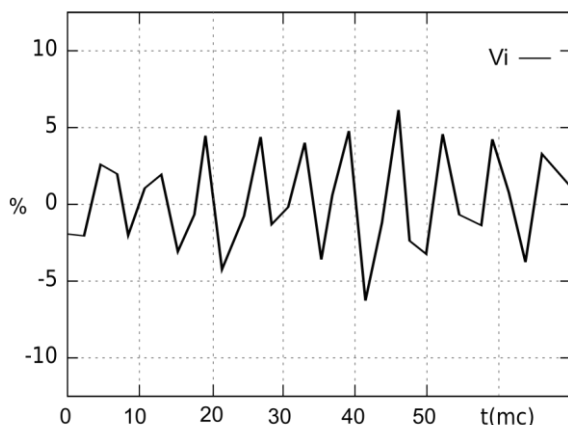
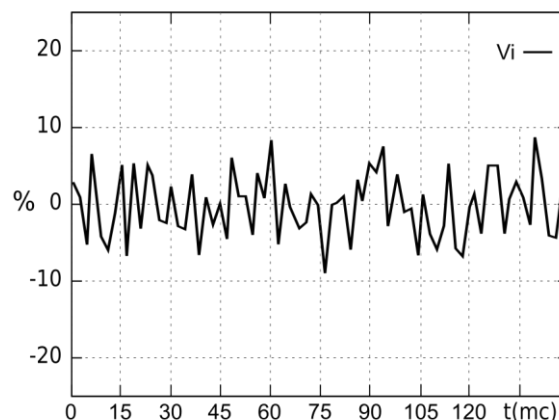


Рис. 5. Переходные процессы с винтами

Fig. 5. Transient processes with screws



а (скорость вращения = 40%)



б (скорость вращения = 25%)

Рис. 6. Переходные процессы без винтов**Fig. 6.** Transient processes without screws

Данная серия экспериментов не подтвердила явную зависимость от радиопомех и резонансных свойств датчика. Несмотря на то, что влияние наводок по шине питания также явно не выражено, дальнейшие эксперименты проводились с отдельными источниками: для питания ESC-контроллеров использовался аккумулятор, а гироскоп подключен к персональному компьютеру.

Исследование выполнялось на квадрокоптере, к которому подключена плата Arduino UNO с датчиком трехосевого гироскопа и акселерометра GY-521 (MPU-6050), поскольку штатный полетный контроллер содержит недостаточный объем оперативной памяти (20 кБ) для сохранения ПП. Внешний вид экспериментальной установки показан на рис. 7.



а



б

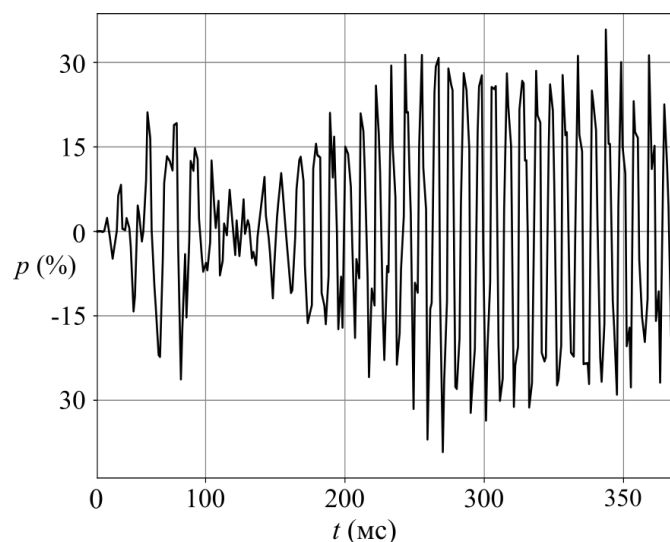
Рис. 7. Экспериментальные установки с датчиком, расположенным вне платформы (а), и с датчиком, установленным непосредственно на платформе (б)**Fig. 7.** Experimental setups with a sensor located outside the platform (a) and with a sensor installed directly on the platform (b)

Характеристики квадрокоптера и двигателя, используемых в эксперименте, показаны в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Характеристика квадрокоптера			Характеристика BLDC-мотора		
Параметры	Значение	Единица измерения	Параметры	Значение	Единица измерения
Масса	0.8	кг	Тип	2807	
Длина рамы	0.135	м	Количество оборотов	1300KV	
I_{xx}	1.466×10^{-2}	кгм ²	Рабочее напряжение	4–6	S
I_{yy}	1.466×10^{-2}	кгм ²	Максимальная тяга	2092	г
I_{zz}	2.848×10^{-2}	кгм ²	Вес	58	г
Частоты управления	RC: 433	МГц	Тип пропеллера	7 дюймов	
Используемый датчик	IMU 6050		Размер	33.1x19.4	мм
Полетный контроллер	Betaflight F4V3S		Рабочая температура	83	С°

Переходный процесс фиксируется на персональном компьютере, где данные поступают из устройства Arduino через последовательный порт. Для обеспечения максимальной частоты дискретизации ПП по последовательному порту передавалась только одна переменная. Это позволило увеличить частоту дискретизации до 600–700 Гц. Вид ПП по осям тангажа и крена мало отличается, поэтому в статье ограничимся одной переменной – производной угла тангажа p .

Рис. 8. Переходный процесс производной по тангажу (p)Fig. 8. Transient process of the pitch derivative (p)

На рис. 8 показан фрагмент переходного процесса, из которого можно увидеть периодическую составляющую, соответствующую части спектра A_2 и ω_2 из выражения (9). Максимальная амплитуда достигает 20 % от всего диапазона измерения, что может превышать полезный сигнал в несколько раз. Наблюдается относительно медленное изменение амплитуды, что, вероятно, связано с разницей частот на четырех двигателях в виде биений.

При изменении задающей частоты на ПП ожидаемая спектральная составляющая с параметрами A_1 и ω_1 , определяемыми выражением (9), либо отсутствует, либо проявляется нечетко. Для анализа данного явления ниже исследованы сигналы p и их спектры, полученные методом преобразования Фурье на различных этапах пуска: быстрый пуск (рис. 9) и плавный пуск (рис. 10).

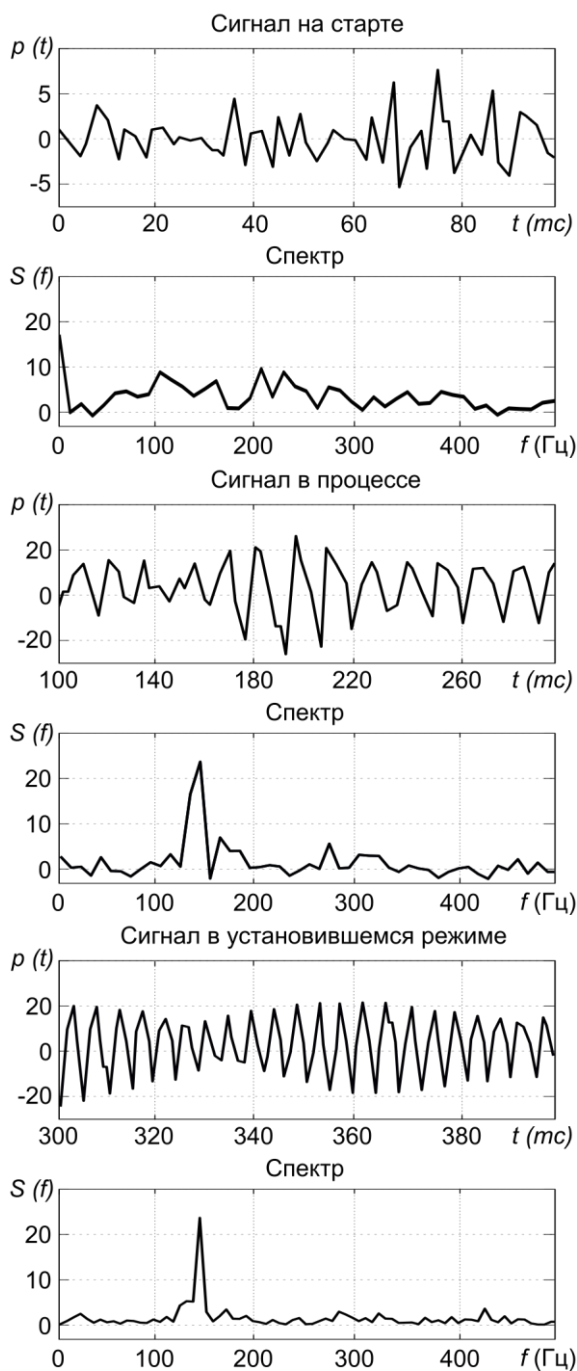


Рис. 9. Спектры по быстрому пуску

Fig. 9. Fast start spectra

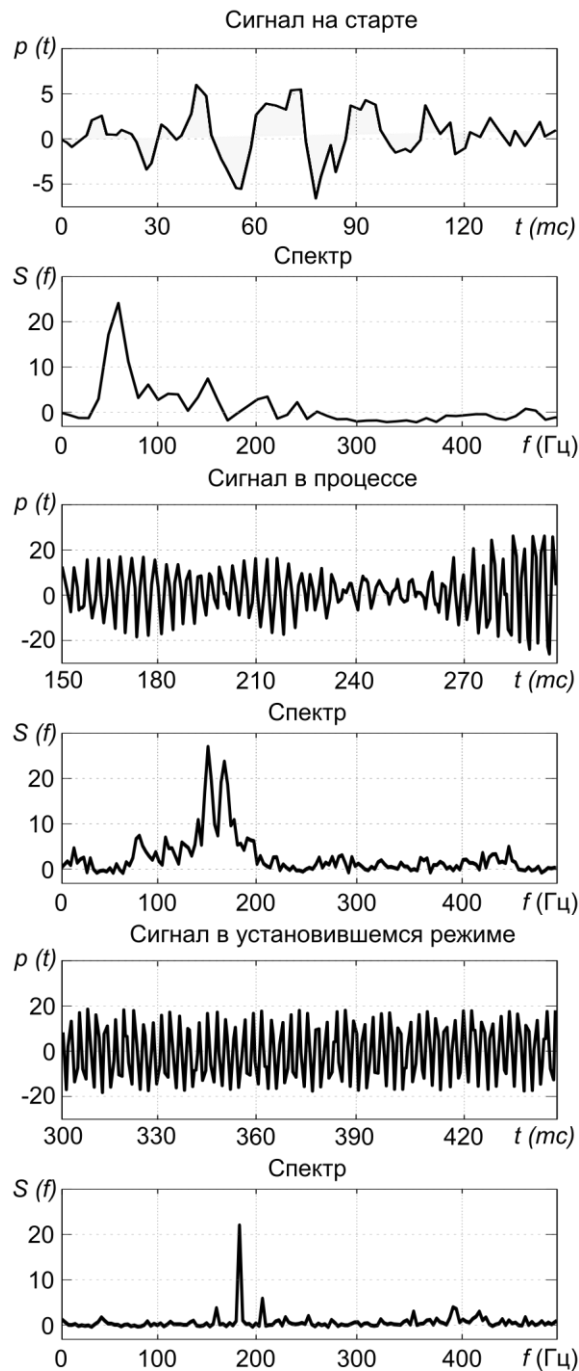


Рис. 10. Спектры по плавному пуску

Fig. 10. Soft start spectra

Связи значения сигнала управления двигателем с частотой помехи в спектре показаны в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

% (Мощности)	10	20	30	40	50	80	100
Гц	75	132	175	250	325	500	620

Важно отметить, что на всех этапах плавного пуска спектр присутствует, и его амплитуда достигает 20–30 % от всего диапазона измерений (рис. 8). Несмотря на то, что спектральная составляющая является значительной помехой для работы замкнутых контуров регулирования, она свидетельствует о том, что в управлении двигателем сформировано потокоцепление, и частота оборотов двигателя соответствует сигналу управления на входе частотного преобразователя ESC.

Результаты анализа демонстрируют значительную зависимость спектрального состава сигнала от режима ПП. В установившемся режиме (250–350 с) в спектре преобладает одна четко выраженная частота, соответствующая частоте переключения с амплитудой A_1 в (11). В режиме нарастания частоты (150–250 с) появляется выраженная периодическая составляющая, обусловленная переходными процессами при изменении скорости вращения. На начальном этапе запуска (0–100 с) спектр не содержит ярко выраженных доминирующих частот, поэтому в выражении A_2 незначительно. Это может быть связано либо с тем, что амплитуда полезного сигнала ниже уровня гауссовского шума, либо с наличием значительного постоянного смещения, выражающегося в высоком значении математического ожидания.

В результате обобщенная помеха (11) по каналам F может быть применена в (13) в виде выражения

$$\delta_{F,\varphi,\theta,\psi} = A_{F,\varphi,\theta,\psi} \sin\left(\frac{RPM \cdot n_p}{60} \cdot \frac{u}{100\%} \cdot 2\pi\right), \quad (14)$$

где RPM – обороты в минуту, u – сигнал управления мотора, вычислен по %.

Время нарастания частоты (300 с) более чем в три раза больше, чем на рис. 4. Это значительное несовпадение результатов моделирования и эксперимента объясняется характеристиками ESC частотного привода [10], где на программном уровне наложено ограничение на скорость изменения управляющего сигнала.

Также при плавном пуске (рис. 10) математическое ожидание, близкое к нулю, подтверждается минимальными значениями спектра в окрестности нулевой частоты, в отличие от быстрого пуска, где спектр начинается с ненулевых значений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ С УЧЕТОМ СПЕКТРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

На рис. 11 представлены результаты работы модели квадрокоптера в условиях отсутствия шумов для типовой задачи тестирования [17].

Качественная оценка углов их производных позволяет настроить контуры управления без перерегулирования с достаточно короткими временами переходного процесса. Моменты и силы тяги каждого винта имеют схожую форму ПП с частотой оборотов двигателя. Время переходного процесса по каналу рыскания составляет 2 с. По каналам крена и тангажа прямые показатели качества ПП сложно оценить, поскольку задающие значения меняются плавно. Однако если оценивать задержку между реальными углами и заданными, можно оценить время ПП от 0,4 с до 0,8 с.

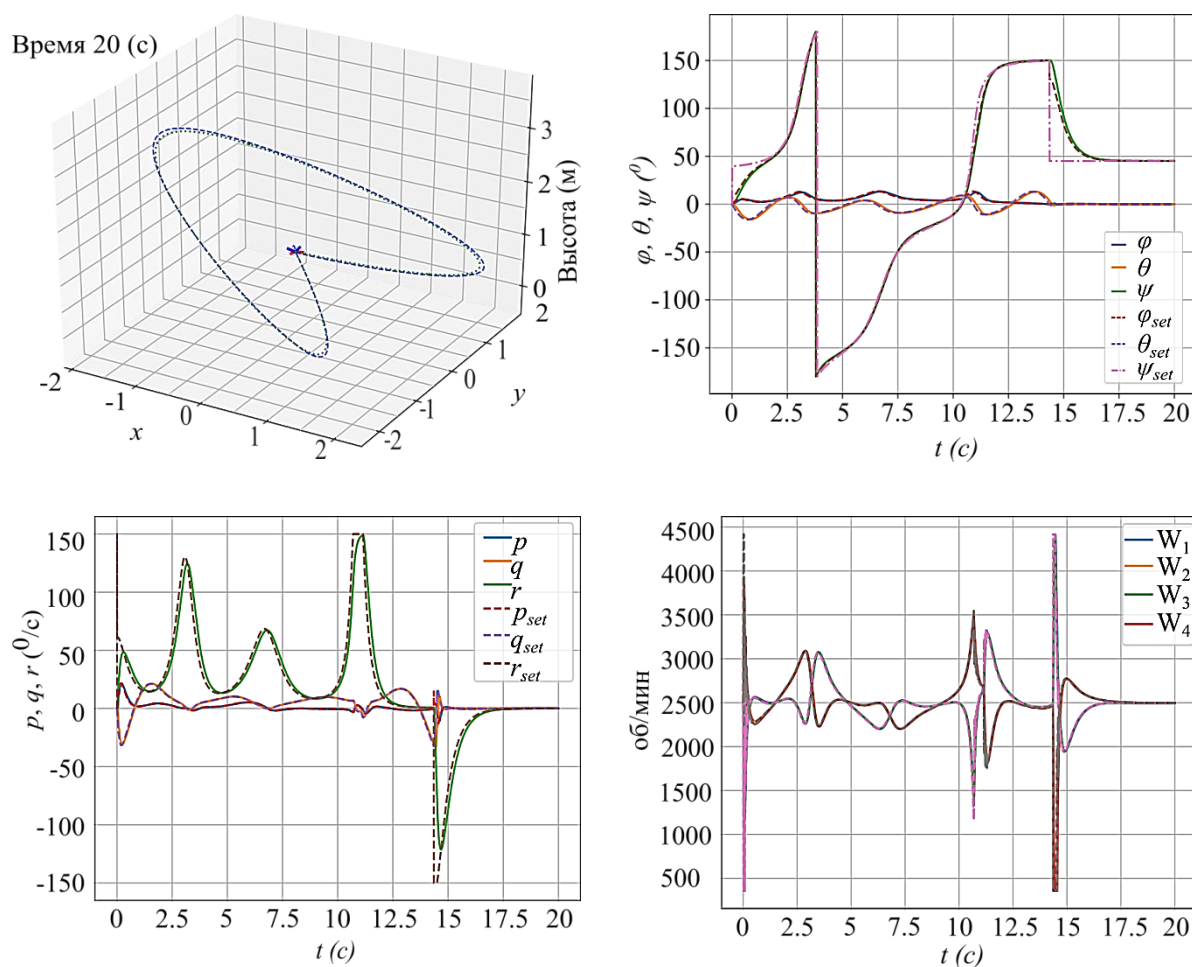


Рис. 11. Параметры полета квадрокоптера при идеальном условии

Fig. 11. Quadcopter flight parameters under ideal conditions

Результаты моделирования при включении периодической составляющей шума в математическую модель квадрокоптера представлены на рис. 12. Из результатов моделирования видно, что включение в модель периодического шума не нарушает устойчивости процесса, однако качество ПП чувствительно хуже.

В процессах момента и силы тяги спектр присутствует. Форма сигнала заданной скорости двигателя на выходе ПИД-регулятора имеет значительные колебания сигнала. Это можно объяснить тем, что при работе замкнутых контуров ПИД-регулирования форма сигналов оборотов двигателей содержит не только внесенную помеху (11), но и реакцию дифференцирующего звена регулятора. Следует отметить, что на практике такая форма задающего сигнала для частотных преобразователей неприемлема, поскольку наложено ограничение на скорость изменения сигнала управления. Это видно из оценки скорости нарастания оборотов на рисунках 9 и 10.

Анализ исходных кодов [22, 23] действующих квадрокоптеров свидетельствует, что на входе ESC-контроллеров применяется фильтр низкой частоты. Это исключает возможность резких изменений сигнала управления на частотный привод. Однако такая реализация замкнутых контуров управления значительно ухудшает их быстродействие в реальных системах.

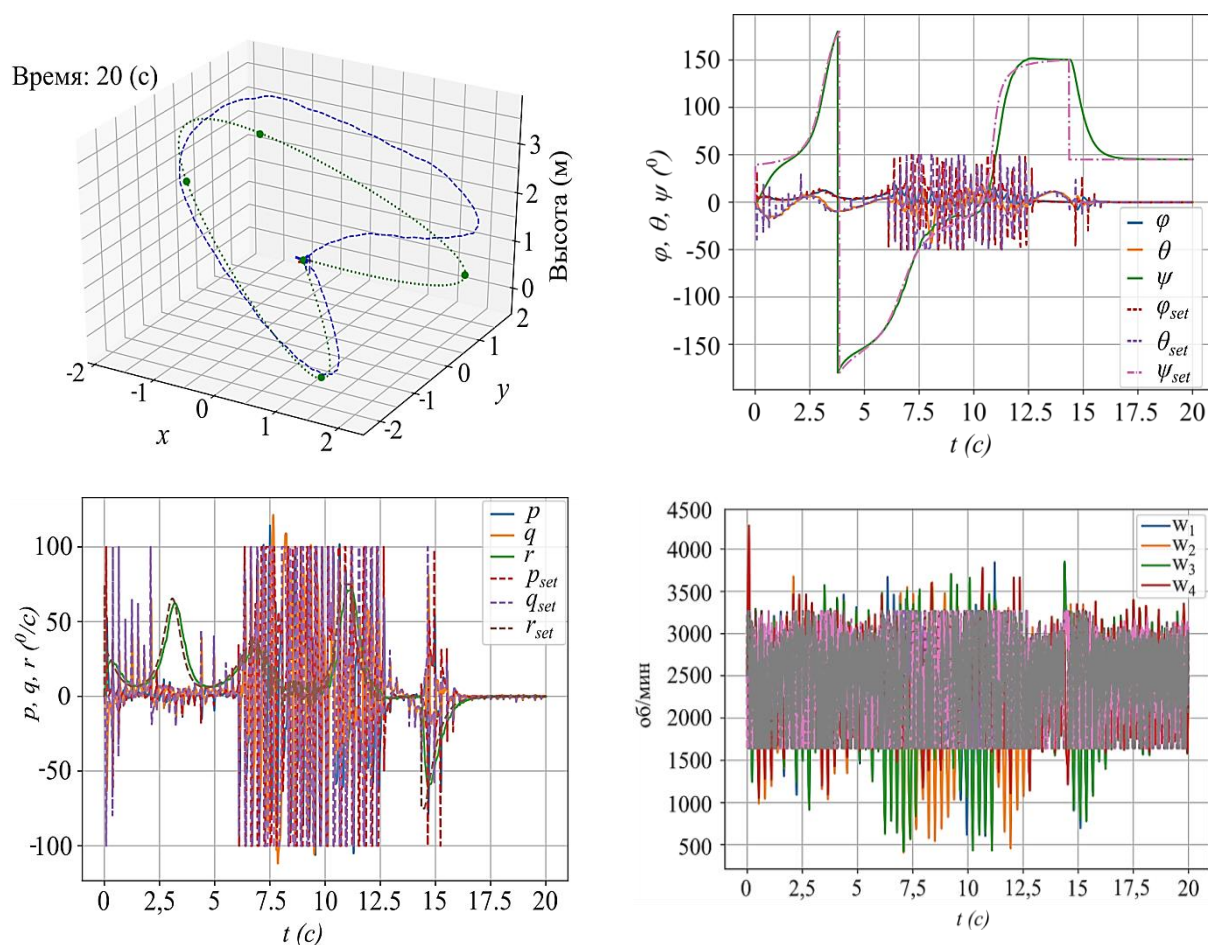


Рис. 12. Влияние шумов на все параметры квадрокоптера при полете

Fig. 12. The influence of noise on all parameters of the quadcopter during flight

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и исследован метод влияния колебаний на работу датчика квадрокоптера. Проведенные исследования позволили сделать несколько ключевых выводов, которые могут существенно повлиять на проектирование и оптимизацию систем управления беспилотными летательными аппаратами.

Во-первых, моменты переключения в BLDC-моторах выявляются как помехи, имеющие спектральную составляющую. Это подтверждается результатами моделирования работы трехфазного синхронного двигателя, а также при анализе спектра измеренного сигнала гироскопа на экспериментальной установке. При этом эксперименты выполнялись на двух платформах: с разделенным и общим питанием ESC-преобразователя и гироскопа.

Во-вторых, в реальных системах управления квадрокоптером время переходного процесса может быть меньше и немногим больше, чем постоянные времени (8). Однако основной проблемой реализации быстродействующих контуров может стать некачественная оценка производной ПИД-регулятора. Включение периодической части (11) в переменную составляющую моментов и сил (12) позволяет учитывать характер помехи для реализации различных фильтров и оценки качества их работы.

В-третьих, процедуру синтеза системы управления можно выполнить с применением фильтра Калмана и качественным учетом спектральной помехи от рывков в магнитном по-

токе. Предложенное изменение в математической модели квадрокоптера позволяет реализовать синтез быстродействующих контуров без чрезмерного увеличения постоянных времени (8) модели преобразователя (7). Также в процессе проведения экспериментальных исследований обнаружилось весьма важное свойство ESC-контроллеров частотного привода. При формировании частоты переключения на обмотках двигателя в ESC-контроллере наложено ограничение на скорость изменения сигнала управления: это можно найти в документации. Несмотря на то, что эта информация не является результатом научного исследования, важно отметить, что не вся дифференциальная составляющая ПИД-регулятора гарантированно влияет на работу всего контура. И этот факт нужно учитывать при синтезе замкнутых контуров.

Моделирование разработанных алгоритмов для исследования характеристик момента потокосцепления выполнено на языке Python. В той же программной среде проведено моделирование полета квадрокоптера с учетом введенной колебательной составляющей. Для экспериментальной верификации предложенного подхода проведены натурные испытания, подтвердившие наличие исследуемого эффекта.

Использование модели с учетом периодических помех при переключении потокосцепления усложняет задачу управления. Чтобы не учитывать это, в выражении (10) используются достаточно большие постоянные времени, значительно превышающие динамические способности летательного аппарата. Этот факт можно подтвердить, выполнив анализ исходных кодов [22, 23], где проблема помех в контурах управления может быть решена путем внедрения апериодических фильтров с достаточно большим временем инерции.

Однако, кроме традиционного использования фильтра, с такой моделью можно рассматривать более сложные методы управления с применением фильтров Калмана, предиктивных ПИД-регуляторов или контуров с эталонной моделью объекта.

В целом результаты работы подчеркивают необходимость комплексного подхода к разработке систем управления для квадрокоптеров, который должен учитывать не только алгоритмы управления, но и влияние аппаратных особенностей на работу датчиков. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию архитектуры управления с учетом выявленных спектральных составляющих, а также на разработку более эффективных фильтров, которые могли бы обеспечить высокий уровень производительности и точности при условии наличия помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Kurak S., Migdat H. Control and estimation of a quadcopter dynamical model. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*. 2018. Vol. 6. No. 1. Pp. 63–75. DOI: 10.21533/pen.v6i1.164
2. Cao N., Alan F.L. Inner–outer loop control for quadrotor UAVs with input and state constraints. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2015. Vol. 2. No. 5. Pp. 1797–1804. DOI: 10.1109/TCST.2015.2505642
3. Azfar A.Z., Hazry D. A simple approach on implementing IMU sensor fusion in PID controller for stabilizing quadrotor flight control. *IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*. Penang, Malaysia. 2011. Pp. 28–32. DOI: 10.1109/CSPA.2011.5759837
4. Khatoon S., Shahid M., Chaudhary H. Dynamic modeling and stabilization of quadrotor using PID controller. *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. Delhi, India. 2014. Pp. 746–750. DOI: 10.1109/ICACCI.2014.6968383

5. Rinaldi M., Stefano P., Giorgio G. A comparative study for control of quadrotor UAVs. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 6. Pp. 3464. DOI: 10.3390/app13063464
6. Белов Н. В., Борис Б. Я. Построение математической модели управления высотой и углами движения БПЛА // Телекоммуникации и информационные технологии. 2018. Т. 5. № 1. С. 100–111. EDN: UROPEO
- Belov N.V., Boris B.Ya. Building a mathematical model for controlling UAV altitude and angles of motion. *Telecommunications and Information Technologies*. 2018. Vol. 5. No. 1. Pp. 100–111. EDN: UROPEO. (In Russian)
7. Oloo J.O. Design of extended kalman filter optimized fuzzy PID controller for a quadcopter in the event of one rotor failure: Dis. JKUAT-COETEC. 2021. 71 p.
8. Калачев Ю. Н. SimInTech: моделирование в электроприводе. М.: ДМК Пресс, 2022. С. 26–33.
- Kalachev Yu.N. SimInTech: modeling in electric drive. Moscow: DMK Press, 2022. Pp. 26–33. (In Russian)
9. Bahari N.B., Jidin A.B., Abdullah M.N. et al. Modeling and simulation of torque hysteresis controller for brushless DC motor drives. *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*. Bandung, Indonesia. 2012. Pp. 152–155.
10. Мясищев А. А. Программирование ESC регуляторов прошивками SimonK и BLHeli через Arduino и полетный контроллер // Электронный ресурс. 2019. URL: <https://www.researchgate.net/publication/332381105>
- Myasishchev A.A. Programming ESC controllers with SimonK and BLHeli firmware via Arduino and a flight controller. *Electronic resource*. 2019. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/332381105>. (In Russian)
11. Yadav P.M., Gadgune S.Y. Position and speed control of brushless DC motors using sensorless techniques: A review. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2019. Vol. 8. No. 1. Pp. 62–69.
12. Dasari M., Reddy A.S., Kumar M.V. Modeling of a commercial BLDC motor and control using GA-ANFIS tuned PID controller. *International Conference on Innovative Research In Electrical Sciences (IICIRES)*. Nagapattinam, India. 2017. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/IICIRES.2017.8078305
13. Yamashita R.Y., Silva L.M., Santiciolli F.M. et al. Comparison between two models of BLDC motor, simulation and data acquisition. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2018. Vol. 40. ID: 63. DOI: 10.1007/s40430-018-1020-0
14. Ascorti L. An application of the extended Kalman filter to the attitude control of a quadrotor: Dis. Biblioteche e Archivi. 2012. Pp. 45–49.
15. Kiruthika A., Rajan A.A., Rajalakshmi P. Mathematical modelling and speed control of a sensed brushless DC motor using intelligent controller. *IEEE International Conference ON Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology (ICECCN)*. Tirunelveli, India. 2013. Pp. 211–216. DOI: 10.1109/ICE-CCN.2013.6528495
16. Hai P.T. Research data for this article. URL: https://github.com/tronghai180598/1_articles (accessed: 30.05.2025).
17. John B. Quadcopter Simulation and Control. Dynamics generated with PyDy. Available at: https://github.com/bobzwik/Quadcopter_SimCon (accessed: 05.10.2024).
18. Cárdenas R.C., Morales C.A.C., Ospina J.P. et al. Mathematical modeling and identification of a quadrotor. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020: 20th*

International Conference. Cagliari, Italy, July 1–4, 2020, Proceedings, Part I 20. Springer International Publishing. 2020. Pp. 261–275. DOI: 10.1007/978-3-030-58799-4_19

19. Abdelhay S., Alia Z. Modeling of a quadcopter trajectory tracking system using PID controller. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 32. Pp. 564–571. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.253

20. Nguyen N.P., Ming N.X., Thanh H.I.N.N. et al. Adaptive sliding mode control for attitude and altitude system of a quadcopter UAV via neural network. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. Pp. 40076–40085. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3064883

21. Hoffmann F., Niklas G., Torsten B. Attitude estimation and control of a quadcopter. *IEEE / RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2010. P. 10721077. DOI: 10.1109/IROS.2010.5649111

22. Калачев О. Как я разработал квадрокоптер на ESP32 с нуля // Хабр. URL: <https://github.com/okalachev/flix>

Kalachev O. How I developed a quadcopter on ESP32 from scratch, Khabr. Available at: <https://github.com/okalachev/flix>. (In Russian)

23. Open Source Autopilot For Drone Developers // PX4. URL: <https://github.com/px4/px4-autopilot/> (accessed: 25.06.2024).

24. Жмудь В. А., Кузнецов К. А., Кондратьев Н. О. и др. Акселерометр и гироскоп MPU6050: первое включение на STM32 и исследование показаний в статике // Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3(25). Pp. 9–22. EDN: YALYRF

Zhmud V.A., Kuznetsov K.A., Kondratyev N.O. et al. Accelerometer and gyroscope MPU6050: first inclusion on STM32 and study of readings in statics. *Avtomatizatsiya i programmaya inzheneriya* [Automation and software engineering]. 2018. Vol. 3. No. 25. Pp. 9–22. EDN: YALYRF. (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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Хай Фам Чонг, аспирант отделения электроэнергетики инженерной школы энергетики, Томский политехнический университет;

634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 7;

tronghai180598@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6272-890X>

Шилин Александр Анатольевич, д-р техн. наук, доцент, профессор отделения электроэнергетики инженерной школы энергетики, Томский политехнический университет;

634050, Россия, г. Томск, ул. Усова, 7;

shilin@tpu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4761-7249>, SPIN-code: 2790-9730

Нгуен Минь Тьонг, канд. техн. наук, доцент кафедры информатики, Российский технологический университет МИРЭА;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

nguen_m@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7267-1121>, SPIN-код: 5480-9970

Information about the authors

Hai Pham Trong, Graduate student in the Electrical power Engineering Department of the School of Energy Engineering, Tomsk Polytechnic University;

634050, Russia, Tomsk, 7 Usova street;

tronghai180598@gmail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6272-890X>

Alexander A. Shilin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Electrical power Engineering Department of the School of Energy Engineering, Tomsk Polytechnic University;

634050, Russia, Tomsk, 7 Usova street;

shilin@tpu.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4761-7249>, SPIN-code: 2790-9730

Minh Tuong Nguyen, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics, MIREA – Russian Technological University;

119454, Russia, Moscow, 78 Vernadsky avenue;

nguen_m@mirea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7267-1121>, SPIN-code: 5480-9970

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

УДК 681.51:676.082.4

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-73-87

EDN: JADOFM

**Имитационное моделирование подсистемы сжигания черного щелока
в топке содорегенерационного котлоагрегата**

Д. А. Ковалёв

Высшая школа технологии и энергетики
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
198095, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4

Аннотация. Для решения задачи получения целевых продуктов сжигания черного щелока в топке СРК – карбоната и сульфида натрия – выполнена разработка имитационной модели подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК. Разработанная имитационная модель подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК даст возможность моделировать процессы: горения черного щелока – для изучения влияния различных факторов (состав черного щелока, расход воздуха, температура) на эффективность сжигания и тепловую мощность СРК; восстановления сульфата натрия – для изучения влияния температуры, состава газов и содержания углерода на скорость восстановления сульфата натрия до сульфида натрия в СРК. Применение имитационной модели подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК позволит оптимизировать процесс сжигания, минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, снизить потребление ресурсов и отходов, а также повысить общую эффективность процессов регенерационного цикла.

Ключевые слова: содорегенерационный котлоагрегат, имитационная модель СРК, подсистема сжигания черного щелока, зона пиролиза, окислительная зона

Поступила 27.03.2025, одобрена после рецензирования 23.04.2025, принята к публикации 14.05.2025

Для цитирования. Ковалёв Д. А. Имитационное моделирование подсистемы сжигания черного щелока в топке содорегенерационного котлоагрегата // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 73–87. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-73-87

MSC: 93C95

Original article

**Simulation modeling of black liquor combustion subsystem
in a recovery boiler furnace**

D.A. Kovalev

Higher School of Technology and Power Engineering
Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design
198095, Russia, Saint Petersburg, 4 Ivan Chernykh street

Abstract. A simulation model of the subsystem for black liquor burning in the recovery boiler furnace has been developed to effectively address problem of obtaining target products resulted from black liquor combustion – sodium carbonate and sodium sulfide. The model developed enables the following processes to be simulated: black liquor combustion: to study influence of black liquor composition, air flow rate, temperature and other factors on the recovery boiler efficiency; sodium sulfate reduction: to study the influence of temperature, gas composition and carbon content on the

rate of sodium sulfate reduction to sodium sulfide in the recovery boiler. Application of the simulation model allows optimizing the combustion process, minimizing pollutants emitted into the air, diminishing the use of resources and the generation of waste, and increasing the overall efficiency of the regenerative cycle.

Keywords: recovery boiler, simulation model of recovery boiler, black liquor combustion subsystem, pyrolysis zone, oxidation zone

Submitted 27.03.2025,

approved after reviewing 23.04.2025,

accepted for publication 14.05.2025

For citation. Kovalev D.A. Simulation modeling of black liquor combustion subsystem in a recovery boiler furnace. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 73–87. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-73-87

ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование (ИМ) – это метод, используемый для создания цифровой модели реального объекта управления или технологического процесса, для моделирования режимов работы объекта и анализа его поведения в различных условиях, например, в нештатных ситуациях.

К достоинствам ИМ можно отнести:

- возможность анализа сложных систем управления: ИМ позволяет моделировать и анализировать сложные системы, для которых можно учитывать множество переменных, взаимосвязей и случайных факторов;
- моделирование различных режимов работы объекта управления без риска возникновения нештатной ситуации для реального объекта управления, оптимизации значений параметров технологического процесса и выявления узких мест объекта управления;
- прогнозирование значений параметров технологического процесса на основе архива данных и развития возможных нештатных ситуаций;
- обучение и тренировка персонала для управления сложными объектами в безопасной и контролируемой среде программного обеспечения;
- визуализация технологического процесса сложного объекта для понимания его динамики;
- сокращение затрат, ИМ позволяет избежать дорогостоящих ошибок и оптимизировать затраты на разработку и внедрение новых систем управления.

К недостаткам ИМ можно отнести:

- сложность построения адекватной и точной модели, требующей специализированных знаний и навыков;
- значительные затраты времени и ресурсов для разработки и верификации модели, включая сбор данных, программирование и т. д.;
- необходимость в валидации модели (подтверждение ее соответствия реальному объекту управления);
- зависимость от качества используемых для ИМ данных;
- сложности с интерпретацией результатов. Необходимо понимать ограничения модели и учитывать их;
- стоимость программного обеспечения, специализированные программные пакеты для имитационного моделирования могут быть дорогими.

Цель исследования – разработка ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК для снижения негативного воздействия выбросов СРК в окружающую среду, а также

для повышения эффективности, безопасности и надежности систем автоматизации и управления реальных объектов.

ПРОЦЕСС РЕГЕНЕРАЦИИ ЩЕЛОКОВ СУЛЬФАТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) включает в себя большое количество сложных взаимосвязанных подсистем и технологических процессов, начиная от заготовки древесины и заканчивая производством готовой продукции, такой как бумага, картон и целлюлоза.

Производство сульфатной целлюлозы – наиболее распространенный способ, в основе которого лежит варка древесины в варочных котлах под воздействием щелочного раствора (белого щелока), который разлагает лигнин – связующее вещество между волокнами целлюлозы. Полученная после варки целлюлоза подвергается отбелке для достижения необходимой белизны и качественных характеристик.

При производстве сульфатной целлюлозы процессы регенерационного цикла включают в себя: варку щепы и промывку целлюлозы с получением слабого черного щелока, который подается на выпарку; после выпарки концентрированный черный щелок подается на сжигание в содорегенерационный котлоагрегат (СРК) (рис. 1).

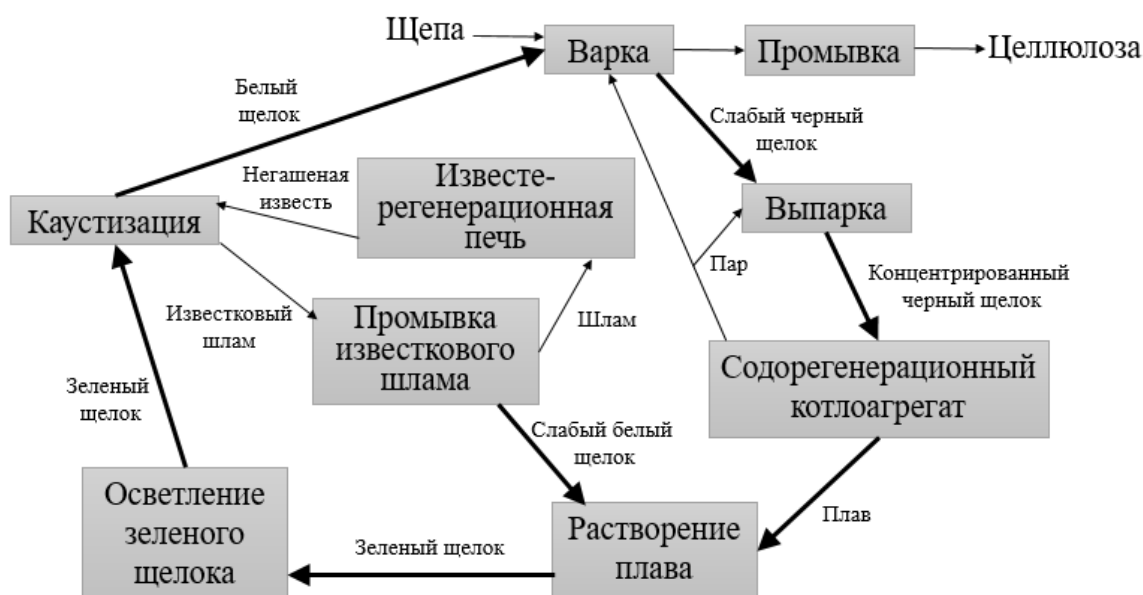


Рис. 1. Общая схема регенерации щелоков сульфат-целлюлозного производства [14]

Fig. 1. General scheme of the Kraft pulp processing [14]

После сжигания черного щелока в СРК полученный плав растворяют слабым белым щелоком, в результате получают зеленый щелок. Осветленный зеленый щелок после процесса каустизации, промывки известкового шлама и его сжигания в известерегенерационной печи преобразуется в белый щелок, который снова подается на варку щепы.

В России насчитывается несколько десятков крупных целлюлозно-бумажных производств, в которых производится варка целлюлозы по сульфатной технологии, поэтому повышение эффективности и экологичности замкнутого цикла регенерации щелоков остается одним из приоритетных направлений исследований отрасли у отечественных и иностранных специалистов [1–8].

СРК (рис. 2) является ключевым элементом цикла регенерации щелоков [9–12], ввиду этого обеспечение эффективной, надежной и экологически чистой его работы представляет собой актуальные научно-технические задачи, решение которых направлено на снижение негативного воздействия на окружающую среду и повышение энергоэффективности работы котла.

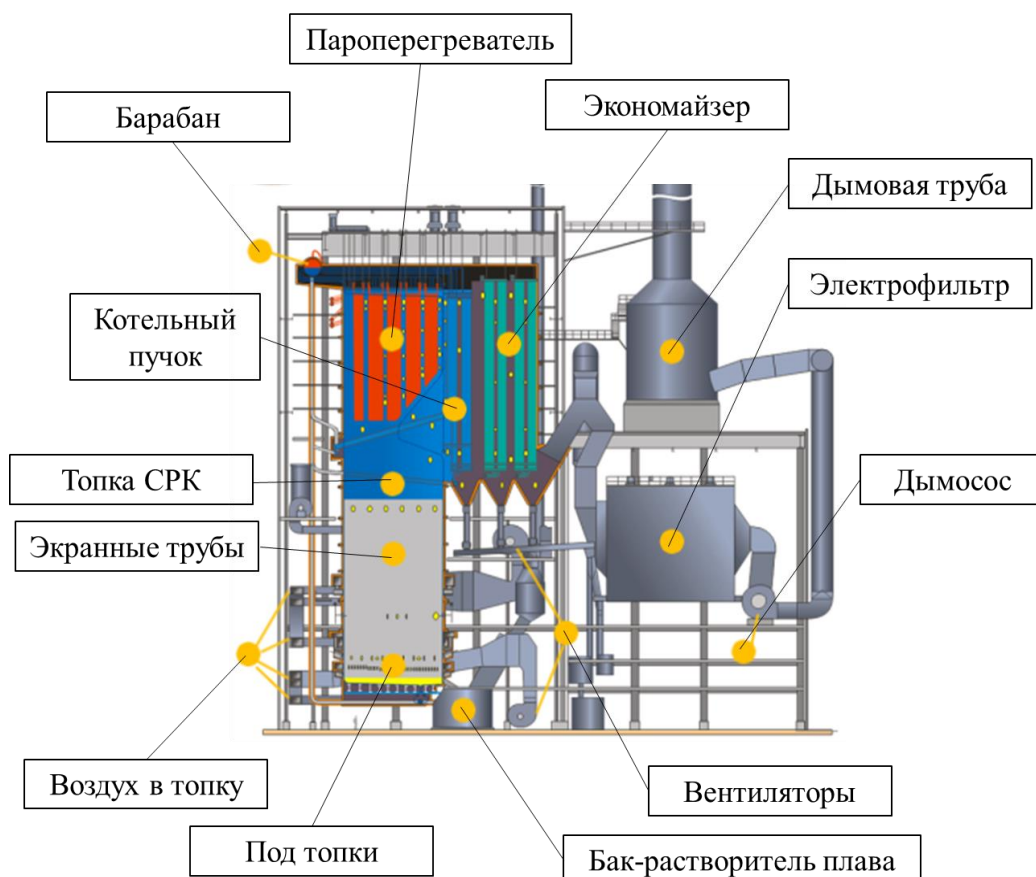


Рис. 2. Содорегенерационный котлоагрегат [14]

Fig. 2. Sodium bicarbonate recovery boiler unit [14]

Согласно положениям утвержденного отраслевого справочника по наилучшим доступным технологиям ЦБП¹ для повышения экономичности, энергоэффективности и ресурсосбережения, а также снижения негативного воздействия на окружающую среду для СРК сформулированы следующие перспективные направления применения: снижение выбросов (SO_2 и NO_x) из СРК (п. 5.9.3) НДТ-14, НДТ-15 с использованием метода «оптимизированного сжигания» черного щелока.

Применение НДТ для подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК позволит оптимизировать процесс сжигания, минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, снизить потребление ресурсов и отходов, а также повысить общую эффективность процессов регенерационного цикла.

¹ИТС 1-2023. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Целлюлозно-бумажное производство (утв. Приказом Росстандарта от 26.12.2023 № 2795)

Разработка ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК даст возможность моделировать процессы:

- горения черного щелока – для изучения влияния различных факторов (состав черного щелока, расход воздуха, температура) на эффективность сжигания, образование загрязняющих веществ (NO_x , CO) и тепловую мощность СРК;
- восстановления сульфата натрия – для изучения влияния температуры, состава газов и содержания углерода на скорость восстановления сульфата натрия до сульфида натрия в СРК.

ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК устанавливает связи между входными и выходными параметрами с учетом следующих факторов [13]: горение органической массы в зонах топки (окислительная и восстановительная, причем восстановительная включает зону пиролиза и слой (подушку) огарка (рис. 3)), восстановление сульфата натрия в сульфид в слое огарка, выход плава, выработка пара, выход из топки топочных газов с расчетной температурой, механический и «химический» унос солей из топки, параметры пара на выходе из котла, температура и давление газов в газоходах, тепловой КПД (потери тепла с уходящими газами из котла, потери с химическим недожогом, с механическим недожогом (оценочно), потери в окружающую среду и потери с плавом).

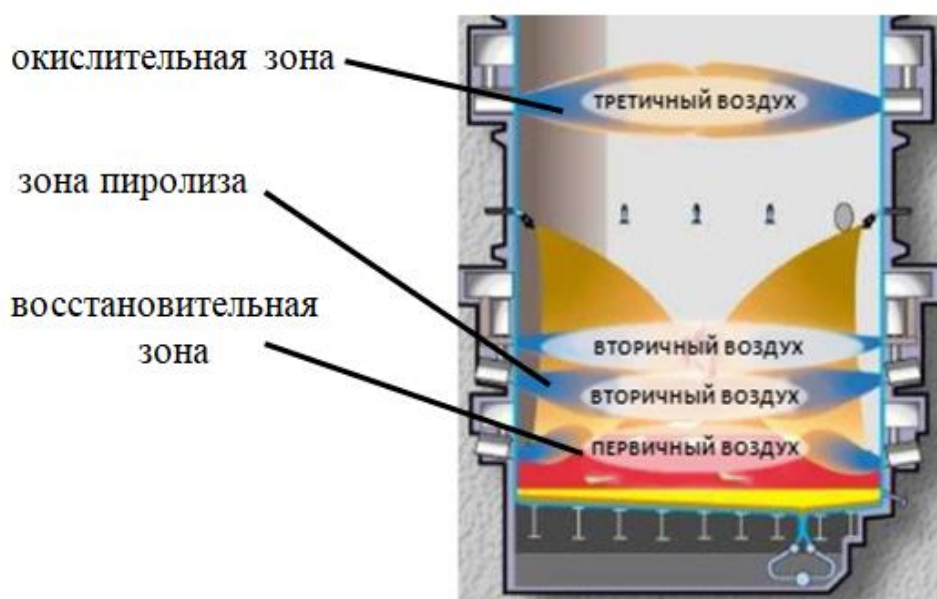


Рис. 3. Зоны топки СРК (разработано автором)

Fig. 3. Combustion chambers in the recovery boiler (developed by the author)

Организация режима горения в топке является сложной многофакторной задачей, схема взаимосвязей между параметрами которой представлена на рис. 4.

Структурно математическая модель подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК представляет собой системы алгебраических (окислительная зона и зона пиролиза) уравнений. Решение этой системы уравнений позволяет выбрать необходимые параметры для обеспечения требуемого качества процесса сжигания черного щелока.

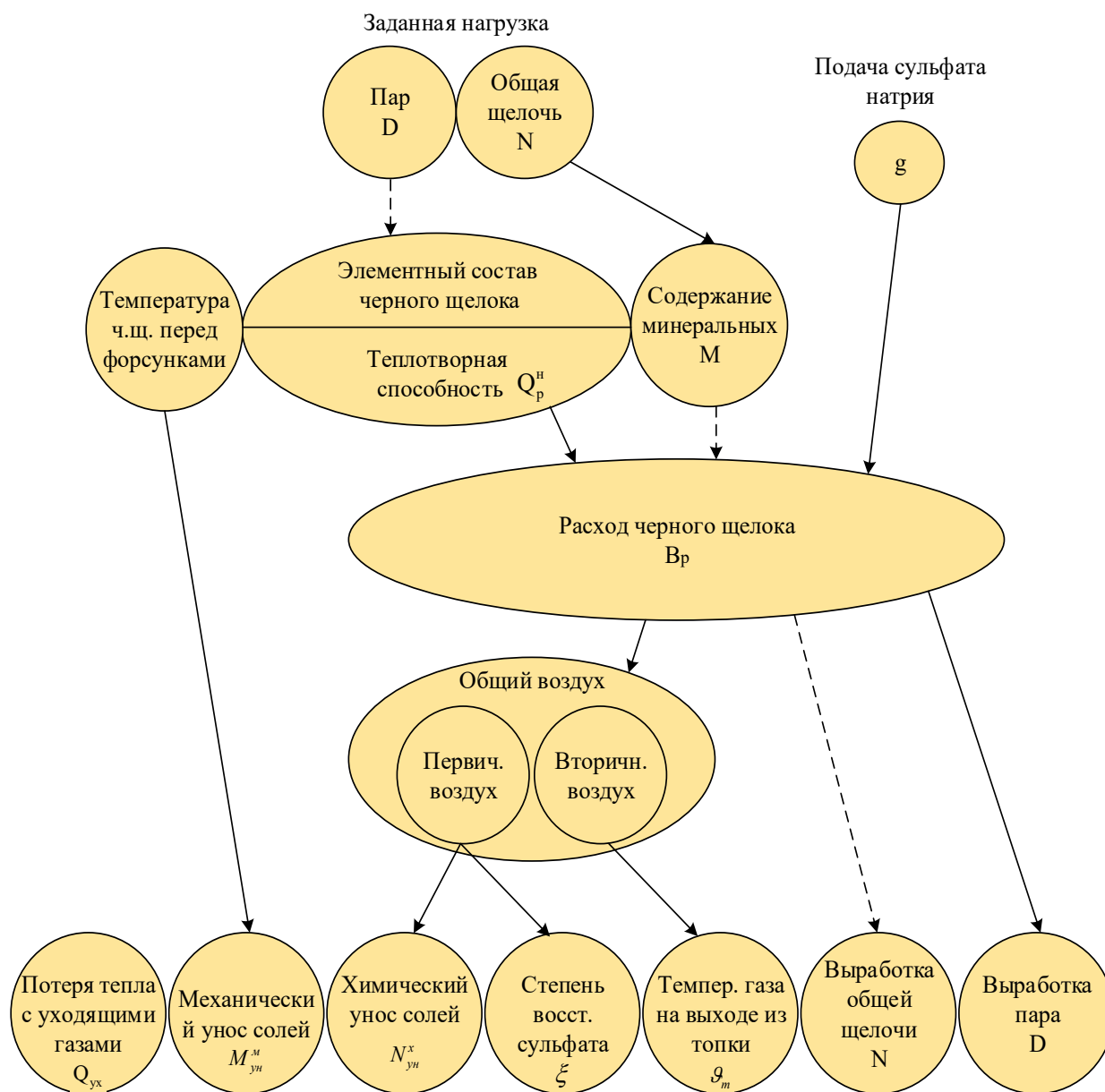


Рис. 4. Технологические параметры подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК (разработано автором)

Fig. 4. Technological parameters for the black liquor combustion subsystem in the combustion chamber (developed by the author)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНЫ ПИРОЛИЗА ПОДСИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА В ТОПКЕ СРК

Математическая модель процессов подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК в зоне пиролиза в общем виде представлена в виде системы уравнений:

$$\begin{cases}
 V_{\Sigma}^n (P_n^{CO_2} + P_n^{CO}) = P_1 \\
 V_{\Sigma}^n (P_n^{H_2O} + P_n^{H_2}) = P_2 \\
 V_{\Sigma}^n (0.5P_n^{H_2O} + P_n^{CO_2} + 0.5P_n^{CO} + P_n^{SO_2}) = P_3 \\
 V_{\Sigma}^n P_n^{SO_2} = P_4 \\
 V_{\Sigma}^n P_n^{N_2} = P_5 \\
 \frac{P_n^{CO_2} P_n^{H_2}}{P_n^{H_2O} P_n^{CO}} = K_p \\
 f(t_n) = \lg K_p \\
 P_n^{H_2} + P_n^{H_2O} + P_n^{CO_2} P_n^{SO_2} + P_n^{N_2} = 1 \\
 V_{\Sigma}^n (P_n^{CO} + P_n^{H_2}) + (V_{\Sigma}^n (P_n^{H_2O} + P_n^{CO_2} + P_n^{CO} + P_n^{H_2} + \\
 + P_n^{SO_2} + P_n^{N_2}) + \frac{G_{nc}^{Na_2SO_4}}{B_p} + \frac{G_{nc}^{Na_2CO_3}}{B_p} + K_{nэ} \frac{F_{nэ}}{B_p} + K_{no} \frac{F_m}{B_p}) t_n = P_6.
 \end{cases} \quad (1)$$

При разработке математической модели процессов в зоне пиролиза для расчета значений выходных параметров учитывались особенности, связанные с дефицитом кислорода в зоне пиролиза.

Параметры, используемые в модели процессов в зоне пиролиза (1) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технологические параметры математической модели зоны пиролиза

Table 1. Technological parameters for the mathematical model of the pyrolysis zone

Обозначение	Наименование параметра	Размерность
V_{Σ}^n	Полный объем газообразных продуктов сгорания в зоне пиролиза	нм ³ /кг
$P_n^{CO_2}$	Парциальное давление двуокиси углерода в зоне пиролиза	ата
P_n^{CO}	Парциальное давление окиси углерода в зоне пиролиза	ата
$P_n^{H_2O}$	Парциальное давление водяного пара в зоне пиролиза	ата
$P_n^{H_2}$	Парциальное давление водорода в зоне пиролиза	ата
$P_n^{SO_2}$	Парциальное давление двуокиси серы в зоне пиролиза	ата
$P_n^{N_2}$	Парциальное давление азота в зоне пиролиза	ата
P_1	Величина правой части уравнения баланса углерода для зоны пиролиза	
P_2	Величина правой части уравнения баланса водорода для зоны пиролиза	
P_3	Величина правой части уравнения баланса кислорода для зоны пиролиза	
P_4	Величина правой части уравнения баланса органической серы для зоны пиролиза	

P_5	Величина правой части уравнения баланса азота для зоны пиролиза	
P_6	Величина правой части уравнения баланса тепла для зоны пиролиза	
K_p	Константа равновесия реакции конверсии окиси углерода водяным паром	
$K_{нэ}$	Коэффициент теплопередачи от газов зоны пиролиза топочным экранам	ккал/м ³ час град
$K_{но}$	Коэффициент теплопередачи от газов зоны пиролиза в окислительную зону	ккал/м ³ час град
t_n	Температура газов в зоне пиролиза	°C
$G_{нск}^{Na_2SO_4}$	Расход сульфата натрия из зоны пиролиза в слой огарка	кг/час
$G_{нс}^{Na_2CO_3}$	Расход карбоната натрия из зоны пиролиза в слой огарка	кг/час
B_p	Расход условной топливной смеси на форсунки	кг/час
$F_{нэ}$	Поверхность нагрева топочных экранов в зоне пиролиза	м ²
F_t	Поверхность нагрева подушки огарка, принимаемая равной площади горизонтального сечения топки	м ²

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ЗОНЫ ПОДСИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА В ТОПКЕ СРК

Математическая модель процессов подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК в окислительной зоне в общем виде представлена в виде системы уравнений:

$$\begin{cases}
 V_{\Sigma}(P^{CO_2} + P^{CO}) = P_7 \\
 V_{\Sigma}(P^{H_2O} + P^{H_2}) = P_8 \\
 V_{\Sigma}(0.5P^{H_2O} + P^{CO_2} + 0.5P^{CO} + P^{SO_2} + P^{O_2}) = P_9 \\
 V_{\Sigma}P^{SO_2} = P_7 \\
 V_{\Sigma}P^{N_2} = P_{10} \\
 \frac{P^{CO_2} P^{H_2}}{P^{H_2O} P^{CO}} = K_p \\
 \lg K_p = f(t_o) \\
 P^{H_2O} + P^{H_2} + P^{CO_2} + P^{CO} + P^{SO_2} + P^{N_2} + P^{O_2} = 1 \\
 (V_{\Sigma}(P^{H_2O} + P^{CO_2} + P^{CO} + P^{H_2} + P^{SO_2} + P^{N_2} + P^{O_2}) + \\
 + k_{он} \frac{F_t}{B_p} + k_{оэ} \frac{F_{нэ}}{B_p}) t_o - V_{\Sigma}^n (P^{CO} + P^{H_2}) = P_{11}.
 \end{cases} \quad (2)$$

Параметры, используемые в модели процессов в зоне окисления (2), приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технологические параметры математической модели зоны окисления**Table 2.** Technological parameters of the mathematical model of the oxidation zone

Обозначение	Наименование параметра	Размерность
V_{Σ}	Объем газообразных продуктов сгорания в зоне окисления	нм ³ /кг
V_{Σ}^n	Полный объем газообразных продуктов сгорания в зоне пиролиза	нм ³ /кг
P^{CO_2}	Парциальное давление двуокиси углерода в зоне окисления	ата
P^{CO}	Парциальное давление окиси углерода в зоне окисления	ата
P^{H_2O}	Парциальное давление водяного пара в зоне окисления	ата
P^{H_2}	Парциальное давление водорода в зоне окисления	ата
P^{SO_2}	Парциальное давление двуокиси серы в зоне окисления	ата
P^{O_2}	Парциальное давление кислорода в зоне окисления	ата
P^{N_2}	Парциальное давление азота в зоне окисления	ата
P_7	Величина правой части уравнения баланса углерода для зоны пиролиза и зоны окисления	
P_8	Величина правой части уравнения баланса водорода для зоны окисления	
P_9	Величина правой части уравнения баланса кислорода для зоны окисления	
P_{10}	Величина правой части уравнения баланса азота для зоны окисления	
P_{11}	Величина правой части уравнения баланса тепла в системе уравнений для окислительной зоны	
K_p	Константа равновесия реакции конверсии окиси углерода водяным паром	
$k_{o\partial}$	Коэффициент теплопередачи от газов окислительной зоны топочным экранам	ккал/м ³ час град
k_{on}	Коэффициент теплопередачи от газов зоны пиролиза в окислительную зону	ккал/м ³ час град
t_o	Температура газов в окислительной зоне топки	°С
B_p	Расход условной топливной смеси на форсунки	кг/час
$F_{n\partial}$	Поверхность нагрева топочных экранов в зоне пиролиза	м ²
F_t	Поверхность нагрева подушки огарка, принимаемая равной площади горизонтального сечения топки	м ²

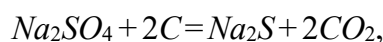
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДУШКИ ОГАРКА ПОДСИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА В ТОПКЕ СРК

Одной из основных задач сжигания черного щелока является получение сульфида натрия, которое осуществляется путем восстановления сернистого натрия газообразными восстановителями и углеродом.

Построенные траектории полета частиц свидетельствуют о том, что в момент завершения сушки частицы находятся на значительном удалении от стен топки и подушки огарка. Это дает основание считать, что в сухом остатке щелока до попадания его на под успеет произойти полная карбонизация щелочи, окисление сульфида и частичное сгорание угле-

рода. Лишь самые крупные частицы, имеющие диаметр больше 1,5 мм, составляющие незначительную часть их общего количества, доставляют в слой огарка некоторое количество влаги, которая испаряется при соприкосновении с раскаленной поверхностью подушки, не успевая проникнуть вглубь. Таким образом, огарок на дне топки состоит только из углерода, карбоната и сульфата натрия, который восстанавливается в слое до сульфида натрия.

Решающее влияние на выход сульфида имеет происходящая в слое реакция взаимодействия сульфата натрия с углеродом [13]:



ввиду того, что остальные термодинамические возможные восстановительные реакции в топке СРК имеют неблагоприятные условия (низкая концентрация газов-восстановителей, малое время контакта частиц с газами, низкая скорость реакций).

Так как в слое большая часть тепла расходуется на эндотермическую реакцию, изменения температуры огарка отражают ход химических превращений. Исходя из этого, горизонтальные составляющие и градиенты концентраций можно считать равными нулю.

Математическая модель подушки огарка представляет собой [13, 14]:

$$\begin{cases} \frac{d\xi}{dx} = \frac{1}{U^n} x^{n-1} (1-\xi) \left(x \frac{dK}{dx} + nK \right) \\ \lambda_n F_m \frac{d^2 T_c}{dx^2} + ((34,625 + 17,624\xi) G_{nc}^{Na_2SO_4} + 48,859 G_{nc}^{Na_2CO_3}) \frac{dT_c}{dx} - \\ - G_{nc}^{Na_2SO_4} (-58338 + 17,624\xi) \frac{d\xi}{dx} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Численные значения коэффициентов сульфата (Na_2SO_4) и карбоната натрия (Na_2CO_3) получены из формул для расчета стандартного изменения энергии Гиббса реакций образования веществ из элементов.

Параметры, используемые в модели подушки огарка (3), приведены в таблице 3.

Таблица 3. Технологические параметры математической модели подушки огарка

Table 3. Technological parameters of the mathematical model of the cinder cushion

Обозначение	Наименование параметра	Размерность
x	Пространственная координата по высоте огарка	м
$G_{nc}^{Na_2SO_4}$	Расход сульфата натрия из зоны пиролиза в слое огарка	кмоль/час
$G_{nc}^{Na_2CO_3}$	Расход сульфата натрия из зоны пиролиза в слое огарка	кмоль/час
n	Концентрация общей щелочи в слабом белом щелоке	гNa ₂ O/л
T_c	Температура огарка в слое	К
ξ	Степень восстановления сульфата натрия в слое огарка	
λ_n	Коэффициент теплопроводности огарка	ккал/м*ч*град
K	Константа скорости реакции	
U	Средняя скорость фильтрации жидких солей	м/час
F_m	Поверхность нагрева подушки огарка, принимаемая равной площади горизонтального сечения топки	м ²

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА В ТОПКЕ СРК

Оценка эффективности процесса сжигания черного щелока проводилась с применением разработанной ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК на основе решения представленных уравнений, описывающих математическую модель топки.

При этом учитывались свойства черного щелока (элементарный состав органики, состав минеральных компонентов, содержание влаги) и конструктивные параметры топки СРК (поперечное сечение, поверхности нагрева в зонах). Для имитационного моделирования использовались технологические параметры (экспериментальные данные) реальных объектов управления – СРК, предприятий целлюлозно-бумажной промышленности.

В результате ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК были получены зависимости состава и температуры газов в пиролизной и окислительной зонах (рис. 5, 6). Приведенные зависимости дают возможность определить следующие параметры: коэффициент избытка воздуха в топке СРК, температуры газов в топке по зонам, позволяющие достичь наименьших потерь тепла из-за неполного сгорания, а также наилучших значений других выходных характеристик.

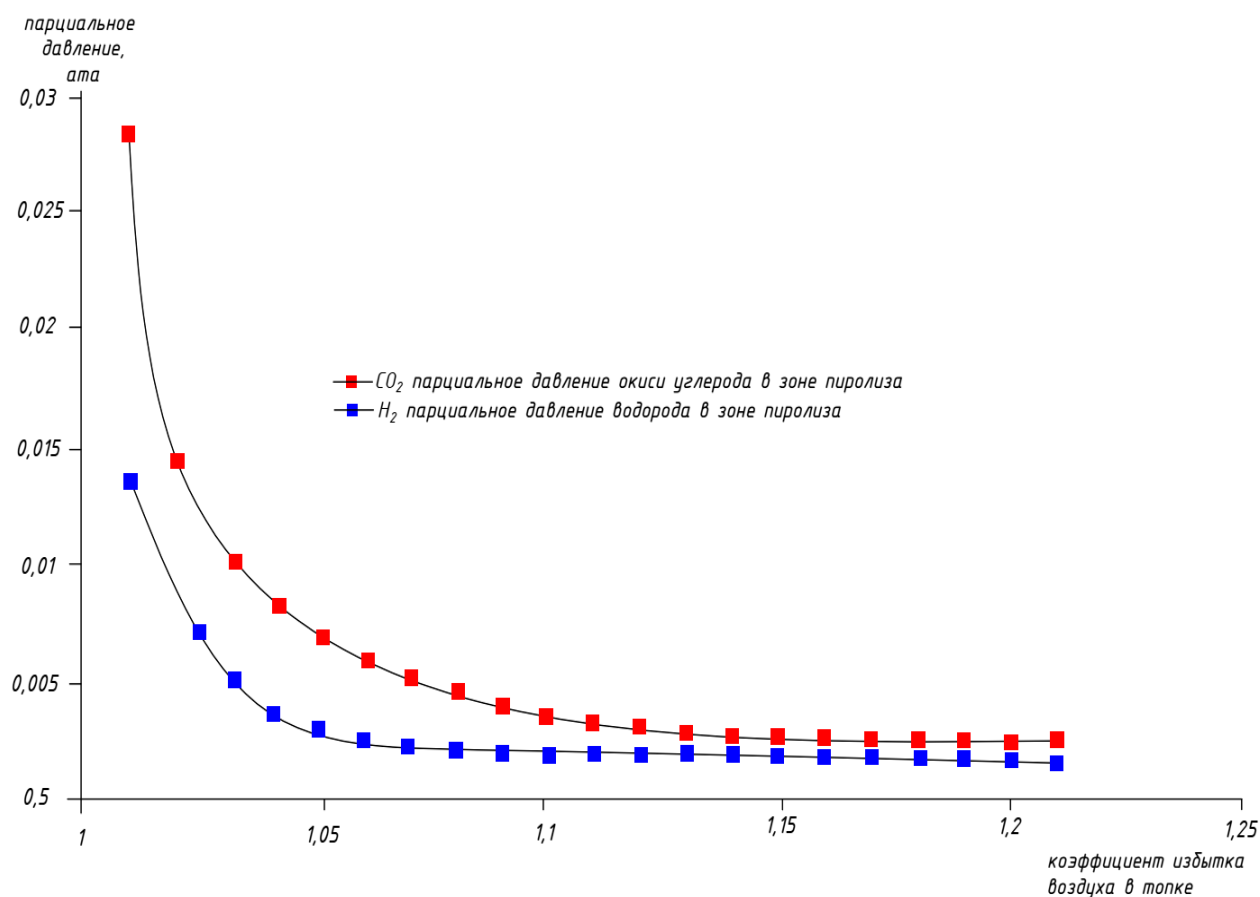


Рис. 5. Парциальное давление CO_2 и H_2 в зоне пиролиза

Fig. 5. CO_2 and H_2 partial pressure in the pyrolysis zone

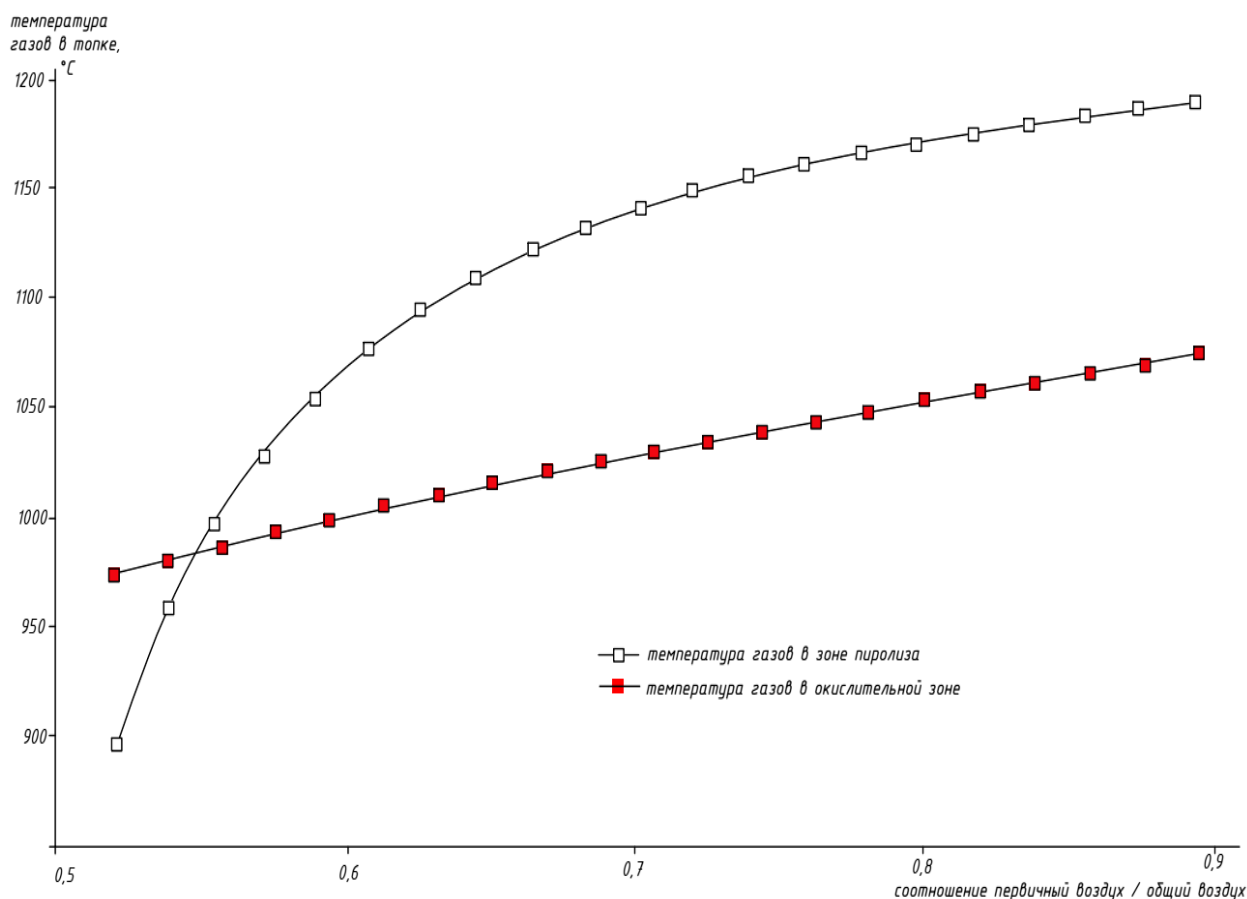


Рис. 6. Температура газов в топке СРК

Fig. 6. Gas temperature inside the combustion chamber of the recovery boiler

Использование ИМ при оптимизации режимов работы СРК позволяет повысить экономическую эффективность его работы за счет снижения тепловых потерь и уноса химических веществ при сжигании черного щелока.

ИМ позволяет определить оптимальные параметры процесса, такие как коэффициент избытка воздуха, соотношение первичный воздух/общий воздух и т.д., т.е. оптимизировать работу СРК.

Верификация ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК проводилась для двух предприятий ЦБП Северо-Западного федерального округа на экспериментальных данных, полученных для четырех СРК различной производительности. В результате моделирования были получены значения расчетных параметров, соответствующие режимным параметрам реальных СРК. Экспертами предприятий отмечено, что разработанная ИМ дает возможность прогнозировать режимы процесса сжигания черного щелока и может быть использована для разработки/уточнения режимных карт реальных объектов управления – СРК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задачи получения целевых продуктов сжигания черного щелока в топке СРК – карбоната и сульфида натрия – выполнена разработка ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК.

Разработанная ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК даст возможность моделировать процессы:

- горения черного щелока – для изучения влияния различных факторов (состав черного щелока, расход воздуха, температура) на эффективность сжигания, образование загрязняющих веществ (NO_x , CO) и тепловую мощность СРК;

- восстановления сульфата натрия – для изучения влияния температуры, состава газов и содержания углерода на скорость восстановления сульфата натрия до сульфида натрия в СРК.

Применение ИМ подсистемы сжигания черного щелока в топке СРК позволит оптимизировать процесс сжигания, минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, снизить потребление ресурсов и отходов, а также повысить общую эффективность процессов регенерационного цикла.

ИМ СРК является инструментом повышения эффективности, безопасности и надежности систем автоматизации и управления реального объекта. Использование ИМ СРК дает возможность снизить затраты, повысить производительность, оптимизировать процессы и принимать обоснованные решения на основе анализа данных и прогнозирования поведения систем автоматизации и управления СРК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Almeida G.J., Vakkilainen G., Laryshyn E. et al. Comparing a linear transfer function-noise model and a neural network to model boiler bank fouling in a kraft recovery boiler // TAPPI Journal. 2024. Vol. 23. Pp. 374–384. DOI: 10.32964/TJ23.7.374
2. Аниускин С. В., Куров В. С. Рекуперация и очистка газовых выбросов целлюлозного производства // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 1(397). С. 182–194. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-182-194. EDN: FAGREG
3. Belisário A.B., Edberg A., Björk M. et al. On the diagnosis of a fouling condition in a kraft recovery boiler: combining process knowledge and data-based insights // TAPPI Journal. 2023. Vol. 22. Pp. 162–171. DOI: 10.32964/TJ22.3.162
4. Wang Y., Xu Y., Guo K., Yin X. Atomization numerical simulation of high solids content bamboo pulping black liquor based on VOF model // Nordic Pulp & Paper Research Journal. 2025. DOI: 10.1515/npprj-2024-0063
5. da Silva P.S.P., Engblom P., Brink M. et al. An ignition delay time based criterion for the presence of envelope flame during black liquor droplet combustion // Fuel. 2025. Vol. 388. DOI: 10.1016/j.fuel.2025.134473
6. Jafarionar F., Vainio E., Hupa L., Hupa M.M. Deposit sintering in modern Kraft recovery boilers – The role of NaOH? // Fuel. 2024. Vol. 371(12). P. 132138. DOI: 10.1016/j.fuel.2024.132138
7. Niemi J., Balint R., Engblom M. et al. Equilibrium model approach to predict local chemical changes in recovery boiler deposits // Energy. 2024. Vol. 306. P. 132507. DOI: 10.1016/j.energy.2024.132507
8. Niemi J., Balint R., Engblom M., Lindberg D. Modeling of Temperature Gradient-Induced Melt Movement within Kraft Recovery Boiler Ash Deposits // Energy & Fuels. 2025. Vol. 39(1). Pp. 454–464. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c04516
9. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. 3. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ЦБП. Ч. 1. Автоматизация, стандартизация и экономика в ЦБП. СПб.: Политехника, 2008. 621 с.

10. Balint R., Engblom M., Vainio E. et al. Changes in chlorine content over time – Probe deposit sampling in a Finnish kraft recovery boiler // *Fuel*. 2023. Vol. 340. P. 127599. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.127599

11. Анишкин С. В., Куров В. С. Эффект интенсивного окисления сероводорода дымовых газов содорегенерационного котла при производстве целлюлозы // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2024. № 5(401). С. 188–202. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-188-202. EDN: WBEORK

12. Новикова М. А., Ковалёв Д. А. Моделирование процесса сжигания черного щелока в топке содорегенерационного котла // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2024. Т. 68. № 94. С. 106–109. DOI: 10.36807/1998-9849-2024-68-94-106-109. EDN: DKNRXX

13. Ковалёв Д. А., Куркина В. В., Русинов Л. А. Моделирование степени восстановления сульфата натрия в плаве для процесса сжигания черного щелока в топке содорегенерационного котлоагрегата // *Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах*. 2023. Т. 1. С. 69–72. EDN: YWDMNH

14. Ковалёв Д. А. Декомпозиция содорегенерационного котлоагрегата как сложного объекта управления // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2025. № 2. С. 566–577. DOI: 10.24412/2071-6168-2025-2-566-567. EDN: XSGIZB

REFERENCES

1. Almeida G.J., Vakkilainen G., Laryshyn E. et al. Comparing a linear transfer function-noise model and a neural network to model boiler bank fouling in a kraft recovery boiler. *TAPPI Journal*. 2024. Vol. 23. Pp. 374–384. DOI: 10.32964/TJ23.7.374

2. Aniskin S.V., Kurov V.S. Recovery and purification of gas emissions from pulp production. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forestry Bulletin]. 2024. No. 1(397). Pp. 182–194. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-1-182-194. EDN: FAGREG. (In Russian)

3. Belisário A.B., Edberg A., Björk M. et al. On the diagnosis of a fouling condition in a kraft recovery boiler: combining process knowledge and data-based insights. *TAPPI Journal*. 2023. Vol. 22. Pp. 162–171. DOI: 10.32964/TJ22.3.162

4. Wang Y., Xu Y., Guo K., Yin X. Atomization numerical simulation of high solids content bamboo pulping black liquor based on VOF model. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2025. DOI: 10.1515/npprj-2024-0063

5. da Silva P.S.P., Engblom P., Brink M. et al. An ignition delay time based criterion for the presence of envelope flame during black liquor droplet combustion. *Fuel*. 2025. Vol. 388. DOI: 10.1016/j.fuel.2025.134473

6. Jafarihonar F., Vainio E., Hupa L., Hupa M.M. Deposit sintering in modern Kraft recovery boilers – The role of NaOH? *Fuel*. 2024. Vol. 371(12). P. 132138. DOI: 10.1016/j.fuel.2024.132138

7. Niemi J., Balint R., Engblom M. et al. Equilibrium model approach to predict local chemical changes in recovery boiler deposits. *Energy*. 2024. Vol. 306. P. 132507. DOI: 10.1016/j.energy.2024.132507

8. Niemi J., Balint R., Engblom M., Lindberg D. Modeling of Temperature Gradient-Induced Melt Movement within Kraft Recovery Boiler Ash Deposits. *Energy & Fuels*. 2025. Vol. 39(1). Pp. 454–464. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c04516

9. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva: v 3 t. T. 3* [Pulp and paper production technology in 3 volumes. Vol. 3]. [Automation, standardization, economics and

environmental protection in the pulp and paper industry]. Part 1. *Avtomatizatsiya, standartizatsiya i ekonomika v TSBP* [Automation, standardization and economics in the pulp and paper industry]. St. Petersburg: Politekhnik, 2008. 621 p. (In Russian)

10. Balint R., Engblom M., Vainio E. et al. Changes in chlorine content over time – Probe deposit sampling in a Finnish kraft recovery boiler. *Fuel*. 2023. Vol. 340. P. 127599. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.127599

11. Aniskin S.V., Kurov V.S. Effect of intensive oxidation of hydrogen sulfide in flue gases of a soda recovery boiler in the production of cellulose. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forestry journal]. 2024. No. 5(401). Pp. 188–202. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-188-202. EDN: WBEORK. (In Russian)

12. Novikova M.A., Kovalev D.A. Modeling the process of black liquor combustion in the furnace of a soda recovery boiler. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)]. 2024. Vol. 68. No. 94. Pp. 106–109. DOI: 10.36807/1998-9849-2024-68-94-106-109. EDN: DKNRXX. (In Russian)

13. Kovalev D.A., Kurkina V.V., Rusinov L.A. Modeling the degree of sodium sulfate reduction in the melt for the process of burning black liquor in the furnace of a soda recovery boiler. *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya po problemam upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh* [All-Russian Scientific Conference on Control Problems in Technical Systems]. 2023. Vol. 1. Pp. 69–72. EDN: YWDMNH. (In Russian)

14. Kovalev D.A. Decomposition of a soda recovery boiler unit as a complex control object. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of Tula State University. Technical sciences]. 2025. No. 2. P. 566–577. DOI: 10.24412/2071-6168-2025-2-566-567. EDN: XSGIZB. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Ковалёв Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов и производств, Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна;

198095, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4;

d.a.kovalyov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0668-8593>, SPIN-код: 3884-5685

Information about the author

Dmitriy A. Kovalev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation of technological processes and productions, Higher School of Technology and Power Engineering, Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design;

198095, Russia, Saint Petersburg, 4 Ivan Chernykh street;

d.a.kovalyov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0668-8593>, SPIN-code: 3884-5685

Разработка ИАС для решения задачи прогнозирования промышленной экономики

В. Р. Иксанов

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

Аннотация. Возможность прогнозировать тренды на будущий период всегда была востребована на коммерческих и государственных предприятиях. На основе прогнозирования принимаются эффективные управленческие решения, способствующие развитию предприятия и экономике страны. Для таких расчетов необходим инструмент, способный сделать качественный расчет и анализ с учетом нестабильного поведения рынка. Для реализации данной системы необходимо учитывать макроэкономические показатели, показатели промышленного производства и правильный выбор архитектуры программного обеспечения. **Цель исследования** – анализ архитектуры программного обеспечения и разработка информационно-аналитической системы. **Методы исследования** – сравнительный анализ архитектуры программного обеспечения, статистические данные получены путем метода классификации. **Результаты.** В рамках данной работы разобраны и проанализированы архитектуры программного обеспечения для решения задачи прогнозирования показателей Российской Федерации на основе авторского метода оценки архитектуры. Составлена таблица сравнительного анализа, на основе которой была выявлена оптимальная архитектура, подходящая для решения поставленной задачи. В работе выявлена актуальность данного исследования, поставлены цели и задачи. Разработана информационно-аналитическая система прогнозирования, показан процесс разработки системы на основе выбранной автором архитектуры. Продемонстрирована работа ИАС, сделаны первичные расчеты методами прогнозирования, на основе результатов сделаны выводы. Каждая поставленная задача была выполнена.

Ключевые слова: ИАС, микросервисная архитектура, разработка ИАС, прогнозирование, промышленная экономика, MAPE, коэффициент детерминации, Tkinter, Pandas

Поступила 01.04.2025, одобрена после рецензирования 28.04.2025, принята к публикации 05.05.2025

Для цитирования. Иксанов В. Р. Разработка ИАС для решения задачи прогнозирования промышленной экономики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 88–98. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-88-98

MSC: 91-08

Original article

IAS development for industrial economic forecasting

V.R. Iksanov

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

Abstract. The ability to forecast trends for the future period has always been in demand in commercial and public enterprises. Based on forecasting, effective management decisions are made that contribute to the improvement of the enterprise and the country's economy. Such calculations require a tool capable of

making a high-quality calculation and analysis taking into account the volatile behavior of the market. To implement this system, it is necessary to consider macroeconomic indicators, industrial production indicators, and the right choice of software architecture. The purpose of the study is to analyze the software architecture and create an information and analytical system. **Research methods** – comparative analysis of software architecture and statistical classification. **Results.** Within the framework of this work, software architectures are analyzed to solve the problem of forecasting the economic indicators of the Russian Federation based on the author's architecture assessment method. A comparative analysis table is compiled, the use of which the optimal architecture suitable for the problem is defined. The paper reveals the significance of the study, sets goals and objectives. The information-analytical forecasting system has been advanced and the system development grounded on the chosen architecture is presented. IAS operation is demonstrated, initial calculations by forecasting methods are made, and conclusions are drawn on the basis of the results. Each task was accomplished.

Keywords: IAS, microservice architecture, IAS development, forecasting, industrial economics, MAPE, determination coefficient, Tkinter, Pandas

Submitted 01.04.2025,

approved after reviewing 28.04.2025,

accepted for publication 05.05.2025

For citation. Iksanov V.R. IAS development for industrial economic forecasting. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 88–98. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-88-98

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день актуальной проблемой является прогнозирование промышленной экономики России, в связи с нестабильной экономической ситуацией многие разработанные методы не могут справиться с предсказанием поведения тренда. Прогнозирование необходимо крупным компаниям для принятия грамотных управленческих решений, которые позволят стабилизировать и улучшить производственные затраты. Промышленный сектор является ключевым в экономике России, производство промышленной продукции способствует экономическому росту страны. Также добыча промышленными предприятиями угля, нефти, древесины является приоритетной экспорт в страны ближнего и дальнего зарубежья.

Целью данной работы является разработка информационно-аналитической системы (ИАС) прогнозирования промышленных показателей.

В рамках данной работы будут решены следующие задачи:

- сравнительный анализ архитектуры программного обеспечения;
- разработка ИАС-прогнозирования;
- первичный расчет прогнозирования.

1. АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Выбор архитектуры для ИАС является важнейшим пунктом в дальнейшей работе над ее реализацией. Необходимо учитывать специфику задачи, чтобы понять, какая архитектура способна подойти для решения задачи прогнозирования промышленных показателей. Для реализации необходимо учитывать такие факторы, как гибкость, масштабируемость и устойчивость к сбоям. Необходимо учитывать, что методы прогнозирования могут внедряться постепенно, это не должно приводить всю систему к критическим сбоям.

Для ИАС был выбран ряд методов прогнозирования на основе авторского анализа:

- Линейная регрессия.
- Дерево решений.

- Нейронные сети.
- SARIMA.
- Экспоненциальное сглаживание.
- Случайный лес.
- Градиентный бустинг.
- Adaptive Boosting.
- Метод k-ближайших соседей [1, 2].

Автором выбраны следующие критерии оценки верификации: MAPE, критерий Дарбина-Уотсона, коэффициент детерминации, F-статистика [3].

Были собраны статистические ежеквартальные данные за период с 2012 по 2024 год, данные очищены, стандартизированы, рассчитана корреляция.

Все методы будут внедрены в ИАС.

Разработан авторский подход к оценке архитектуры программного обеспечения, который включает в себя такие критерии оценки, как скорость, гибкость и простота реализации (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ архитектур программного обеспечения

Table 1. Comparative analysis of software architectures

Архитектура	Скорость	Гибкость	Сложность	Примечание
Монолитная	Высокая	Низкая	Низкая	Подходит для небольших систем
Микросервисная	Средняя	Высокая	Высокая	Подходит для сложных аналитических платформ
Шинная (SAO)	Средняя	Высокая	Высокая	Подходит для интеграции данных из разных источников
Клиент-серверная	Средняя	Средняя	Средняя	Оптимизирована для работы с веб-интерфейсом
Чистая архитектура	Средняя	Высокая	Высокая	Подходит, если важно разделение бизнес-логики и интерфейса
Событийно-ориентированная (EDA)	Высокая	Высокая	Высокая	Хороший вариант для обработки потоков данных в реальном времени
Слойная	Средняя	Средняя	Средняя	Хороший вариант для традиционных систем прогнозирования
Многослойная (N-Tier)	Средняя	Средняя	Средняя	Подходит для корпоративных решений
Модель «Цибули» (Onion)	Средняя	Высокая	Высокая	Хорошо подходит для масштабируемых систем
Микрокернельная	Средняя	Высокая	Высокая	Хороший вариант, если система должна поддерживать расширяемые модули
P2P (пиринговая)	Средняя	Средняя	Средняя	Не применяется в прогнозировании промышленных показателей
Service Mesh (сетевой слой)	Высокая	Высокая	Высокая	Оптимальна для сложных облачных решений
Реактивная (Reactive)	Высокая	Высокая	Высокая	Анализ в реальном времени
Event Sourcing	Средняя	Высокая	Высокая	Важен полный лог изменений

Можно сделать вывод, что для поставленной цели подходят следующие архитектуры: микросервисная, событийно-ориентированная, слойная.

Для решения задачи была выбрана микросервисная архитектура. Плюсами для решения задачи можно выделить гибкость, что позволит внедрять новые подходы и методы в ходе работы, масштабируемость, устойчивость к сбоям [4].

Для реализации ИАС использована пакетная обработка данных. Данный принцип подходит для любого объема данных, не требующего аналитики в реальном времени, что позволит лучше обучиться модели для более точного результата. По уровню интеграции был выбран централизованный подход к построению системы. За счет того, что все данные хранятся и обрабатываются в одном месте, нагрузка на систему не существенна, что позволит оптимизировать работу системы. По уровню автоматизации был выбран автоматизированный анализ, состоящий из методов машинного обучения, что позволит оптимизировать работу системы и за счет гибридного подхода получить качественный результат.

Критерии точности модели определяют ее состояние и способность сделать точный расчет. Для определения точности существует ряд критериев, способных в полной мере показать работу модели.

Рассмотрим основные метрики оценки качества и точности модели.

Расчет средней ошибки прогнозирования (MAPE)

1. $MAPE < 10\%$: отличная точность прогноза.
2. $10\% \leq MAPE < 20\%$: хорошая точность прогноза.
3. $20\% \leq MAPE < 50\%$: удовлетворительная точность,
4. $MAPE \geq 50\%$: низкая точность прогноза.

Расчет коэффициента детерминации (R^2)

1. R^2 близко к 1 (0.9–1): модель хорошо объясняет дисперсию данных.
2. R^2 в диапазоне 0.7–0.9: умеренная объясняющая способность.
3. R^2 в диапазоне 0.5–0.7: слабая объясняющая способность.
4. $R^2 < 0.5$: модель плохо объясняет дисперсию данных.

Расчет коэффициента Фишера:

1. $F > F$ -критическое (из таблиц распределения Фишера): модель статистически значима.
2. $F \leq F$ -критическое: модель незначима.

Критерий Дарбина-Уотсона

1. $DW \approx 2$: отсутствие автокорреляции остатков.
2. $DW < 1$ или $DW > 3$: наличие автокорреляции (положительной или отрицательной).
3. $1.5 < DW < 2.5$: приемлемый диапазон для отсутствия автокорреляции.

Средняя абсолютная ошибка (MAE)

1. MAE близко к 0: высокая точность прогноза.
2. MAE сравнивается с другими моделями: чем меньше MAE, тем лучше модель.

P-значение

1. P-значение < 0.05 : гипотеза отвергается, результат статистически значим.
2. P-значение < 0.01 : высокая статистическая значимость.
3. P-значение ≥ 0.05 : гипотеза не отвергается, результат незначим.

2. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Для разработки ИАС требуется разделить программу на frontend и backend. Данное разделение поможет структурировать разработку, чтобы избежать критических ошибок. Для разработки был выбран язык программирования Python, IDE Pycharm. Язык программирования Python обладает большим количеством библиотек для визуализации и расчета эконометрических методов и методов машинного обучения, также он прост в обращении, что позволяет сократить время разработки и оптимизировать полученный код [5].

Микросервисная архитектура включает в себя разделение методов таким образом, чтобы при возникновении критической ошибки у одного из методов другие могли работать в штатном режиме. Данный подход удобен при внедрении новых методов прогнозирования к уже существующим, что позволит всей системе работать независимо от добавления нового метода [6].

На первом этапе определим, какие библиотеки необходимы для дальнейшей работы:

- Pandas – для работы с таблицами;
- Numpy – для работы с массивами данных;
- Tkinter – для работы с графическим интерфейсом;
- Matplotlib – для работы с графиками;
- Sklearn – для работы с методами машинного обучения;
- Statsmodels – для работы со статистическим анализом;
- Scipy – для работы с научными вычислениями¹.

Установим все библиотеки (рис. 1) [7].

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import tkinter as tk
4 from tkinter import ttk
5 from matplotlib.figure import Figure
6 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
7 from sklearn.linear_model import LinearRegression
8 from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
9 from sklearn.neural_network import MLPRegressor
10 from sklearn.metrics import mean_absolute_error, r2_score
11 from statsmodels.tsa.holtwinters import ExponentialSmoothing
12 from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
13 from statsmodels.tsa.statespace.sarimax import SARIMAX
14 import warnings
15 from tkinter import messagebox
16 from sklearn.impute import SimpleImputer
17 from sklearn.preprocessing import StandardScaler
18 from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor, GradientBoostingRegressor, AdaBoostRegressor
19 from sklearn.svm import SVR
20 # from xgboost import XGBRegressor
21 # from lightgbm import LGBMRegressor
22 from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor
23 import scipy.stats as stats

```

Рис. 1. Импорт библиотек

Fig. 1. Importing libraries

Следующий этап – загрузка данных (рис. 2), очистка и заполнение пропущенных значений.

¹Библиотека Tkinter в Python [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://selectel.ru/blog/tutorials/tkinter-library-in-python/> (Дата обращения: 15.03.2025)

```

27 # === Загрузка и подготовка данных ===
28 try:
29     # Загружаем данные
30     data = pd.read_excel('PROM.xlsx', sheet_name='Data')
31
32     # Сохраняем даты отдельно
33     dates = data.iloc[1:, 0].copy()
34
35     # Убираем первую строку и первый столбец (период)
36     data = data.drop(index=0) # Убираем первую строку
37     data = data.iloc[:, 1:] # Убираем первый столбец (период)
38
39     # Преобразуем все данные в числа
40     data = data.apply(pd.to_numeric, errors='coerce')
41
42     # Создаем импутер для заполнения пропущенных значений
43     imputer = SimpleImputer(strategy='mean')
44
45     # Заполняем пропущенные значения и преобразуем обратно в DataFrame
46     data_imputed = pd.DataFrame(
47         imputer.fit_transform(data),
48         columns=data.columns,
49         index=data.index
50     )

```

Рис. 2. Загрузка данных

Fig. 2. Loading data

Внедряем верификацию для методов прогнозирования MAPE, критерий Дарбина-Уотсона, коэффициент детерминации, F-статистику (рис. 3).

```

63 # === Функция прогнозирования ===
64 1 usage
65 def forecast_methods(method, y_train, y_test, X_train, X_test):
66     def calculate_dw(residuals):
67         """Расчет критерия Дарбина-Уотсона"""
68         residual_diff = np.diff(residuals)
69         dw = np.sum(residual_diff ** 2) / np.sum(residuals ** 2)
70         return dw
71
72     def calculate_f_stat(y_true, y_pred, n_features):
73         """Расчет критерия Фишера"""
74         try:
75             n = len(y_true)
76             if n <= n_features + 1:
77                 return None, None # Недостаточно степеней свободы
78
79             # Расчет R^2
80             r2 = r2_score(y_true, y_pred)
81
82             # Расчет F-статистики
83             if r2 == 1.0: # Идеальная модель
84                 return float('inf'), 0.0
85             elif r2 <= 0: # Модель хуже, чем простое среднее
86                 return 0.0, 1.0

```

Рис. 3. Критерии верификации

Fig. 3. Verification criteria

Разделяем выборку на тестовую и обучающую, после прописываем все методы прогнозирования (рис. 4).

```

169         # Расчет метрик
170         residuals = y_test - y_pred
171         dw_stat = calculate_dw(residuals)
172         f_stat, f_p_value = calculate_f_stat(y_test, y_pred, X_test.shape[1])
173
174         return y_pred, f_stat, model, dw_stat, f_p_value
175
176     elif method in ['Time Series', 'SARIMA', 'Exponential Smoothing']:
177         # Преобразуем данные в одномерный временной ряд
178         y_train_series = pd.Series(y_train.values)
179
180         try:
181             if method == 'Time Series':
182                 settings = app.settings[method]
183                 model = ARIMA(y_train_series,
184                               order=(
185                                   settings['order_p'].get(),
186                                   settings['order_d'].get(),
187                                   settings['order_q'].get()
188                               )
189                               ).fit()
190             elif method == 'SARIMA':
191                 settings = app.settings[method]
192                 model = SARIMAX(y_train_series,
193                                order=(

```

Рис. 4. Реализация методов прогнозирования

Fig. 4. Implementation of forecasting methods

Следующим этапом разработаем визуальную часть программы. Для разработки интерфейса была использована библиотека Tkinter (рис. 5).

```

312 # === Интерфейс Tkinter ===
313 1 usage
314 class ForecastApp(tk.Tk):
315     def __init__(self):
316         """Инициализация интерфейса"""
317         super().__init__()
318
319         # Список методов прогнозирования (SARIMA закомментирован)
320         self.methods = [
321             "Линейная регрессия", # Linear Regression
322             "Случайный лес", # Random Forest
323             "Дерево решений", # Decision Tree
324             "Нейронные сети", # Neural Network
325             "Временные ряды", # Time Series
326             "SARIMA", # SARIMA
327             "Экспоненциальное сглаживание", # Exponential Smoothing
328             "Градиентный бустинг", # Gradient Boosting
329             "AdaBoost", # AdaBoost
330             "SVR", # SVR
331             "KNN" # KNN
332         ]

```

Рис. 5. Разработка интерфейса

Fig. 5. Interface development

Пример разработанного интерфейса на рис. 6.

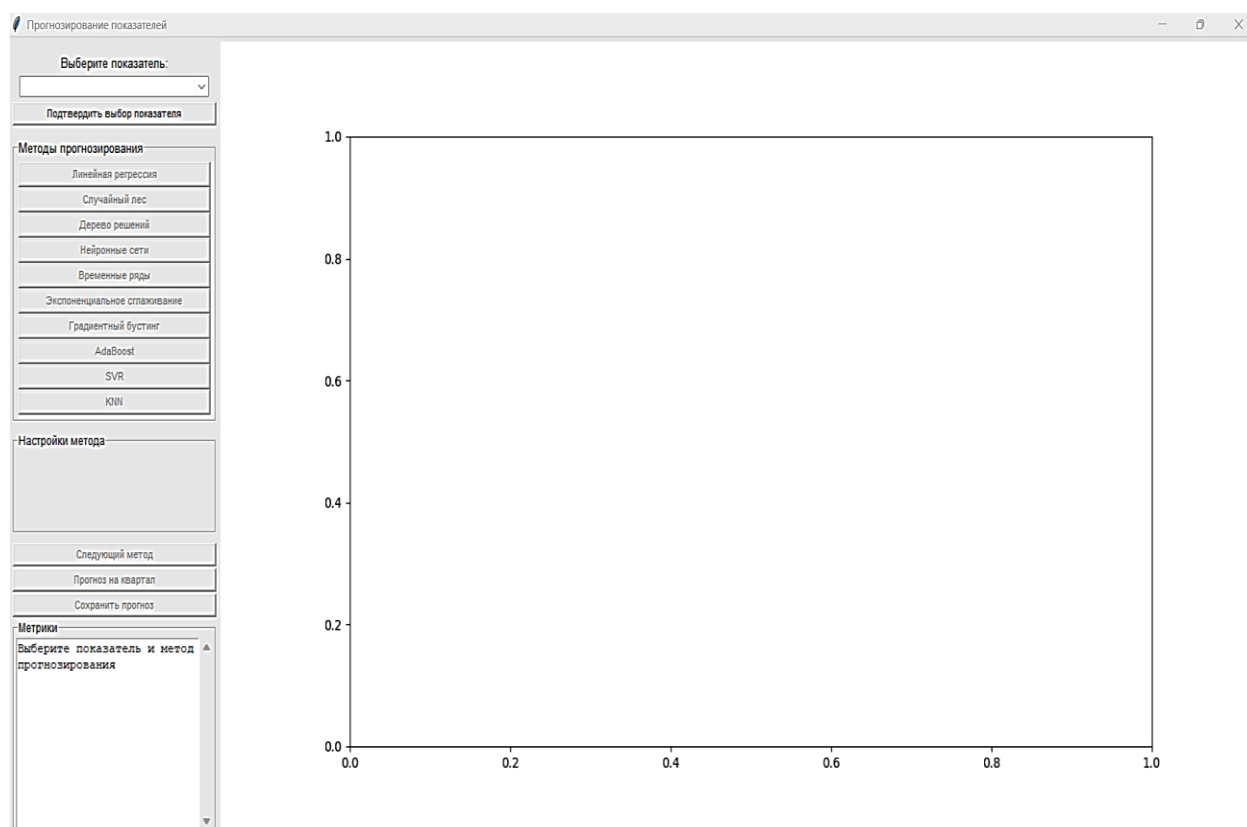


Рис. 6. Интерфейс

Fig. 6. Interface

РАСЧЕТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОССИИ

Принцип работы программы заключается в следующих шагах:

1) Выбор показателя прогнозирования, на первом этапе необходимо выбрать 1 из 40 предложенных показателей.

2) Выбираем первый метод прогнозирования – линейная регрессия, на ней модель обучается и строит первичный прогноз, если метрики верификации попали в интервал качества, то метод считается хорошим, и можно строить прогноз на квартал.

3) Если метод не прошел верификацию, выбирается следующий метод, данный шаг повторяется, пока не будет получен точный результат прогнозирования, где все метрики верификации находятся выше точек отсечения [8].

4) Строим прогнозирования на квартал.

5) Выгружаем результаты в отдельный файл для проведения анализа.

На рисунке 7 показан пример визуализации прогнозирования показателя FANERA при помощи метода «дерево решений».

Данный подход оптимальный для решения задачи прогнозирования промышленных показателей за счет гибридного выбора методов, которые обеспечивают точность и достоверность расчетов [9].

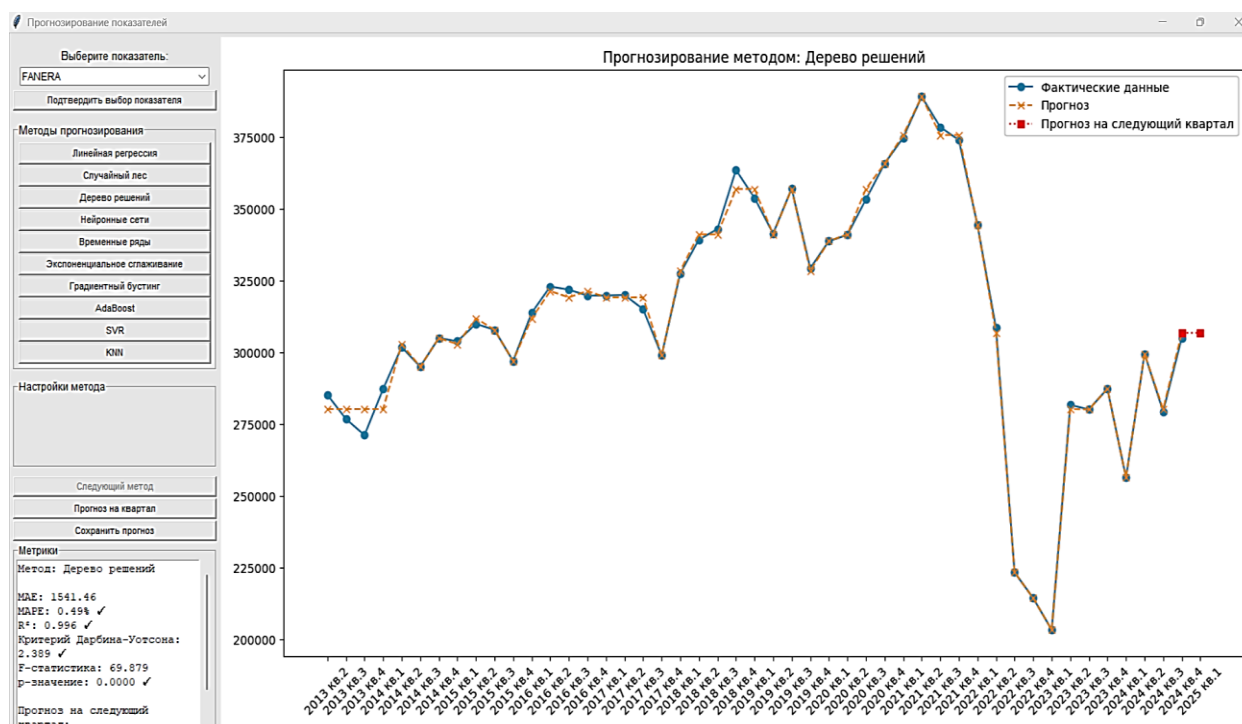


Рис. 7. Визуализация прогнозирования

Fig. 7. Forecasting visualization

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хочется отметить, что в рамках данной работы были решены следующие задачи.

Проанализированы авторским методом архитектуры программного обеспечения, был выявлен оптимальный метод для решения задачи разработки ИАС-прогнозирования. Разработана и описана архитектура ИАС, описаны используемые библиотеки и принцип работы. Построен первичный прогноз разработанной ИАС, сделаны выводы. Разработанная система может использоваться в ситуационных центрах и на коммерческих предприятиях для увеличения точности управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китова О. В., Савинова В. М., Иксанов В. Р. Сравнительный анализ методов машинного обучения для прогнозирования показателей промышленности РФ // Вопросы истории. 2022. № 9-2. С. 248–262. DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202209Statyi37
2. Китова О. В., Колмаков И. Б., Пеньков И. А. Метод машин опорных векторов для прогнозирования показателей инвестиций // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2016. № 4. С. 27–30. EDN: WHOQRX
3. Батулин А. С. Временные ряды и модели прогнозирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://4analytics.ru/prognostirovanie/vremennye-ryadi-i-modeli-prognostirovaniya.html> (Дата обращения: 15.03.2025)
4. Китова О. В., Савинова В. М., Дьяконова Л. П. Система гибридных моделей прогнозирования для ситуационных центров региональных органов управления и их применение в образовании // Вестник российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2017. № 5(95). С. 126–134. EDN: ZSPYVB

5. Китова О. В., Колмаков И. Б., Доможаков М. В. и др. Гибридные распределенные регрессионные и интеллектуальные системы прогноза показателей социально-экономического развития России // Вестник российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2017. № 2(92). С. 147–161. EDN: YNTSCD

6. Савинова В. М. Система эконометрических моделей прогнозирования социально-экономических показателей РФ как основа ИАС «Горизонт» // Modern Economy Success. 2022. № 2. С. 140–147. EDN: ULYEZO

7. Батулин А. С. Временные ряды и модели прогнозирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://4analytics.ru/prognostirovanie/vremennye-ryadi-i-modeli-prognostirovaniya.html> (Дата обращения: 11.03.2025)

8. Rustamov A. B. Forecast for the future of factors affecting the volume of production by the regional industrial entities in the digital economy // Экономика и предпринимательство. 2022. No. 4(141). Pp. 265–272. DOI: 10.34925/EIP.2022.141.4.050. EDN: BQXFDT

9. Товма О. Д. Основные типы архитектуры программного обеспечения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.artofba.com/post/main-types-of-software-architecture-ru> (Дата обращения: 15.03.2025)

REFERENCES

1. Kitova O.V., Savinova V.M., Iksanov V.R. Comparative analysis of machine learning methods for forecasting industrial indicators of the Russian Federation. *Voprosy istorii* [Questions of History]. 2022. No. 9-2. Pp. 248–262. DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202209Statyi37. (In Russian)

2. Kitova O.V., Kolmakov I.B., Penkov I.A. Support vector machine method for forecasting investment indicators. *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO* [Economics, Statistics and Informatics. Bulletin of UMO]. 2016. No. 4. Pp. 27–30. EDN: WHOQRX. (In Russian)

3. Baturin A.S. Time series and forecasting models [Electronic resource]. Access mode: <https://4analytics.ru/prognostirovanie/vremennye-ryadi-i-modeli-prognostirovaniya.html> (Accessed: 15.03.2025). (In Russian)

4. Kitova O.V., Savinova V.M., Dyakonova L.P. System of hybrid forecasting models for situational centers of regional government bodies and their application in education. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* [Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics]. 2017. No. 5(95). Pp. 126–134. EDN: ZSPYVB. (In Russian)

5. Kitova O.V., Kolmakov I.B., Domozhakov M.V. et al. Hybrid distributed regression and intelligent systems for forecasting indicators of socio-economic development of Russia. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* [Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics]. 2017. No. 2(92). Pp. 147–161. EDN: YNTSCD. (In Russian)

6. Savinova V.M. The system of econometric models for forecasting socio-economic indicators of the Russian Federation as the basis of the IAS “Horizon”. *Modern Economy Success*. 2022. No. 2. Pp. 140–147. EDN: ULYEZO

7. Baturin A.S. Time series and forecasting models [Electronic resource]. Access mode: <https://4analytics.ru/prognostirovanie/vremennye-ryadi-i-modeli-prognostirovaniya.html> (Accessed: 11.03.2025). (In Russian)

8. Rustamov A.B. Forecast for the future of factors affecting the volume of production by the regional industrial entities in the digital economy. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and Entrepreneurship]. 2022. No. 4(141). Pp. 265–272. DOI: 10.34925/EIP.2022.141.4.050. EDN: BQXFDT

9. Tovma O.D. Main types of software architecture [Electronic resource]. Access mode: <https://www.artofba.com/post/main-types-of-software-architecture-ru> (Accessed: 03/15/2025). (In Russian)

Финансирование. Данное исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ на тему «Модели, методы и алгоритмы искусственного интеллекта в задачах экономики для анализа и стилизации многомерных данных, прогнозирования временных рядов и проектирования рекомендательных систем», номер проекта FSSW-2023-0004.

Funding. This research was carried out within the framework of the state assignment in the field of scientific activity of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic “Models, methods and algorithms of artificial intelligence in economic problems for analysis and style transferring of multidimensional data, time series forecasting and recommendation systems design”, project no. FSSW-2023-0004.

Информация об авторе

Иксанов Владислав Рашидович, магистр, ассистент кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;
115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;
vlad-iksanov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7810-3720>, SPIN-код: 6750-3298

Information about the author

Vladislav R. Iksanov, Master, Assistant of the Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics;
115054, Russia, Moscow, 36 Stremyanny lane;
vlad-iksanov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7810-3720>, SPIN-code: 6750-3298

УДК 004.9

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-99-106

EDN: MYTWXX

Обзорная статья

Искусственный интеллект в пищевой отрасли

С. В. Коршиков^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет экономики и управления
630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52/1

²ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора
630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7

Аннотация. Данная статья представляет читателям обзор современного состояния и развития искусственного интеллекта (ИИ) в пищевой отрасли. На основе обзора научных трудов отражено собственное видение понятия ИИ. Используются методы обобщения, систематизации, анализа научных трудов по применению технологий ИИ в пищевой отрасли. Приведен ряд популярных нейросетей для генерации рецептов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интеллектуальные системы, пищевая отрасль, рецепт, промпт, питание

Поступила 24.04.2025, одобрена после рецензирования 29.04.2025, принята к публикации 06.05.2025

Для цитирования. Коршиков С. В. Искусственный интеллект в пищевой отрасли // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 99–106. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-99-106

MSC: 68Txx

Review article

Artificial intelligence in the food industry

S.V. Korshikov^{1,2}

¹Novosibirsk State University of Economics and Management
630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya street

²FBSI «Novosibirsk Research Institute of Hygiene»
630108, Russia, Novosibirsk, 7 Parkhomenko street

Abstract. This article gives all the latest information on the developments of the artificial intelligence (AI) in the food industry. Drawing upon the findings of scientific research, we hereby present our own interpretation of the notion of artificial intelligence. The application of AI technologies is analysed, generalised and systematised. A number of popular neural networks for recipe generation are offered.

Keywords: artificial intelligence, intelligent systems, food industry, recipe, prompt, nutrition

Submitted 24.04.2025, approved after reviewing 29.04.2025, accepted for publication 06.05.2025

For citation. Korshikov S.V. Artificial intelligence in the food industry. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 99–106. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-99-106

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) сейчас стремительно развиваются и активно внедряются в различные сферы деятельности. Он является многогранной системой, включающей в себя набор определенных элементов, с помощью которых функционирует [1]. Одним из перспективных направлений его применения становится кулинария и вся пищевая отрасль, где ИИ постепенно начинает играть все более значимую роль. Поэтому требуется детальное изучение его возможностей, анализ эффективности и оптимизации использования в гастрономических процессах [2].

Цель исследования – обзор современного состояния и развития искусственного интеллекта (ИИ) в пищевой отрасли.

ПОНЯТИЕ ИИ, РОЛЬ В ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ И ГЕНЕРАЦИИ РЕЦЕПТОВ

Первоначально для проведения обзора следует определиться с понятием ИИ и интеллектуальной системы, которые основываются на интеллекте. Сам интеллект можно охарактеризовать как способность к мыслительной деятельности.

В научном труде [3] отмечается, что в настоящее время наблюдается дефицит научно-технической литературы, посвященной применению ИИ в пищевой индустрии. У множества авторов свое видение понятия ИИ. В работе [4] автор представляет вывод, что нет единого подхода к определению ИИ, отсутствует закрепленное базовое понимание «естественного», человеческого интеллекта, это не способствует выработке единых подходов и к ИИ.

При объединении понятийных аппаратов по тематике ИИ в научных трудах отечественных и зарубежных авторов [5–7] можно сделать вывод, что ИИ является широкой совокупностью технологий, имитирующих человеческое мышление: самообучение, принятие решений без строгих алгоритмов и достижение результатов, сопоставимых с интеллектуальной деятельностью человека. А интеллектуальные системы являются практической реализацией ИИ в программах и конкретных технологичных устройствах.

Современные технологии позволяют создавать передовое высококачественное оборудование, без которого данная сфера не может функционировать в улучшенной форме. Сюда относятся производственные линии, выполняющие множество процессов в конвейерной последовательности. Многие из них полностью автоматизированы [8]. Самообучающиеся системы ИИ оптимизируют работу оборудования, предотвращают сбои и простои, что ведет к сокращению трудозатрат, повышению скорости и эффективности производства.

Создание стратегических альянсов в пищевой промышленности позволяет реализовать доступ к недостающим ресурсам, в том числе интеллектуальным, снизить и перераспределить риски, осуществить совместные инновации [9]. ИИ можно использовать для построения экспертных систем [10].

Уже сейчас интеллектуальные системы применяются для определения качества пищевых продуктов и как инструмент классификации [11]. Пищевая индустрия постоянно развивается [12]. ИИ становится жизнеспособным решением задач обеспечения эффективности и прогнозируемости в улучшении процессов пищевой промышленности [13].

Коллектив авторов в своем научном труде [14] основывается на том, что успешное внедрение ИИ в гастроэнтерологию требует решения этических, юридических и социальных вопросов. Его алгоритмы должны быть максимально объяснимыми, особенно в случаях, влияющих на здоровье пациентов. Он должен помогать и направлять, но не заменять принятие решений врачами и пациентами.

Внедрение ИИ должно основываться на надежных клинических исследованиях, демонстрирующих улучшение результатов для пациентов. Важно укреплять доверие пациентов и врачей к ИИ через образование и прозрачность. Необходим сбалансированный подход к его внедрению, учитывающий технологические возможности и социальные аспекты.

Современные кулинарные технологии все чаще включают ИИ, который меняет подход к приготовлению пищи в лучшую сторону. Основанный на алгоритмах машинного обучения, он анализирует пищевые предпочтения и доступные ингредиенты, предлагая персональные кулинарные решения пользователям. Применение интеллектуальных систем позволяет оптимизировать процесс приготовления.

Также нейросети могут генерировать нестандартные комбинации, расширяя возможности кухни. Это автоматизирует рутинные операции и способствует формированию более осознанного подхода к питанию, сочетая технологическую эффективность с гастрономическим разнообразием.

Нейронная сеть – программа, которая обучается на основе данных и примеров [15]. Создана для моделирования аналитических действий, относится к направлению ИИ и применяется для распознавания неочевидных закономерностей в необработанных данных, группировки и классификации, а также решения задач в области ИИ, машинного и глубокого обучения.

Нейросетевые алгоритмы способны анализировать тысячи существующих рецептов, выявляя лучшие сочетания ингредиентов и создавая уникальные кулинарные композиции. Функционирование таких систем основано на комплексном анализе кулинарных баз данных. Они выявляют скрытые закономерности, определяя наиболее гармоничные комбинации продуктов и способов их приготовления, что позволяет генерировать новые рецепты и адаптировать существующие под конкретные запросы пользователей.

Дополнительным преимуществом профильных нейросетей является их способность минимизировать пищевые отходы. Они могут предлагать рецепты, использующие только доступные ингредиенты, что делает процесс приготовления пищи экологичным и экономически выгодным. Современную профессиональную гастрономию можно рассматривать как синтез кулинарного искусства и технологических инноваций, где ИИ играет преобразующую роль.

Далее приводится обзор ряда популярных российских и зарубежных профильных нейросетей для генерации рецептов. Они «придумывают» готовое блюдо из имеющихся продуктов в холодильнике с учетом предпочтений пользователей.

В тематике контекстов для описания запроса к ИИ-системе используется термин «промпт» [16]. Промпт представляет собой запрос к нейросети для получения необходимого текстового или графического результата. Соответственно, чем детальнее описана задача для кулинарной нейросети, тем более подходящим будет результат. Для задачи разработки рецептов ИИ может стать альтернативой (или дополнением) человеческому опыту [17].

1. *AI Recipe Generator*. Для применения нейросети пользователю необходимо ввести ингредиенты, которые у него есть в наличии или которые он хочет купить. После ввода пользователь получает результат в виде названия рецепта, пропорции продуктов, инструкцию по приготовлению и пожелание приятного аппетита. Если добавлено мало ингредиентов, нейросеть может внести еще «на свое усмотрение».

Стоимость: 2,99\$ – 5,99\$ (на середину апреля 2025 г.) в зависимости от количества рецептов в месяц. Ее минус в том, что она не учитывает пищевые особенности питающегося и дополнительные уточнения.

2. *Mealpractice*. Вначале нужно указать тип источника белка, предпочтительный стиль питания и национальную кухню. На основе этих данных нейросеть предлагает выбрать 1 из 3 рецептов по названию, затем распишет ингредиенты и способ приготовления. Минус в том, что не учитываются пищевые особенности питающегося и дополнительные уточнения.

Стоимость: бесплатно (на середину апреля 2025 г.).

3. *ChefGPT*. В форме регистрации нейросеть запрашивает пол, вес, возраст, диетические ограничения. Особенно стоит отметить, что в конце регистрации она выдает отдельную форму под заполнение для людей с пищевой аллергией, в которой можно выбрать более 100 имеющихся аллергенов.

После регистрации она «спрашивает», какие продукты есть в наличии, для какого приема пищи нужен рецепт, какая имеется кухонная техника, сколько времени готовы потратить на приготовление и сложность итогового блюда. Она «придумывает» рецепт без лишних продуктов.

Стоимость: 2,99\$ – 29,99\$ (на середину апреля 2025 г.) в зависимости от оплаты за месяц или год. Минус в том, что она не учитывает пищевые особенности питающегося и дополнительные уточнения.

4. *Mealmind*. Работа начинается с ввода роста, веса, возраста, цели (нарастить мышечную массу, сбросить вес, питаться здоровой пищей). Предлагаются индивидуальные рекомендации по блюдам и продуктам на основе предпочтений и возможных диетических ограничений пользователя. Нейросеть учтет все данные и составит рецепт приготовления блюда, индивидуальный план на неделю: рассчитает КБЖУ, распишет рецепт каждого блюда и список продуктов для всего меню. Может синхронизироваться с фитнес-трекерами для получения более точных данных о физической активности.

Стоимость: 5,99 £ (на середину апреля 2025 г.). Стоимость включает составление плана питания на 7 дней. Ее минус также в том, что нет учета пищевых особенностей питающегося и дополнительных уточнений.

5. *PeopleTec*. Специалисты компании PeopleTec создали алгоритм, который генерирует кулинарные рецепты на основе имеющихся продуктов [18]. Для этого в нейросеть необходимо загрузить фотографию содержимого холодильника, она «придумает», какое блюдо можно приготовить из «увиденных» ингредиентов, и распишет пошаговый рецепт. Разработчики гарантируют, что нейросеть идентифицирует ингредиенты с точностью 95%.

Она объединяет 2 ключевых компонента: модель компьютерного зрения для распознавания объектов и языковую модель ChatGPT для создания рецептов. Вначале пользователь делает фотографию содержимого холодильника, которую обрабатывает алгоритм компьютерного зрения. Полученный список продуктов передается языковой модели, которая генерирует оригинальный рецепт, включающий название блюда, список ингредиентов с количеством, пошаговые инструкции приготовления, время готовки и количество порций.

Важной особенностью нейросети является адаптивность. Она способна модифицировать рецепты в соответствии с различными требованиями: менять количество порций, учитывать диетические ограничения, корректировать блюда с учетом сезонности продуктов, сокращать время приготовления. Например, при запросе «для веганов» заменяет животные продукты растительными аналогами.

Практическая ценность разработки заключается в эффективности модульного подхода, в котором компьютерное зрение и обработка естественного языка работают последовательно, показывая лучшие результаты, чем монолитные мультимодальные системы.

Ограничения включают невозможность точного учета количества каждого ингредиента (например, если в холодильнике только 1 яйцо, а рецепт требует 3) и возможную генерацию необычных или невкусных сочетаний продуктов. Но авторы отмечают, что развитие языковых моделей и добавление обратной связи от пользователей позволит усовершенствовать систему в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные технологии демонстрируют потенциал в трансформации пищевой индустрии. Интеграция ИИ в данную сферу, в том числе внедренные технологии в конвейерные производственные линии, определение качества пищевых продуктов, генерация персонализированных рецептов, приводят к положительным изменениям в виде автоматизации процессов и быстрого получения новых и подходящих результатов.

Проведенный обзор показал, что ИИ способен совершать автоматизацию рутинных задач, создавать уникальные кулинарные комбинации, минимизировать пищевые отходы и адаптировать блюда под индивидуальные потребности (хоть и с возможными выводами несочетаемых продуктов).

Преимуществом рассматриваемых систем являются их возможности в анализе больших данных, выявлении скрытых закономерностей и вывод решений, сочетающих технологическую эффективность с гастрономическим разнообразием. Доказал свою эффективность модульный подход, объединяющий компьютерное зрение и обработку естественного языка. Но несмотря на прогресс, остаются не решенными вопросы точного учета количества ингредиентов, индивидуальных пищевых особенностей пользователей.

Требуют внимания этические и социальные аспекты внедрения ИИ. Важно, чтобы технологии оставались инструментом поддержки, а не заменой человеческого опыта, особенно в вопросах, связанных со здоровьем и культурными предпочтениями. Дальнейшее развитие ИИ в пищевой отрасли должно быть направлено на улучшение адаптивности систем, интеграцию обратной связи от пользователей и персонализацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурынин С. С.* Понятие и структура искусственного интеллекта // *Ius Publicum et Privatum*. 2021. № 2(12). С. 45–50. DOI: 10.46741/2713-2811-2021-2-45-50
2. *Негорожин С. В.* Анализ и оптимизация применения методов искусственного интеллекта в кулинарии // *Вестник науки*. 2024. Т. 2. № 6(75). С. 1580–1585. EDN: FGZRWW
3. *Боргардт Е. А., Бобель Д. Н.* Технологии искусственного интеллекта в системе управления качеством // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2021. № 8-1(59). С. 178–180. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-8-1-178-180
4. *Соломонов Е. В.* Понятие и признаки искусственного интеллекта // *Вестник Омского университета*. Серия: Право. 2023. Т. 20. № 4. С. 57–65. DOI: 10.24147/1990-5173.2023.20(4).57-65
5. *Леонов А. В., Пронин А. Ю.* Новая парадигма искусственного интеллекта // *Компетентность*. 2023. № 2. С. 37–46. DOI: 10.24412/1993-8780-2023-2-37-46
6. *Кузнецова И. О., Нестеренко Г. А., Нестеренко И. С.* Предпосылки появления искусственного интеллекта // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2024. № 8(146). С. 1–6. DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.36

7. Wong D. Basics of artificial intelligence // *Acta Ophthalmologica*. 2022. Vol. 100. No. S275. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2022.15370
8. Карачаева З. А., Исмаилова А. А. Направления применения цифровых технологий и продуктов в отраслях пищевого производства // *Экономика и социум*. 2022. № 11-2(102). С. 434–437. EDN: EVQRIS
9. Андреева Т. В., Курлыкова А. В. Подходы, методы и инструментальные средства к управлению ценностной цепочкой продукта пищевой промышленности на микро- и мезоуровне // *Экономика, предпринимательство и право*. 2020. Т. 10. № 4. С. 1137–1150. DOI: 10.18334/epp.10.4.100882
10. Mavani N. R., Ali J. M., Othman S. et al. Application of Artificial Intelligence in Food Industry-a Guideline // *Food Engineering Reviews*. 2021. DOI: 10.1007/s12393-021-09290-z
11. Тимчук Е. Г. Применение искусственного интеллекта в пищевой промышленности // *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2022. Т. 61. № 3. С. 21–42. EDN: CRVVSM
12. Михеев П. Н. Технологии искусственного интеллекта в пищевой промышленности // *Инновации и инвестиции*. 2023. № 4. С. 536–539. EDN: DYONTS
13. Тимчук Е. Г. Применение технологии блокчейн в целях обеспечения прослеживаемости пищевой продукции: текущее состояние и перспективы // *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2022. Т. 61. № 3. С. 13–20. EDN: FYNKBB
14. Sung J.J.Y., Savulescu Ju., Ngiam K. Y. et al. Artificial intelligence for gastroenterology: Singapore artificial intelligence for Gastroenterology Working Group Position Statement // *Journal of Gastroenterology and Hepatology*. 2023. Vol. 38. No. 10. Pp. 1669–1676. DOI: 10.1111/jgh.16241
15. Konovalov E. Modified network of generalized neural elements as an example of a new generation neural network // *Conference of Open Innovations Association. FRUCT*. 2020. No. 26. Pp. 194–199. DOI:10.23919/FRUCT48808.2020.9087472
16. Сейдаметова З. С. Промпты для обучения эффективному использованию AI-генераторов кода // *Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере*. 2023. № 4(42). С. 86–93. EDN: VFXIIC
17. Епрынцева Н. А. Применение искусственного интеллекта в пищевой отрасли // *Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах*. 2022. № 1(27). С. 39–42. EDN: TZMCMK
18. Noever D., Miller Noever S.E. The multimodal and modular ai chef: complex recipe generation from imagery // *PeopleTec*. 2023.

REFERENCES

1. Buryin S.S. Concept and structure of artificial intelligence. *Ius Publicum et Privatum*. 2021. No. 2(12). Pp. 45–50. DOI: 10.46741/2713-2811-2021-2-45-50. (In Russian)
2. Negorozhin S.V. Analysis and optimization of the application of artificial intelligence methods in cooking. *Bulletin of Science*. 2024. Vol. 2. No. 6(75). Pp. 1580–1585. EDN: FGZRWW. (In Russian)
3. Borgardt E.A., Bobel D.N. Artificial intelligence technologies in the quality management system. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. No. 8-1(59). Pp. 178–180. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-8-1-178-180. (In Russian)
4. Solomonov E.V. Concept and features of artificial intelligence. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya: Pravo* [Bulletin of Omsk University. Series: Law]. 2023. Vol. 20. No. 4. Pp. 57–65. DOI: 10.24147/1990-5173.2023.20(4).57-65. (In Russian)

5. Leonov A.V., Pronin A.Y. New paradigm of artificial intelligence. *Kompetentnost' [Competence]*. 2023. No. 2. Pp. 37–46. DOI: 10.24412/1993-8780-2023-2-37-46. (In Russian)
6. Kuznetsova I.O., Nesterenko G.A., Nesterenko I.S. Prerequisites for the emergence of artificial intelligence. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]*. 2024. No. 8(146). Pp. 1–6. DOI: 10.60797/IRJ.2024.146.36. (In Russian)
7. Wong D. Basics of artificial intelligence. *Acta Ophthalmologica*. 2022. Vol. 100. No. S275. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2022.15370
8. Karachaeva Z.A., Ismailova A.A. Directions for the application of digital technologies and products in food production industries. *Ekonomika i sotsium [Economy and Society]*. 2022. No. 11-2(102). Pp. 434–437. EDN: EVQRIS. (In Russian)
9. Andreeva T.V., Kurlykova A.V. Approaches, methods and tools for managing the value chain of a food industry product at the micro- and meso-levels. *Economy, entrepreneurship and law*. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 1137–1150. DOI: 10.18334/epp.10.4.100882. (In Russian)
10. Mavani N.R., Ali J.M., Othman S. et al. Application of artificial intelligence in food industry-a guideline. *Food Engineering Reviews*. 2021. DOI: 10.1007/s12393-021-09290-z
11. Timchuk E.G. Application of artificial intelligence in the food industry. *Nauchnyye trudy Dal'rybvtuza [Scientific works of the Far East Fisheries University]*. 2022. Vol. 61. No. 3. Pp. 21–42. EDN: CRVISM. (In Russian)
12. Mikheev P.N. Artificial intelligence technologies in the food industry. *Innovatsii i investitsii [Innovations and investments]*. 2023. No. 4. Pp. 536–539. EDN: DYOHTS. (In Russian)
13. Timchuk E.G. Application of blockchain technology to ensure traceability of food products: current state and prospects. *Nauchnyye trudy Dal'rybvtuza [Scientific works of the Far East Fisheries University]*. 2022. Vol. 61. No. 3. Pp. 13–20. EDN: FYHKBB. (In Russian)
14. Sung J.J.Y., Savulescu Ju., Ngiam K.Y. et al. Artificial intelligence for gastroenterology: Singapore artificial intelligence for Gastroenterology Working Group Position Statement. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*. 2023. Vol. 38. No. 10. Pp. 1669–1676. DOI: 10.1111/jgh.16241
15. Konovalov E. Modified network of generalized neural elements as an example of a new generation neural network. *Conference of Open Innovations Association. FRUCT*. 2020. No. 26. Pp. 194–199. DOI: 10.23919/FRUCT48808.2020.9087472
16. Seidametova Z.S. Prompts for training in the effective use of AI code generators. *Informatsionno-komp'yuternyye tekhnologii v ekonomike, obrazovanii i sotsial'noy sfere [Information and computer technologies in economics, education and social sphere]*. 2023. No. 4(42). Pp. 86–93. (In Russian)
17. Epryntseva N.A. Application of artificial intelligence in the food industry. *Informatsionnyye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh [Information technologies in construction, social and economic systems]*. 2022. No. 1(27). Pp. 39–42. EDN: TZMCMK. (In Russian)
18. Noever D., Miller Noever S.E. The multimodal and modular ai chef: complex recipe generation from imagery. *PeopleTec*. 2023.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторе

Коршиков Сергей Витальевич, аспирант, Новосибирский государственный университет экономики и управления;

630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Каменская, 52/1;

инженер информационно-аналитического отдела, ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора;

630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Пархоменко, 7;

korshikov_sv@niig.su, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0984-0363>, SPIN-код: 6575-0829

Information about the author

Sergey V. Korshikov, postgraduate student, Novosibirsk State University of Economics and Management;

630099, Russia, Novosibirsk, 52/1 Kamenskaya street;

engineer of the information and analytical department, FBSI “Novosibirsk Research Institute of Hygiene”;

630108, Russia, Novosibirsk, 7 Parkhomenko street;

korshikov_sv@niig.su, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0984-0363>, SPIN-code: 6575-0829

УДК 004.3

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-107-120

EDN: RBUDBB

Автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов

Д. В. Тихонов

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Ярославский филиал)
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Кооперативная, 12а

Аннотация. Поддержание работоспособности и своевременное восстановление после отказа радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) программно-аппаратных комплексов (ПАК) является важной задачей. Данную задачу на этапе эксплуатации, как правило, решает система технического диагностирования. Для информационной поддержки обслуживающего персонала при выполнении ими задач технического диагностирования разрабатывается диагностическая модель, которая входит в состав диагностического обеспечения изделия. Очевидным преимуществом при выполнении операций технического диагностирования является автоматизация информационной поддержки обслуживающего персонала при техническом диагностировании с применением вычислительных систем. По результатам проведенных исследований в статье предложена автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования на основе объектно-диагностической декомпозиции радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратного комплекса, которая позволяет существенно сократить среднее время поиска диагностической информации в процессе восстановления РЭА.

Ключевые слова: объектно-диагностическая модель, автоматизация информационной поддержки, радиоэлектронная аппаратура, программно-аппаратные комплексы

Поступила 09.04.2025, одобрена после рецензирования 22.04.2025, принята к публикации 05.05.2025

Для цитирования. Тихонов Д. В. Автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 107–120. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-107-120

MSC: 68M15

Original article

Automated information support in technical diagnostics for radio-electronic equipment within software and hardware complexes

D.V. Tikhonov

Financial University under the Government of the Russian Federation (Yaroslavl branch)
150003, Russia, Yaroslavl, 12a Cooperative street

Abstract. Maintaining serviceability and timely recovery from failure of radio-electronic equipment (REA) within software-hardware complexes (SHC) is an important task. This task at the operation stage is usually solved by the technical diagnostics. A diagnostic model is being developed to provide computer specialists with information support during performing technical diagnostic tasks. This model is part of the product's diagnostic support. One clear benefit of using computer systems for technical diagnostics is that it makes information support for the computer specialists automatic. According to the results of the conducted researches

the automated information support in technical diagnostics is offered grounded on the object-diagnostic decomposition of radio-electronic equipment within software-hardware complex, which allows to significantly reduce the average search time for diagnostic information in the EE restoring process.

Keywords: object-diagnostic model, automation of information support, electronic equipment, software and hardware systems

Submitted 09.04.2025,

approved after reviewing 22.04.2025,

accepted for publication 05.05.2025

For citation. Tikhonov D.V. Automated information support in technical diagnostics for radio-electronic equipment within software and hardware complexes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 107–120. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-107-120

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития электронной промышленности России на период до 2030 г. предусмотрено создание отечественных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих реализацию сквозных технологий. С появлением на рынке в ходе импортозамещения новых отечественных программных и аппаратных продуктов остро стоит проблема обеспечения не только их совместимости, но и надежности с точки зрения эксплуатации. Данные обстоятельства определяют новые требования к поддержанию показателей надежности РЭА программно-аппаратных комплексов на заданном уровне. С точки зрения восстановления эту задачу решает система технического диагностирования (СТД) [1, 2].

Сегодня на оперативность функционирования СТД существенное влияние оказывают следующие компоненты (рис. 1): 1) диагностическая модель (ДМ) РЭА; 2) обслуживающий персонал (ОП); 3) средства технического диагностирования РЭА.

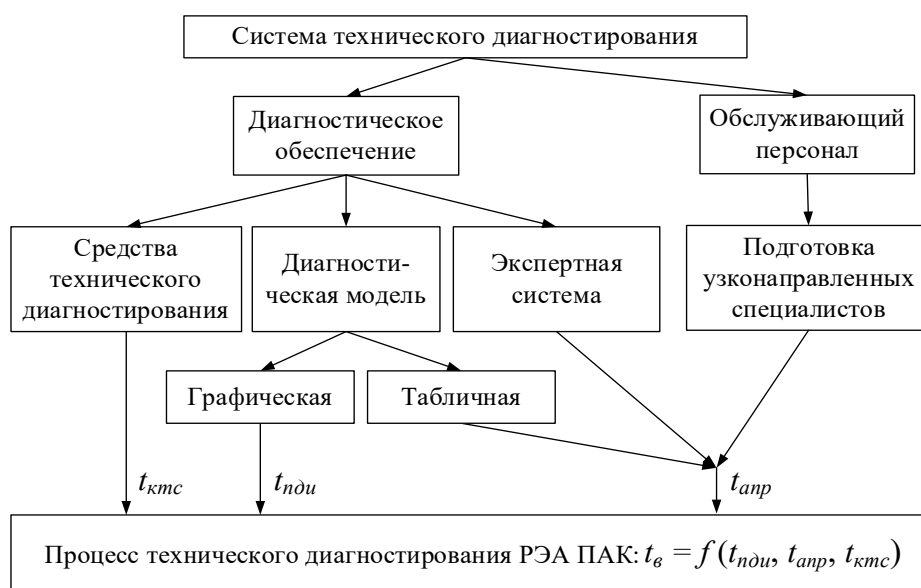


Рис. 1. Декомпозиция системы технического диагностирования:

t_{kmc} – время послеремонтного контроля технического состояния РЭА,

t_{ndu} – время поиска диагностической информации в процессе восстановления РЭА,

t_{anp} – время анализа и принятия решения обслуживающим персоналом в процессе восстановления РЭА

Fig. 1. Decomposition of the technical diagnostics system:

t_{kts} – time of post-repair monitoring of the technical condition of the electronic equipment,

t_{pdi} – time of searching for diagnostic information in the process of restoring the electronic equipment,

t_{apn} – time of analysis and decision-making by the service personnel in the process of restoring the electronic equipment

Решение задач технического диагностирования осуществляется с использованием диагностической модели программно-аппаратного комплекса. Диагностическая модель входит в состав эксплуатационной документации (ЭД) и поставляется в двух формах: табличной и графической.

Табличная модель описывает признаки некоторых (типовых) отказов с указанием возможных неработоспособных элементов аппаратуры, то есть выдает рекомендации обслуживающему персоналу по локализации отказа. В результате уменьшается объем анализируемой им информации и тем самым облегчается процесс принятия решения. Следовательно, сокращается время $t_{анп}$ при восстановлении РЭА (см. рис. 1).

Графическая ДМ представляет собой комплект электрических схем (ЭС) различного типа. Они содержат сведения, достаточные как для изучения устройства и принципов функционирования аппаратуры, так и для ее восстановления в случае отказа. Данная модель обеспечивает информационную поддержку обслуживающему персоналу для локализации любого отказа РЭА. Поэтому в каждой конкретной ситуации необходимо найти в ней требуемую информацию, проанализировать ее и принять решение по поиску неработоспособных элементов аппаратуры [4].

Диагностическая модель аппаратуры сложных технических систем, в том числе аппаратных комплексов, выполнена на бумажном материале и, как следствие, занимает большой объем. Исходя из этого, время поиска диагностической информации $t_{нду}$ в ДМ графического вида оказывает существенное влияние на оперативность процесса локализации отказа радиоэлектронной аппаратуры, особенно сложной (см. рис. 1).

Кроме того, оперативность восстановления РЭА зависит также от обслуживающего персонала. Чем лучше подготовлен ОП или, другими словами, чем выше его квалификация, тем меньше требуется ему времени на анализ диагностической информации и принятие решения по локализации отказа $t_{анп}$. Помощь эксперта по эксплуатации конкретного образца техники также позволила бы сократить это время. В качестве эксперта может быть применена система искусственного интеллекта, в частности экспертная система (см. рис. 1).

Восстановление работоспособности изделия заканчивается послеремонтным контролем технического состояния составных частей или изделия в целом. При этом задействованы внешние и встроенные средства технического диагностирования. Первые в процессе диагностирования требуют дополнительного времени на подготовку к работе и подключения к точкам снятия информации. В результате время контроля $t_{кмс}$ зависит от соотношения встроенных (контрольно-диагностической части РЭА) и внешних средств диагностирования при неизменной глубине контроля (см. рис. 1).

Таким образом, основными возможными направлениями сокращения среднего времени восстановления РЭА являются (см. рис. 1):

- 1) уменьшение времени послеремонтного контроля технического состояния аппаратуры за счет увеличения объема ее контрольно-диагностической части – $t_{кмс}$;
- 2) уменьшение времени поиска диагностической информации за счет совершенствования ДМ РЭА графического вида – $t_{нду}$;
- 3) уменьшение времени анализа диагностической информации и принятия решения обслуживающим персоналом за счет подготовки высококвалифицированных узконаправленных специалистов, применения экспертных систем и совершенствования табличной диагностической модели РЭА – $t_{анп}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ этих направлений показал, что наиболее рациональным и перспективным является **второе направление**. Следовательно, сокращение t_e целесообразно осуществлять путем уменьшения среднего времени поиска ДИ. Очевидным решением данной задачи является автоматизация информационной поддержки обслуживающего персонала при техническом диагностировании с применением вычислительных систем. В результате исследований предложена автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования, основанная на *методе организации информационной поддержки технического диагностирования на основе объектно-диагностической декомпозиции радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратного комплекса*. Метод включает [5]:

- 1) метод объектно-диагностического анализа радиоэлектронной аппаратуры;
- 2) объектно-диагностическую модель радиоэлектронной аппаратуры;
- 3) метод формализованного описания радиоэлектронной аппаратуры с помощью объектно-диагностической модели;
- 4) функциональную структуру системы информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры на основе реляционных баз данных.

Метод объектно-диагностического анализа [6, 7] заключается в следующем: в радиоэлектронной аппаратуре выделяются структурные единицы (объекты) диагностирования – устройства, функциональные группы, элементы, контакт-детали, участки электрических цепей – и определяются взаимосвязи между ними – часть, неразборная часть, участвует в образовании, место расположения, контактное соединение, а также их идентификационные атрибуты – обозначение, наименование, тип, основной документ, конструктивное расположение – и описательные атрибуты – технические данные, эксплуатационные данные, адрес присоединения, диаграмма сигнала. В результате применения этого метода радиоэлектронная аппаратура может быть представлена в виде объектно-диагностической структуры (рис. 2). Данная структура позволяет сформулировать требования к формализованному описанию РЭА. Модель аппаратуры должна учитывать структурные единицы (объекты) диагностирования, идентификационные и описательные атрибуты и связи между ними. Такая модель названа объектно-диагностической моделью (ОДМ) РЭА [8].

В общем случае структура любой системы может быть представлена моделью вида

$$\Psi = \langle M, S \rangle, \quad (1)$$

где M – множество элементов (объектов) системы, **носитель** модели; $S = \{ R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1n_1}; R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2n_2}, \dots, R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in_i}, \dots, R_{m1}, R_{m2}, \dots, R_{mn_m} \}$ – заданные в множестве M отношения $R_{in_i}, R_{in_i} \subset M^i$, характеризующие взаимосвязи объектов системы, $i=1, m$ – арность отношения, n_i – количество отношений арности i . Другими словами, S – это множество отношений R_{in_i} или **сигнатура** модели. Угловыми скобками $\langle \rangle$ обозначено понятие совокупности.

Модель (1) применена для формализации объектно-диагностической структуры РЭА. В результате под объектно-диагностической моделью радиоэлектронной аппара-

туры Ψ будем понимать совокупность множества M с заданными в нем отношениями R_{in_i} , $R_{in_i} \subset M^i$. В процессе исследований [9] обоснована структура носителя и сигнатуры ОДМ.

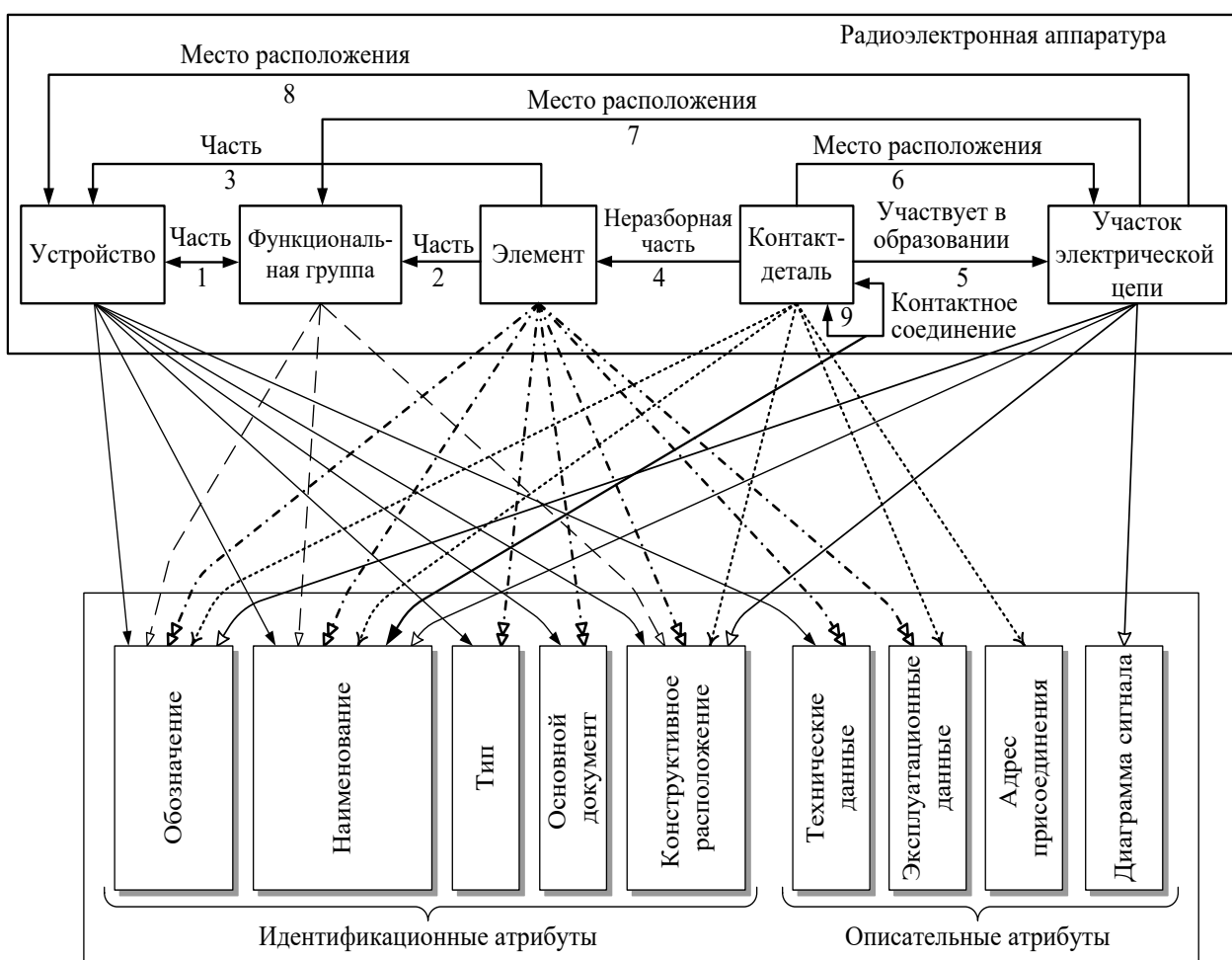


Рис. 2. Объектно-диагностическая структура РЭА ПАК

Fig. 2. Object-diagnostic structure of the REA PAK

Формализацию структурных единиц диагностирования, а также их идентификационных и описательных атрибутов обеспечивают множества [6, 10]:

F – множество структурных единиц диагностирования;

O – множество значений атрибута «Обозначение»;

N – множество значений атрибута «Наименование»;

T – множество значений атрибута «Тип»;

D – множество значений атрибута «Основной документ»;

J – множество значений атрибута «Конструктивное расположение»;

P – множество значений атрибута «Технические данные»;

X – множество значений атрибута «Эксплуатационные данные»;

A – множество значений атрибута «Адрес присоединения»;

H – множество значений атрибута «Диаграмма сигнала».

Данные множества образуют носитель модели:

$$\begin{aligned}
M = \{ & F, O, N, T, D, J, P, X, A, H \} = \\
= \{ & f_1, f_2, \dots, f_{i_f}, \dots, f_{n_f}; o_1, o_2, \dots, o_{i_o}, \dots, o_{n_o}; n_1, n_2, \dots, n_{i_n}, \dots, n_n; \\
& t_1, t_2, \dots, t_{i_t}, \dots, t_{n_t}; d_1, d_2, \dots, d_{i_d}, \dots, d_{n_d}; j_1, j_2, \dots, j_{i_j}, \dots, j_{n_j}; \\
& p_1, p_2, \dots, p_{i_p}, \dots, p_{n_p}; \\
& x_1, x_2, \dots, x_{i_x}, \dots, x_{n_x}; a_1, a_2, \dots, a_{i_a}, \dots, a_{n_a}; h_1, h_2, \dots, h_{i_h}, \dots, h_{n_h} \}. \quad (2)
\end{aligned}$$

Формализацию связей структурных единиц диагностирования и атрибутов обеспечивает совокупность следующих отношений:

$$\begin{aligned}
R_{21} = \{ & (f_{i_f}, p_{i_p}) / f_{i_f} \in F; p_{i_p} \in P; \text{технические данные устройства или} \\
& \text{элемента } f_{i_f} - p_{i_p} \}, R_{21} \subset F \times P; \\
R_{22} = \{ & (f_{i_f}, x_{i_x}) / f_{i_f} \in F; x_{i_x} \in X; \text{эксплуатационные данные элемента} \\
& f_{i_f} - x_{i_x} \}, R_{22} \subset F \times X; \\
R_{23} = \{ & (f_{i_f}, f_{j_f}) / f_{i_f}, f_{j_f} \in F; \text{элемент } f_{i_f} \text{ часть устройства или } \Phi\Gamma f_{j_f} \}, \\
& R_{23} \subset F^2; \\
R_{24} = \{ & (o_{i_o}, h_{i_h}) / o_{i_o} \in O; h_{i_h} \in H; \text{диаграмма сигнала на участке цепи } o_{i_o} - \\
& h_{i_h} \}, R_{24} \subset O \times H; \\
R_{31} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, x_{i_x}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o} \in O; x_{i_x} \in X; \text{эксплуатационные данные} \\
& \text{контакт-детали } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} - x_{i_x} \}, R_{31} \subset F \times O \times X; \\
R_{32} = \{ & (o_{i_o}, n_{i_n}, j_{i_j}) / o_{i_o} \in O; n_{i_n} \in N; j_{i_j} \in J; o_{i_o} - \text{цепь } n_{i_n}, \text{ расположена} \\
& \text{в изделии } j_{i_j} \}, R_{32} \subset O \times N \times J; \\
R_{33} = \{ & (o_{i_o}, n_{i_n}, f_{i_f}) / o_{i_o} \in O; n_{i_n} \in N; f_{i_f} \in F; \text{цепь } o_{i_o} - n_{i_n} \text{ устройства} \\
& \text{или } \Phi\Gamma f_{i_f} \}, R_{33} \subset O \times N \times F; \\
R_{41} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, o_{j_o}, a_{i_a}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o}, o_{j_o} \in O; a_{i_a} \in A; \text{адрес присоединения} \\
& \text{контактной части } o_{j_o} \text{ контакт-детали } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} - a_{i_a} \}, \\
& R_{41} \subset F \times O \times O \times A; \\
R_{61} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, n_{i_n}, t_{i_t}, d_{i_d}, j_{i_j}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o} \in O; n_{i_n} \in N; t_{i_t} \in T; d_{i_d} \in D; \\
& j_{i_j} \in J; \Phi\Gamma f_{i_f} - \text{это } n_{i_n} t_{i_t} d_{i_d}, \text{ позиционное обозначение } o_{i_o}, \\
& \text{расположена в изделии } j_{i_j} \}, R_{61} \subset F \times O \times N \times T \times D \times J; \\
R_{62} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, n_{i_n}, n_{j_n}, o_{j_o}, j_{i_j}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o}, o_{j_o} \in O; n_{i_n}, n_{j_n} \in N; j_{i_j} \in J; \\
& \text{контакт-деталь } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} - \text{это } n_{i_n}, n_{j_n} \text{ цепи } o_{j_o},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{расположена в изделии } j_{i_j} \}, R_{62} \subset F \times O \times N \times N \times O \times J; \\
R_{71} = & \left\{ (f_{i_f}, o_{i_o}, o_{j_o}, f_{j_f}, o_k, o_m, n_{i_n}) / f_{i_f}, f_{j_f} \in F; o_{i_o}, o_{j_o}, o_k, o_m \in O; n_{i_n} \in N; \right. \\
& \text{контактная часть } o_{j_o} \text{ контакт-детали } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} \text{ соединена} \\
& \text{с контактной частью } o_m \text{ контакт-детали } o_k \text{ элемента } f_{j_f}, \\
& \left. \text{контактное соединение } n_{i_n} \right\}, R_{71} \subset F \times O \times O \times F \times O \times O \times N.
\end{aligned}$$

Данные отношения образуют сигнатуру модели:

$$S = \{ R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{41}, R_{61}, R_{62}, R_{71} \}. \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) объектно-диагностическая модель РЭА будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
\Psi = \langle \dot{I}, S \rangle = \langle \{ F, O, N, T, D, J, P, X, A, H \}, \\
\{ R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{41}, R_{61}, R_{62}, R_{71} \} \rangle. \quad (4)
\end{aligned}$$

Метод формализованного описания радиоэлектронной аппаратуры с использованием объектно-диагностической модели разделен на три этапа [11] (рис. 3).

Первый этап. Подбор и анализ необходимой технической документации, подготовка моделируемого изделия.

Второй этап. Создание носителя объектно-диагностической модели радиоэлектронной аппаратуры. Данный этап включает две задачи: 1) формирование множества структурных единиц диагностирования; 2) формирование множеств значений атрибутов структурных единиц диагностирования.

Третий этап. Создание сигнатуры ОДМ РЭА. Он включает четыре задачи: 1) формирование отношений идентификации структурных единиц диагностирования; 2) формирование отношений дополнительной характеристики структурных единиц диагностирования; 3) формирование отношений взаимосвязей структурных единиц диагностирования; 4) формирование отношения соединений контакт-деталей элементов.

Применение данного метода позволяет получить объектно-диагностическую модель (4) для любой РЭА, что обеспечивает решение задачи автоматизации информационной поддержки технического диагностирования ПАК.

Иерархия радиоэлектронной аппаратуры и структура объектно-диагностической модели определили функциональную структуру автоматизированной системы информационной поддержки технического диагностирования, основу которой составляют банк данных изделия, включающий базы данных устройств данного изделия (рис. 4), и база данных, в которой хранится информация о структурной иерархии изделия [6] (рис. 5).

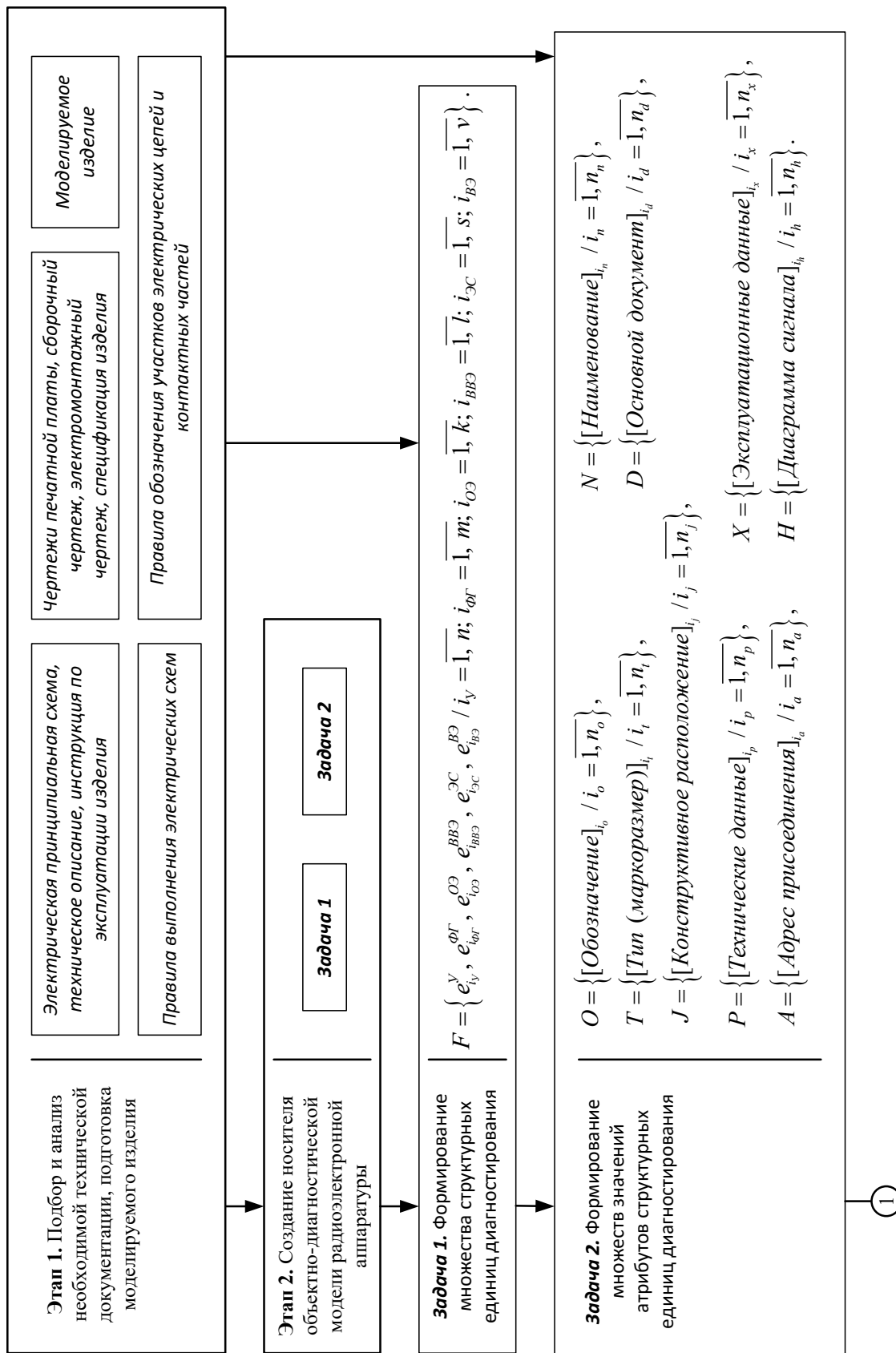


Рис. 3. Метод формализованного описания радиоэлектронной аппаратуры

Fig. 3. Method of formalized description of radio-electronic equipment

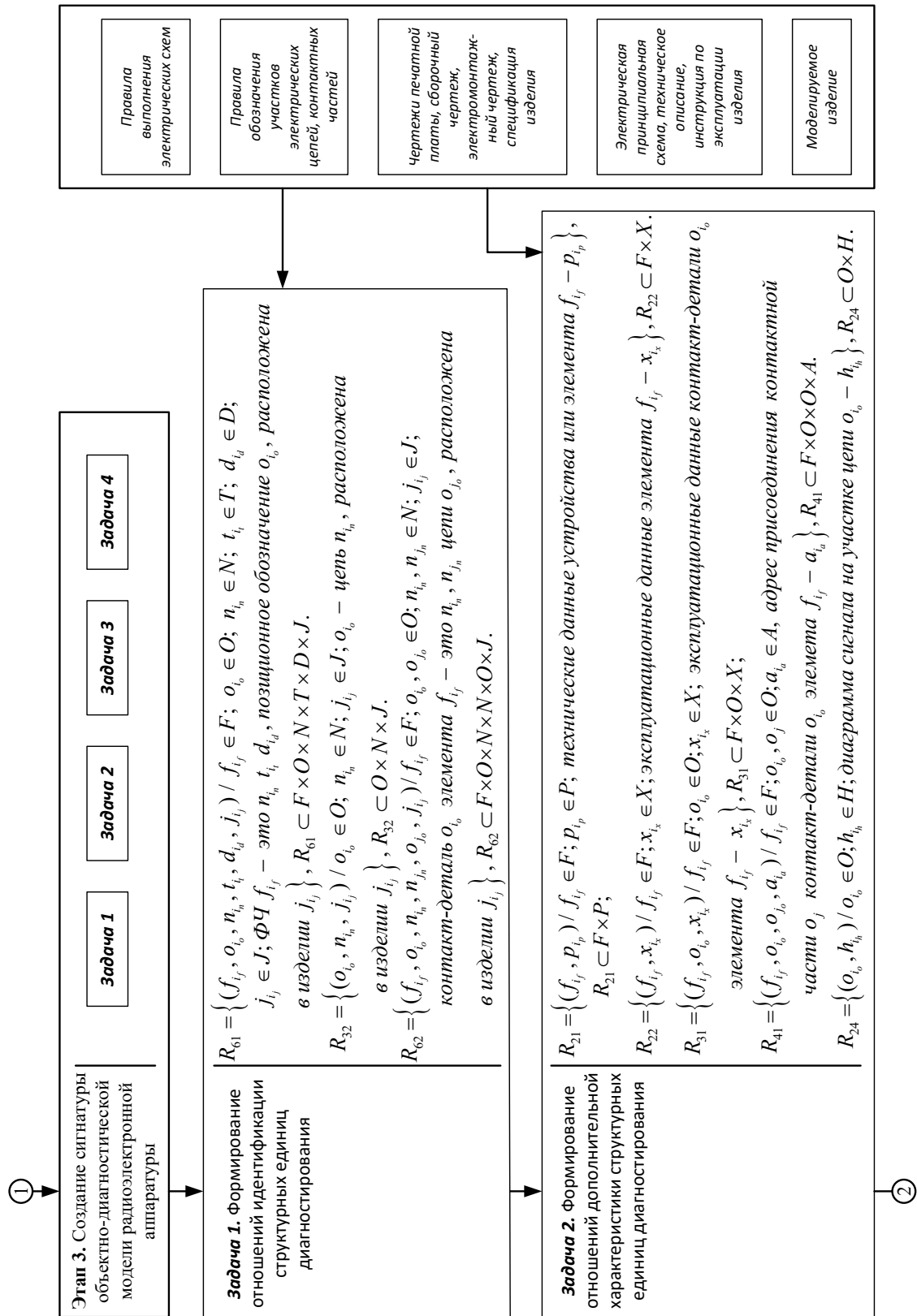


Рис. 3. Продолжение / Fig. 3. Continuation

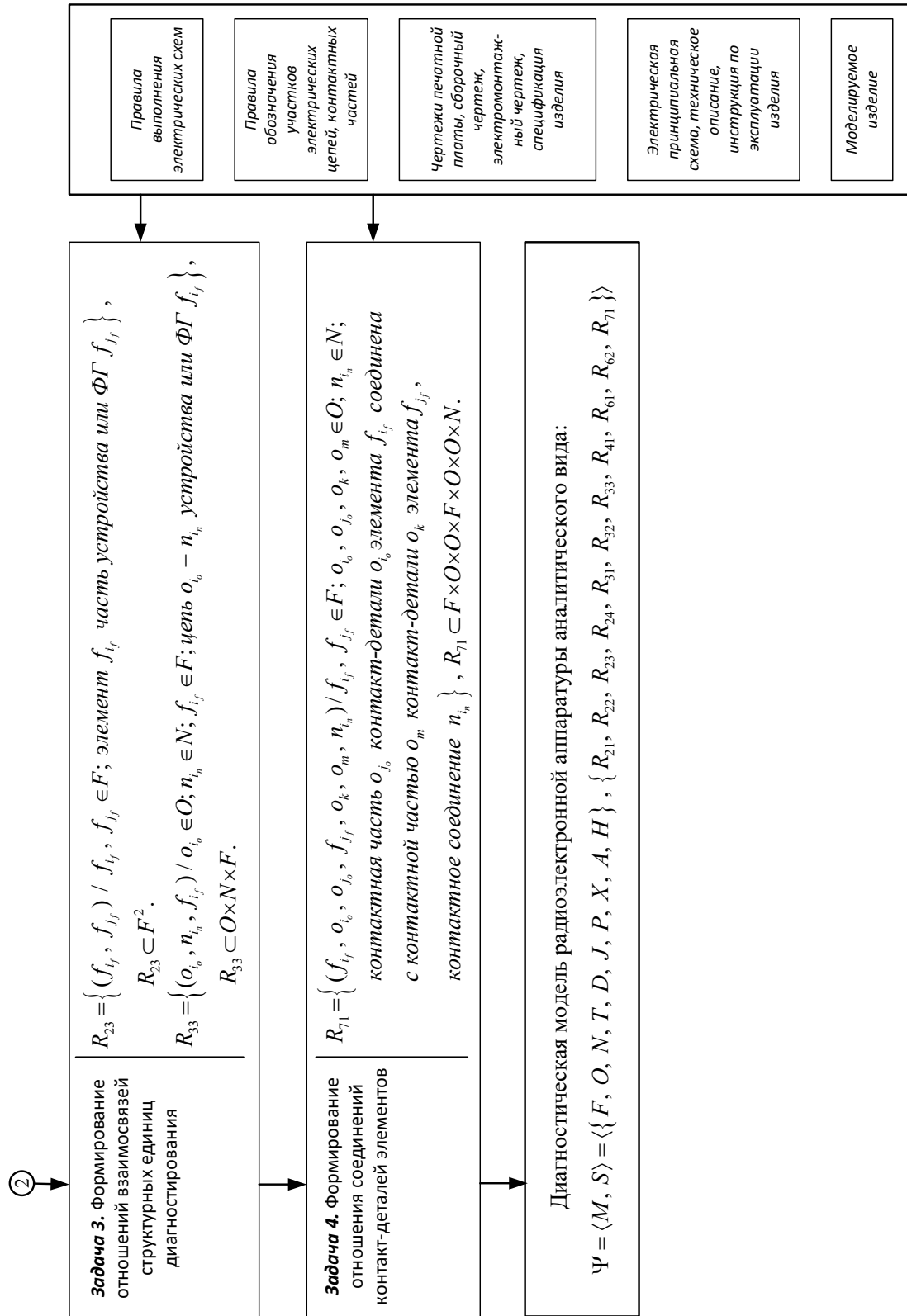


Рис. 3. Окончание / Fig. 3. End

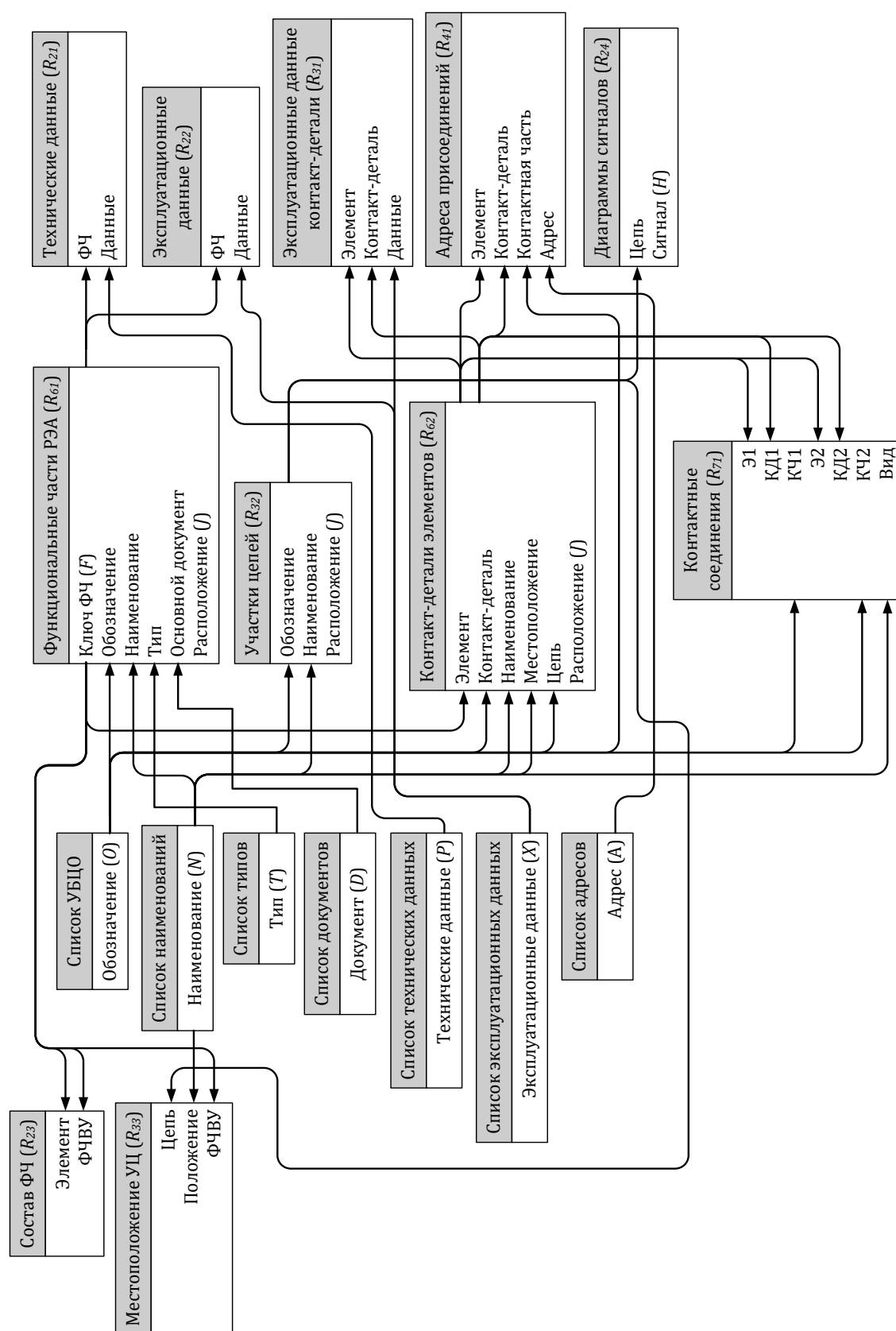


Рис. 4. Состав базы данных устройства / Fig. 4. Composition of the device database

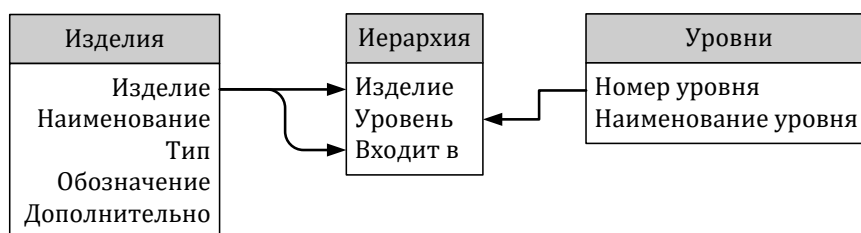


Рис. 5. Состав базы данных структурной иерархии изделия

Fig. 5. Composition of the product structural hierarchy database

Данная автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования [11] была апробирована на радиоэлектронной аппаратуре программно-аппаратного комплекса навигационной системы. В результате ее применения получены и обработаны статистические данные по времени поиска диагностической информации.

При проведении эксперимента установлено, что среднее время поиска диагностической информации в электрических схемах аппаратуры ПАК составляет 1,57 минуты, а в автоматизированной системе информационной поддержки – 0,26 минуты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенная автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов позволяет в целом существенно сократить среднее время поиска диагностической информации в процессе восстановления РЭА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панков Д. А. Способы и алгоритмы тестирования программно-аппаратных комплексов на основе имитации неисправностей: дисс. ... канд. техн. наук. 05.13.01. 153 с.
2. Будко П. А., Винограденко А. М., Меженев А. В., Чикирев А. А. Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 235–283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108
3. Галеев А. П., Майоров А. А., Семенцов С. Г., Семенов В. Т. Оценка надежности информационно-диагностического компьютерного комплекса // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2016. Т. 152. № 3. С. 39–50. EDN: XXJBRB
4. Hwang B.G., Shan M., Looi K.Y. Developing a Knowledge-based decision support system for prefabricated prefinished volumetric construction // Automation in Construction. 2018. Vol. 94. Pp. 168–178. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.06.016
5. Кузнецов О. И., Рысин А. И. Контроль работоспособности комплектующих изделий комплекса бортового радиоэлектронного оборудования вертолета // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 5. С. 19–23. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_5_19
6. Ларин В. П., Новиков А. Е., Смирнов В. А. Создание информационной поддержки системы производственного контроля // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 11-2(42). С. 52–57. DOI: 10.18454/IRJ.2015.42.109. EDN: VCTMTB
7. Нежметдинов Р. А. Программно реализованный логический контроллер – инновационный продукт для автоматизации технологического оборудования // Инновации. 2016. № 8(214). С. 99–103. EDN: YPOWPG

8. Пряничников В. Е. Искусственный интеллект и программно-аппаратные робототехнические комплексы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2018. Т. 16. № 12. С. 3–11. EDN: YWWAHR
9. Черемисин Д. Г., Мкртчян В. Р., Музлова А. Д. Программно-аппаратные комплексы в реальном времени: разработка и оптимизация // Символ науки. 2024. № 1-2. С. 51–52. EDN: IXFRAZ
10. Mikoni S. Top level diagnostic models of complex objects // International Conference System Analysis in Engineering and Control. Springer. 2021. Pp. 238–249. DOI: 10.1007/978-3-030-98832-6_21. EDN: QHJNEQ
11. Cummings M. L. Automation bias in intelligent time critical decision support systems. In book: Decision making in aviation. 2017. Pp. 289–294. DOI: 10.4324/9781315095080-17

REFERENCES

1. Pankov D.A. Methods and algorithms for testing software and hardware complexes based on fault simulation. *Dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. 05.13.01. 153 p. (In Russian)
2. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Chikirev A.A. A method and device for intelligent express monitoring of the technical condition of ground-based communications and flight radio equipment. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020. No. 1. Pp. 235–283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108. (In Russian)
3. Galeev A.P., Mayorov A.A., Sementsov S.G., Semenov V.T. et al. Assessment of the reliability of the information and diagnostic computer complex. *Questions of Electromechanics. Proceedings of VNIIEM*. 2016. Vol. 152. No. 3. Pp. 39–50. EDN: XXJBRB. (In Russian)
4. Hwang B.G., Shan M., Looi K.Y. Knowledge-based decision support system for prefabricated prefixed volumetric construction. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 94. Pp. 168–178. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.06.016
5. Kuznetsov O.I., Rysin A.I. Operational check of component parts of the helicopter avionics. *Mathematical Methods in Technology and Technics*. 2022. No. 5. Pp. 19–23. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_5_19. (In Russian)
6. Larin V.P., Novikov A.E., Smirnov V.A. Creation of information support for the production control system. *International Scientific Research Journal*. 2015. No. 11-2(42). Pp. 52–57. DOI: 10.18454/IRJ.2015.42.109. EDN: VCTMTB. (In Russian)
7. Nezhmetdinov R.A. A software–implemented logic controller is an innovative product for automation of technological equipment. *Innovation*. 2016. No. 8(214). Pp. 99–103. EDN: YPOWPG. (In Russian)
8. Pryanichnikov V.E. Artificial intelligence and software and hardware robotic complexes. *Information-Measuring and Control Systems*. 2018. Vol. 16. No. 12. Pp. 3–11. EDN: YWWAHR. (In Russian)
9. Cheremisin D.G., Mkrтчян V.R., Muzlova A.D. Software and hardware complexes in real time: development and optimization. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2024. № 1-2. Pp. 51–52. EDN: IXFRAZ. (In Russian)
10. Mikoni S. Top level diagnostic models of complex objects. *International Conference System Analysis in Engineering and Control*. 2021. Pp. 238–249. DOI:10.1007/978-3-030-98832-6_21
11. Cummings M.L. Automation bias in intelligent time critical decision support systems. In book: *Decision making in aviation*. 2017. Pp. 289–294. DOI: 10.4324/9781315095080-17

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Тихонов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономика и финансы», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Ярославский филиал);
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Кооперативная, 12а;
Dtihonov1987@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2293-6390>, SPIN-код: 4195-0317

Information about the author

Dmitry V. Tikhonov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Finance, Financial University under the Government of the Russian Federation (Yaroslavl branch);
150003, Russia, Yaroslavl, 12a Cooperative street;
Dtihonov1987@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2293-6390>, SPIN-code: 4195-0317

УДК 632.4.01/.08

Обзорная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-121-132

EDN: TIIGQM

Грибные заболевания пшеницы в России: распространение, симптомы, методы борьбы и экономический ущерб (обзор литературы)

Ф. Дукси[✉], М. Х. Валли, М. Заргар

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Аннотация. Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является основной культурой в России. Грибные болезни, такие как ржавчинные болезни, септориоз листьев, фузариоз колоса, мучнистая роса зерновых, ежегодно сильно снижают урожайность и качество зерна. Патогены могут уничтожить до 70 % урожая, что негативно сказывается на экспорте и продовольственной безопасности. Увеличение устойчивости грибов к фунгицидам и изменения климата требуют новых данных о болезнях и адаптированных мер контроля. Исследования в этой области крайне важны для создания устойчивых сортов, улучшения агротехнологий и уменьшения зависимости от химикатов. Цель исследования – провести обзор основных заболеваний пшеницы в России и потенциального их влияния на экономику и продовольственную безопасность, а также подчеркнуть важность контроля и предотвращения этих заболеваний с помощью правильного севооборота, устойчивых сортов и своевременного применения эффективных фунгицидов для обеспечения устойчивого и продуктивного сельскохозяйственного сектора. Основное внимание в статье уделяется ржавчине, септориозу, фузариозу и мучнистой росе. Результаты показывают, что грибные болезни распространены в южной части России, включая Краснодарский край, Ростовскую область, Северный Кавказ, в Поволжье и Западной Сибири. Комбинированные методики, такие как использование устойчивых сортов и севооборот, помогают снизить количество патогенов и отслеживать болезни. Наше исследование может помочь в защите пшеницы и уменьшении экономических рисков в агросекторе России.

Ключевые слова: пшеница, фитопатоген, фузариоз, желтая ржавчина зерновых, септориозная пятнистость листьев, грибок

Поступила 06.03.2025, одобрена после рецензирования 23.05.2025, принята к публикации 26.05.2025

Для цитирования. Дукси Ф., Валли М. Х., Заргар М. Грибные заболевания пшеницы в России: распространение, симптомы, методы борьбы и экономический ущерб (обзор литературы) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 121–132. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-121-132

Review article

Fungal diseases of wheat in Russia: spread, symptoms, control methods and economic damage – a review

F. Duxsi[✉], M.H. Walli, M. Zargar

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
117198, Russia, Moscow, 6 Miklukho-Maklaya street

Abstract. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a primary crop in Russia. Fungal diseases, such as rust diseases, Septoria leaf blotch, Fusarium head blight, and powdery mildew, significantly reduce grain yield and quality annually. Pathogens can destroy up to 70 % of the harvest, negatively impacting exports and food security. Increasing fungal resistance to fungicides and climate change necessitate new data on diseases and adapted control measures. Research in this field is critical for developing resistant cultivars, improving agrotechnologies, and reducing dependence on chemicals. **Aim.** The purpose of the study is to review the main wheat diseases in Russia and their potential impact on the economy and food security, as well as to emphasize the importance of controlling and preventing these diseases through proper crop rotation, resistant varieties and the timely application of effective fungicides to ensure a sustainable and productive agricultural sector. The article focuses on rust, septoria, fusarium, and powdery mildew. **Results.** Indicate that fungal diseases are widespread in southern Russia, including Krasnodar Krai, Rostov Oblast, the North Caucasus, the Volga Region, and Western Siberia. Combined methods, such as using resistant cultivars and crop rotation, help reduce pathogen levels and monitor disease spread. This study may aid in protecting wheat crops and mitigating economic risks in Russia's agricultural sector.

Keywords: wheat, phytopathogen, fusarium, yellow rust of cereals, septoria leaf spot, fungus

Submitted 06.03.2025,

approved after reviewing 23.05.2025,

accepted for publication 26.05.2025

For citation. Duksi F., Walli M.H., Zargar M. Fungal diseases of wheat in Russia: spread, symptoms, control methods and economic damage – a review. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 121–132. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-121-132

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница обыкновенная (*Triticum aestivum* L.) или хлебная – один из самых распространенных видов данной культуры. Около 95 % производимой в мире пшеницы – это мягкая пшеница, а в России она составляет 36 % всех зерновых культур. Пшеница является важной культурой в российской экономике и играет значительную роль как во внутреннем потреблении, так и в экспорте [1, с. 73–75]. В России выявлено 25 основных заболеваний пшеницы, требующих дальнейшего изучения [2, с. 164–180]. Среди наиболее распространенных грибных заболеваний ржавчинные болезни, септориозная пятнистость листьев, фузариоз колоса, мучнистая роса зерновых. Эти заболевания являются основным фактором, ограничивающим урожайность и качество пшеницы, и могут оказать значительное экономическое влияние на ее производство в России [3, с. 252]. Грибные заболевания снижают не только урожайность пшеницы, но и качество зерна, делая его менее товарным и ценным, это может привести к уменьшению прибыли фермеров и повлиять на продовольственную безопасность [4, с. 369–369].

Цель нашего исследования – провести обзор основных заболеваний пшеницы в России и их потенциального влияния на экономику и продовольственную безопасность, а также подчеркнуть важность контроля и предотвращения этих заболеваний с помощью правильного севооборота, устойчивых сортов и своевременного применения эффективных фунгицидов для обеспечения устойчивого и продуктивного сельскохозяйственного сектора. Основное внимание в статье уделяется мучнистой росе, ржавчине, септориозу и фузариозу.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ржавчинные болезни – общее название для группы заболеваний, вызываемых различными видами грибных семейств Пукциниевые. Они способны поражать множество культурных и дикорастущих растений, причиняя им серьезный ущерб. Из них поражают пшеницу стеблевая ржавчина пшеницы, бурая (листовая) ржавчина, желтая ржавчина зерновых.

- **Стеблевая ржавчина пшеницы** (*Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*. pers. (1794))

География распространения. Стеблевая ржавчина поражает культуры в следующих регионах: Северный Кавказ, Краснодарский край, Ставропольский край, Ростовская область, а также Воронежская и Белгородская области [5, с. 43–45]. В 2022–2023 гг. была обнаружена в Краснодарском крае (данные Россельхознадзора, 2024)¹.

Симптомы. На стеблях, листьях и колосьях можно увидеть ярко-оранжевые или ржаво-красные пустулы. Пострадавшие ткани усыхают, стебли ломаются, а зерно становится мелким (рис. 1).

Жизненный цикл. Окончательный хозяин – пшеница, а промежуточный хозяин – барбарис (*Berberis* spp. L.), где гриб проходит половую стадию и образует новые штаммы. Споры переносятся ветром на большие расстояния, что помогает им быстро распространяться.

Меры борьбы. Для борьбы с болезнью применяют агротехнические и химические методы. К ним относятся уничтожение барбариса вблизи полей, глубокая вспашка для заделки остатков растений и соблюдение севооборота. Также используют фунгициды на основе триазолов и стробилуринов, [6, с. 143–148], а также сорта с генами Sr31, Sr38, Sr50, которые обеспечивают устойчивость, такие как Гром, Таня, Августа, адаптированные для южных регионов [7, с. 1073–1101].

Экономический ущерб. Это заболевание одно из самых опасных для пшеницы, так как может вызвать потери урожая до 70 % во время массовых эпифитотий [5, с. 43–45].



Рис. 1. Симптомы проявления стеблевой ржавчины пшеницы
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Fig. 1. Symptoms of wheat stem rust
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

• **Бурая (листовая) ржавчина (*Puccinia triticina*, Erikss (1899)).** Это одно из самых частых заболеваний пшеницы в России, и оно представляет серьезную проблему для фермеров. Этот возбудитель болезни поражает пшеницу и некоторые другие злаки.

География распространения. Встречается в южных регионах, таких как Северный Кавказ, Краснодарский край и Ростовская область. В Центральной России и Поволжье бывают вспышки в дождливое лето [8, с. 789–800]. В 2023 году в Краснодарском и Ростовском

¹Россельхознадзор. Отчеты по фитосанитарному мониторингу зерновых культур (2023–2024 гг.). <https://fsvps.gov.ru/news/itogi-2024-vnutrennij-fitosanitarnyj-kontrol-monitoring-fitosanitarnogo-sostojaniya-territorii-rossii-i-vydacha-karantinnyh-sertifikatov/>

регионах появились новые более агрессивные штаммы *Puccinia triticina* (данные Россельхознадзора, 2024)².

Симптомы. Заболевание проявляется на верхней стороне листьев в виде маленьких оранжево-коричневых пятнышек, которые затем могут превратиться в темные зерна. С течением времени листья желтеют и отмирают (рис. 2). [8, с. 789–800].

Жизненный цикл. У этого гриба простой жизненный цикл: зимой он сохраняется в виде спор на дикорастущих растениях (естественным хозяином является василистник (*Thalictrum* spp. Tournef. ex L., 1753)) или на озимых посевах культурных растений. Весной споры начинают прорастать и заражают молодые растения пшеницы.

Меры борьбы. Что касается борьбы с заболеванием, то к агротехническим мерам относятся: уничтожение растительных остатков после сбора урожая и соблюдение севооборота, чтобы избежать повторных посевов пшеницы. Рекомендуются также ранний посев яровой пшеницы, чтобы избежать пика инфекции. Из химических средств применяют обработку фунгицидами на стадии колошения, такими как триазолы [6, с. 143–148]. Для борьбы с устойчивостью грибов полезно комбинировать их с другими препаратами. Также есть сорта пшеницы с генами устойчивости: Московская 39 и Губернатор Дона, которые создают в селекционных программах [9, с. 163–168].

Экономический ущерб. Заболевание может серьезно повредить урожай, снижая фотосинтез и валовой сбор зерен на 30–50 % [4, с. 369].

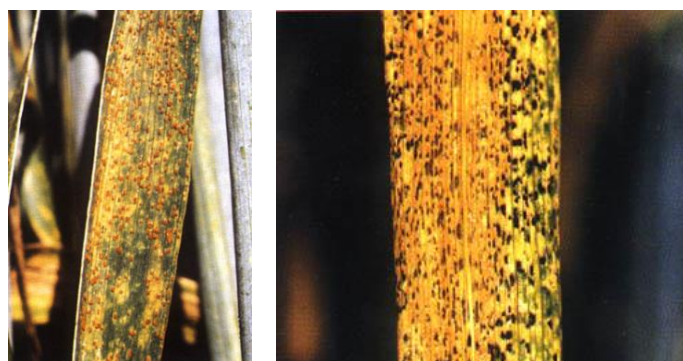


Рис. 2. Симптомы проявления бурой (листовой) ржавчины (FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Fig. 2. Symptoms of brown (leaf) rust (FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

• **Желтая ржавчина зерновых (*Puccinia glumarum* Westend., (1854)).** На более чем 80 % сортов пшеницы в мире можно обнаружить признаки этого заболевания [10, с. 528–533].

География распространения. В основном на юге России (Краснодарский край, Ставрополье, Ростовская область), а также в Сибири, включая Алтайский край и Новосибирскую область. Также есть случаи обнаружения и в центральных регионах, таких как Московская и Воронежская области [4, с. 369–369].

Симптомы. Гриб вызывает образование желтых полос на листьях, что мешает фотосинтезу растений. Он может поразить листья и чешую в любое время, особенно при плохих условиях. Один из заметных признаков ржавчины – это линейное расположение пустул на листьях в середине периода. Позже они становятся черными телиоспорами [11, с. 37–51].

²Россельхознадзор. Отчеты по фитосанитарному мониторингу зерновых культур (2023–2024 гг.). <https://fsvps.gov.ru/news/itogi-2024-vnutrennij-fitosanitarnyj-kontrol-monitoring-fitosanitarnogo-sostojaniya-territorii-rossii-i-vydacha-karantinnyh-sertifikatov/>

Жизненный цикл. Гриб зимует в виде мицелия или споров на оставшихся растениях. Весной споры разносятся ветром на большие расстояния, что приводит к новым инфекциям. В благоприятных условиях развитие проходит за 7–10 дней (рис. 3) [12, с. 1–13].

Методы борьбы. Агротехнические меры – севооборот с невосприимчивыми культурами (например, бобовыми, кукурузой), уничтожение остатков растений и злаковых сорняков, оптимальные сроки посева (избегать слишком раннего посева озимой пшеницы). Химическая защита: использование фунгицидов на основе триазолов (например, тебуконазол) и стробилюринов (например, азоксистробин). Важно чередовать препараты для предотвращения устойчивости [13, с. 72–86]. В России используют сорта пшеницы с генами устойчивости, похожие на Yr9 и Yr17, среди них Гром, Августа и Таня, которые подходят для южных регионов. Для мониторинга и прогнозирования вспышек используют спутниковые данные и метеомодели, а также программы Россельхознадзора для выявления очагов инфекции [9, с. 163–168].

Экономический ущерб. В годы эпифитотий потери урожая могут составлять 30–50 %. Качество зерна снижается, пораженные растения дают мелкие зерна с низким содержанием клейковины.

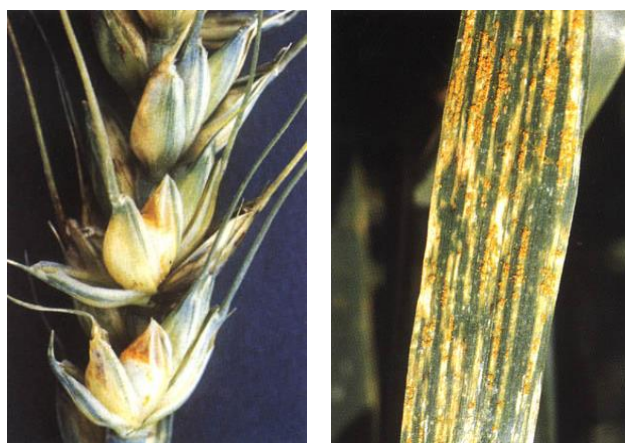


Рис. 3. Симптомы проявления желтой ржавчины зерновых (FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Fig. 3. Symptoms of yellow rust of cereals (FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Септориозная пятнистость листьев. Септориоз проявляется в виде комплекса пятнистости листьев и чешуек колоса и может снижать как урожайность, так и качество зерна (уменьшаются размер семян и натурная масса).

• Септориоз озимой пшеницы (*Zymoseptoria tritici* (Roberge ex Desm.) Quaedvl. & Crous (2011)).

География распространения. Наиболее подвержены риску южные регионы России, включая Краснодарский край и Ростовскую область, Северный Кавказ, а также Центрально-Черноземный регион, Поволжье и Западная Сибирь [14, с. 104–108].

Симптомы. Этот фитопатоген вызывает появление темных пятен на листьях, что мешает растению усваивать солнечный свет и питательные вещества.

Жизненный цикл.

1. Бесполое размножение (пикнидиальная стадия). Внутри пятен формируются пикниды, при высокой влажности пикноспоры вымываются дождем и переносятся на верхние листья и соседние растения.

2. Половое размножение (телеоморфная стадия). В конце сезона на растительных остатках образуются псевдотеиции – половые структуры, которые производят аскоспоры. Аскоспоры разносятся ветром на большие расстояния, что способствует генетическому разнообразию патогена (рис. 4) [15, с. 99–103].

Методы борьбы. Соблюдение правильных методов может смягчить последствия септориоза и обеспечить получение хорошего урожая.

Агротехнические меры:

- севооборот: чередование с незерновыми культурами (например, рапсом или бобовыми);
- уничтожение растительных остатков: глубокая вспашка помогает заделать инфицированную солому;
- использование устойчивых сортов: например, некоторые сорта пшеницы (Степь, Таня, Гром), рекомендованные для Юга России, обладают частичной устойчивостью.

Химическая защита: обработка в ключевые фазы, такие как фаза кущения и фаза флага-листа. Используемые препараты включают триазолы, например, тебуконазол (Фоликур) и пропиконазол (Альто Супер), а также стробилурины, например, азоксистробин (Амистар Экстра) и комбинированные фунгициды, такие как Спирит® и Абакус® [16, с. 55–62].

Экономический ущерб. Септориоз листьев может привести к значительным потерям урожая и снижению качества зерна. Потери могут составлять 20–40 % урожая.

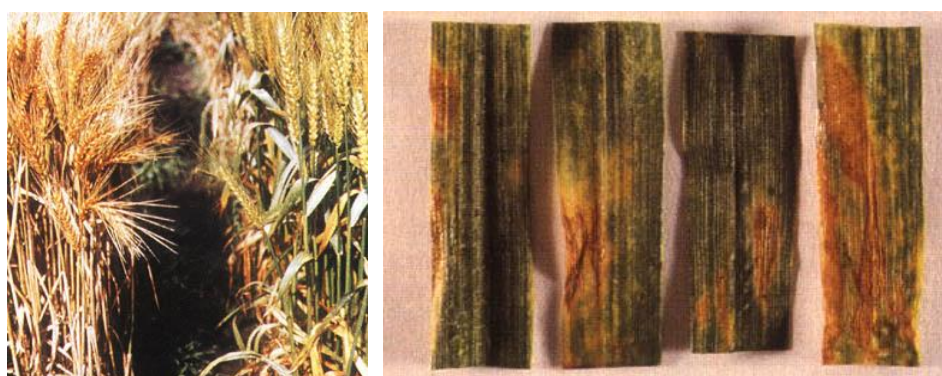


Рис. 4. Симптомы проявления септориоза озимой пшеницы
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Fig. 4. Symptoms of septoria leaf spot in winter wheat
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

• **Септориоз листьев пшеницы (*Parastagonospora nodorum* (E.Müll.) Hedjar (1969)).**

География распространения. Часто происходит в больших зерновых районах России, таких как Северный Кавказ, Краснодарский край, Ростовская область, Центрально-Черноземный регион (Воронежская, Курская, Белгородская области).

Симптомы. Гриб поражает пшеницу, режу ячмень и рожь. Проявляется в виде светло-коричневых пятен с темным краем и черными пикнидами. На колосьях образуются коричневые пятна на чешуйках, а затем распространяются на зерно с коричневыми пятнами (рис. 5). [17, с. 906–922].

Жизненный цикл. Зимой микробы могут сохраняться в спорах на остатках растений – соломе и щетине, а иногда и на пораженных семенах. Конидии разносятся ветром и каплями дождя (или росы) и заражают молодые растения. Прорастание конидий происходит через устьица или непосредственно через кутикулу. Новые пятна появляются через 7–14 дней после заражения.

Меры борьбы. Выбор устойчивых сортов, таких как Московская 40 и Ермак. Для химической защиты в период колошения применяют фунгициды, например, триазолы (тебуконазол) и стробилурины (азоксистробин), семена обрабатывают препаратами на основе карбендазима. Что касается агрономии, важен севооборот с незлаковыми культурами, а также уничтожение растительных остатков и глубокая вспашка. Неплохая идея – оптимизировать сроки посева, чтобы снизить риск заражения. Для мониторинга используются спутниковые снимки и отчеты фермеров, чтобы раньше заметить очаги [17, с. 906–922; 18, с. 177–190].

Экономический ущерб. При сильном заражении потери урожая составляют 20–40 %.



Рис. 5. Симптомы септориоза листьев пшеницы
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Fig. 5. Symptoms of septoria leaf spot of wheat
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

• **Фузариоз колоса (*Fusarium* spp. Link (1809)).**

Вызываемое различными видами грибов из рода *Fusarium* (чаще *F. graminearum* (Schwein.) Petch, (1936), *F. culmorum* (Wm.G.Sm.) Sacc. (1892), *F. avenaceum* R.J. Cook (1967)) опасное грибковое заболевание зерновых культур (пшеница, ячмень, рожь) [19, с. 183–191].

География распространения. Южные и Центральные области (Краснодарский край, Ростовская область, Ставрополье, Поволжье).

Симптомы. Это заболевание поражает **колоски**, вызывая их сморщивание и обесцвечивание. Некоторые колоски или части колоса могут стать розовыми, оранжевыми или кирпично-красными, особенно в сырую погоду. Пораженные зерна выглядят щуплыми и морщинистыми, иногда на них заметен бело-розовый мицелий. На зернах могут появляться оранжевые споры. На стеблях и листьях у основания стебля появляются темные пятна. Растения начинают сохнуть и слишком рано теряют свежесть (рис. 6).

Жизненный цикл. Инфекция сохраняется в виде мицелия, хламидоспор или конидий в почве, растительных остатках и семенах. В почве может сохраняться до 3–5 лет. Первичное заражение – инфекция активируется при температуре от +15 до +30°C и высокой влажности, например, во время дождей или туманов. Споры попадают на колос во время цветения через рыльца или повреждения от насекомых и механических травм [20, с. 69–78].

Методы борьбы. Хорошо чередовать культуры и выбирать устойчивые сорта пшеницы, такие как Гром или Ермак. Севооборот: необходимо избегать зерновых предшественников и

проводить глубокую вспашку, чтобы убрать зараженные остатки. Для химической защиты важно во время цветения обрабатывать растения фунгицидами, такими как тебуконазол или прохлораз. В биологической борьбе подойдут антагонистические штаммы *Trichoderma* Pers. (1801). Также следует следить за ситуацией с помощью метеомоделей, например, системы «ФитоГрин», чтобы заранее понимать, как развивается болезнь [21, с. 71–76].

Экономический ущерб. Фузариоз колоса – лишь одно из многих заболеваний, которое может оказать существенное влияние на урожайность и качество пшеницы. В неблагоприятные годы потери урожая могут составлять 10–15 %. Кроме того, качество зерна часто ухудшается – оно становится легче и теряет свои свойства. Зараженное зерно может содержать токсины, такие как дезоксиниваленол и зеараленон, которые опасны для людей и животных [22, с. 17–21].



Рис. 6. Симптомы проявления фузариоза колоса
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

Fig. 6. Symptoms of fusarium head blight
(FAO. Wheat: Post-harvest Operations)

• **Мучнистая роса зерновых (*Blumeria graminis* (DC.) Speer (1975)).**

Регионы распространения. Больше всего страдают районы с умеренным климатом и высокой влажностью – Северный Кавказ, Центрально-Черноземная зона и южные области, например, Ростовская область и Краснодарский край [23, с. 1239–1252].

Симптомы. На листьях, стеблях и колосьях виден белый или серый налет. Также растения могут желтеть и высыхать, а их рост замедляется, что влияет на качество зерна (рис. 7).

Методы борьбы. Для выращивания качественной пшеницы нужно соблюдать основные правила: нельзя сажать после других злаковых, лучше выбирать стойкие сорта, например, Гром или Августа. Также важно правильно дозировать азотные удобрения. Для химической защиты можно использовать фунгициды на основе тебуконазола, азоксистробина или пропиконазола, такие как «Тилт» или «Амистар». Опрыскивать нужно на стадии кушения или флагового листа. Можно также использовать биологические препараты на основе *Bacillus subtilis* (Ehrenberg 1835) или *Pseudomonas* spp (Schröter 1872) [24, с. 170–176].

Экономический ущерб. Потери урожая могут составлять от 10 до 30 % в зависимости от того, когда произошло заражение.

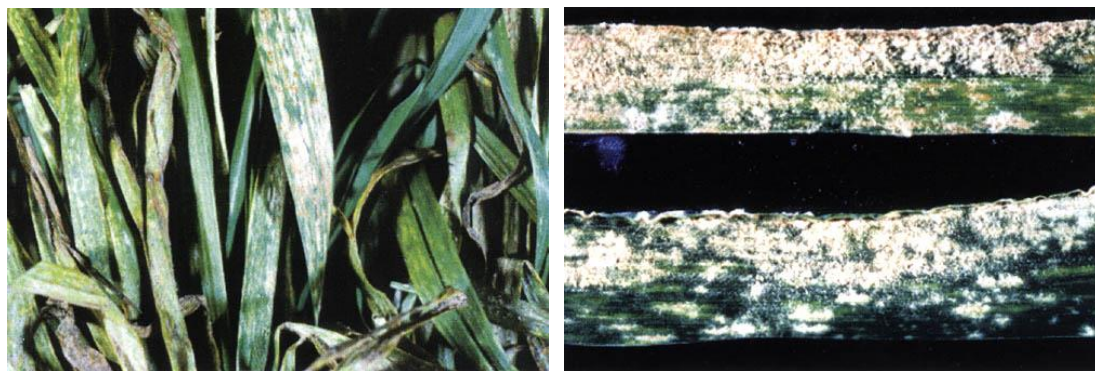


Рис. 7. Симптомы проявления мучнистой росы зерновых
(FAO. *Wheat: Post-harvest Operations*)

Fig. 7. Symptoms of powdery mildew of cereals
(FAO. *Wheat: Post-harvest Operations*)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продолжение исследований грибных заболеваний пшеницы имеет решающее значение для разработки эффективных стратегий профилактики и контроля. Потеря доходов в сельскохозяйственном секторе также может произойти в результате снижения урожайности и более низкого качества пшеницы из-за грибных заболеваний. В свою очередь это может повлиять на продовольственную безопасность в регионе и иметь более широкие экономические последствия. Важно использовать проактивный подход к борьбе с грибными заболеваниями пшеницы. Стратегии смягчения экономического воздействия грибных заболеваний на производство пшеницы включают внедрение севооборота, использование устойчивых сортов и применение надлежащих агротехнических практик. Севооборот может помочь прервать циклы болезней и снизить давление патогенов в почве. Посев устойчивых сортов ограничивает распространение и вредоносность грибных заболеваний пшеницы, в то время как применение надлежащих агротехнических приемов, таких как орошение и удобрение, поможет повысить устойчивость растений. Внедрение этих стратегий позволяет минимизировать экономическое воздействие грибных заболеваний на производство пшеницы и обеспечить более устойчивое будущее для сельского хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Liefert W.M., Liefert O. Russian agriculture during transition: performance, global impact, and outlook. *Applied Economic Perspectives and Policy*. 2012. Vol. 34. No. 1. Pp. 37–75. DOI: 10.1093/AEPP/PPR046
2. Ганнибал Ф. Б., Гагкаева Т. Ю., Гомжина М. М. и др. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России // *Plant Protection News*. 2022. Т. 105. № 4. С. 164–180. DOI: 10.31993/2308-6459-2022-105-4-15508
- Gannibal F.B., Gagkaeva T.Yu., Gomzhina M.M. et al. Wheat-associated micromycetes and their significance as disease-causing agents in Russia. *Plant Protection News*. 2022. Vol. 105. No. 4. Pp. 164–180. DOI: 10.31993/2308-6459-2022-105-4-15508. (In Russian)
3. Gagkaeva T., Gavrilova O., Orina A. et al. Analysis of toxigenic fusarium species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia. *Toxins*. 2019. Vol. 11. No. 5. P. 252. DOI: 10.3390/toxins11050252

4. Hovmøller M.S., Walter S., Justesen A.F. Escalating threat of wheat rusts. *Science*. 2010. Vol. 329. No. 5990. P. 369. DOI: 10.1126/science.1194925

5. Волкова Г. В., Кудинова О. А., Мирошниченко О. О. Распространение стеблевой ржавчины на Северном Кавказе и иммунологическая характеристика ряда сортов озимой пшеницы к патогену // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 43–45. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11111

Volkova G.V., Kudinova O.A., Miroshnichenko O.O. Spread of stem rust in the North Caucasus and immunological characteristic of some winter wheat varieties with respect to the pathogen. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2018. Vol. 32. No. 11. Pp. 43–45. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11111. (In Russian)

6. Oliver R.P. Fungicide resistance in wheat pathogens. *Pest Management Science*. 2014. Vol. 70. No. 2. Pp. 143–148.

7. McIntosh R.A., Wellings R.F., Park R.F. Wheat rust resistance genes. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. Vol. 131. No. 5. Pp. 1073–1101. DOI: 10.1071/9780643101463

8. Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Kazartsev I.A., Kosman E. Race characterization and molecular genotyping of *Puccinia triticina* populations from durum wheat in Russia. *Plant Disease*. 2021. Vol. 70. No. 4. Pp. 789–800. DOI: 10.1094/PDIS-09-20-1927-RE

9. Агапова В. Д., Ваганова О. Ф., Волкова Г. В. Эффективность ювенильных генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины озимой пшеницы в фазу проростков в условиях юга России // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 8-1(98). С. 163–168. DOI: 10.23670/IRJ.2020.98.8.023

Agapova V.D., Vaganova O.F., Volkova G.V. The efficiency of juvenile genes of orange leaf rust resistance of winter wheat during the germinal phase in the climate of the Russian South. *International Research Journal*. 2020. No. 8-1(98). Pp. 163–168. DOI: 10.23670/IRJ.2020.98.8.023. (In Russian)

10. Singh R., Mahmoudpour A., Rajkumar M., Narayana R. A review on stripe rust of wheat, its spread, identification and management at field level. *Research on Crops*. 2017. Vol. 18. No. 3. Pp. 528–533. DOI: 10.5958/2348-7542.2017.00091.2

11. Zeng Q., Zhao J., Wu J. et al. Wheat stripe rust and integration of sustainable control strategies in China. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2022. Vol. 9. No. 1. Pp. 37–51. DOI: 10.15302/j-fase-2021405

12. Wellings C.R. Global Status of Stripe Rust. *CAB Reviews*. 2011. Vol. 6. No. 29. Pp. 1–13.

13. Singh J., Chhabra B., Raza A. et al. Important wheat diseases in the US and their management in the XXIst century. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. Pp. 72–86.

14. Кононенко О. С., Шишкин Н. В., Дерова Т. Г. Септориоз озимой пшеницы (*Zymoseptoria tritici*) (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6. С. 104–108. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-104-108

Kononenko O.S., Shishkin N.V., Derova T.G. Winter wheat septoria blotch (*Zymoseptoria Tritici*) (literature review). *Grain Economy of Russia*. 2021. No. 6. Pp. 104–108. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-104-108. (In Russian)

15. Пахолкова Е. В., Сальникова Н. Н. Частота встречаемости потенциально опасных рас в региональных популяциях *Zymoseptoria tritici* на посевах пшеницы // Аграрная наука. 2019. № S1. С. 99–103. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-99-103

Pakholkova E.V., Salnikova N.N. The frequency of potentially dangerous races of *zymoseptoria tritici* on wheat in the regional populations. *Agrarian Science*. 2019. No. S1. Pp. 99–103. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-99-103. (In Russian)

16. Svarta A., Bimsteine G. Winter wheat leaf diseases and several steps included in their integrated control: A review. *Research for Rural Development*. 2019. Vol. 25. No. 2. Pp. 55–62. DOI: 10.22616/rrd.25.2019.049.

17. Downie R.C., Lin M., Corsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R.P., Phan T.T., Tan K.H., Cockram J. Septoria nodorum blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment. *Phytopathology*. 2021. Vol. 111. No. 6. Pp. 906–920. DOI: 10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW

18. Зеленева Ю. В., Афанасенко О. С., Судникова В. П. Влияние агроклиматических условий, жизненной формы и вида хозяина на видовой комплекс возбудителей септориоза пшеницы // Поволжский экологический журнал. 2020. № 2. С. 177–190. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-2-177-190

Zeleneva Yu.V., Afanasenko O.S., Sudnikova V.P. Influence of agroclimatic conditions, life form and host species on the species complex of wheat septoria pathogens. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2020. No. 2. Pp. 177–190. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-2-177-190. (In Russian)

19. Kiseleva M.I., Ovsyankina A.V., Kolomiets T.M. et al. Some aspects of the distribution of Fusarium on cereals of Russia. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 2016. Vol. 51. No. 2. Pp. 183–191. DOI: 10.1556/038.51.2016.2.3

20. Xu X.M., Nicholson P., Thomsett M.A. et al. Relationship between the fungal complex causing Fusarium head blight of wheat and environmental conditions. *Phytopathology*. 2008. Vol. 98. No. 1. Pp. 69–78. DOI: 10.1094/PHYTO-98-1-0069

21. Dill-Macky R., Jones R.K. The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Plant Disease*. 2000. Vol. 84. No. 1. Pp. 71–76. DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.1.71

22. Windels C.E. Economic and social impacts of Fusarium head blight: changing farms and rural communities in the Northern Great Plains. *Phytopathology*. 2000. Vol. 90. No. 1. Pp. 17–21. DOI: 10.1094/PHYTO.2000.90.1.17

23. Zhang L., Yang B. Y., Li S., Guo A.H. Disease–weather relationships for wheat powdery mildew under climate change in China. *The Journal of Agricultural Science*. 2017. Vol. 155. No. 8. Pp. 1239–1252. DOI: 10.1017/S0021859617000442

24. Лебедева Т. В., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Перспективность использования современных европейских сортов яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к мучнистой росе в Северо-Западном регионе РФ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 4. С. 170–176. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-170-176

Lebedeva T.V., Zuev E.V., Brykova A.N. Prospects of employing modern european cultivars of spring bread wheat in the breeding for powdery mildew resistance in the northwestern region of Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019. Vol. 180. No. 4. Pp. 170–176. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-170-176. (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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Дукси Фатима, аспирант аграрного факультета, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы;

117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;

duxi.rudn@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7353-7816>

Валли Малик Хибайш, аспирант аграрного факультета, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы;

117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4884-6481>

Заргар Мейсан, д-р с.-х. наук, профессор аграрного факультета, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы;

117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5208-0861>

Information about the authors

Fatima Duxi, Graduate student, Faculty of Agriculture, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;

117198, Russia, Moscow, 6 Miklukho-Maklaya street;

duxi.rudn@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7353-7816>

Malek H. Walli, Graduate student, Faculty of Agriculture, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;

117198, Russia, Moscow, 6 Miklukho-Maklaya street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4884-6481>

Meisam Zargar, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Agrarian Faculty, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba;

117198, Russia, Moscow, 6 Miklukho-Maklaya street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5208-0861>

УДК 630*160.2

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-133-142

EDN: UMUCXX

Потери лесного покрова в Республике Бурятия: причины и перспективы

М. А. Новикова^{✉1}, Р. М. Бобровская², М. Р. Вагизов^{1,3}, С. В. Навалихин¹

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова
194021, Россия, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

²ООО «Авто Миракл Рус»

121471, Россия, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Очаково-Матвеевское, ул. Рябиновая, 55, стр. 3

³Российский государственный гидрометеорологический университет

192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79

Аннотация. В мировом сообществе растет понимание необходимости сохранения и восстановления лесных массивов. На долю России приходится пятая часть всего мирового лесного фонда. Цель исследования – обзор информации по лесовосстановлению в Республике Бурятия, а также анализ и интерпретация полученных данных на основе различных материалов и выработка научно обоснованных решений по улучшению ситуации. В качестве объекта исследования выбран один из регионов России – Республика Бурятия. Леса в Бурятии занимают практически 83 % и являются основной лесосырьевой базой для удовлетворения потребности в древесине. Но сейчас запасы истощаются, особенно спелой древесины, кроме прибрежной защитной зоны озера Байкал. В качестве методов исследования использовались дешифрирование, анализ материалов ДЗЗ, использовались открытые Web-картографические сервисы и данные. На территории Республики Бурятия наибольшее количество пожаров происходит по вине человека.

Ключевые слова: Республика Бурятия, лесовосстановление, вырубка, дистанционное зондирование Земли, лесные экосистемы, защита растений

Поступила 01.04.2025, одобрена после рецензирования 28.04.2025, принята к публикации 07.05.2025

Для цитирования. Новикова М. А., Бобровская Р. М., Вагизов М. Р., Навалихин С. В. Потери лесного покрова в Республике Бурятия: причины и перспективы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 133–142. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-133-142

Original article

Reforestation processes in the Republic of Buryatia: trends and prospects

M.A. Novikova^{✉1}, R.M. Bobrovskaya², M.R. Vagizov^{1,3}, S.V. Navalikhin¹

¹St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov
194021, Russia, St. Petersburg, 5 Institutsky lane

²Avto Miracle Rus LLC

121471, Russia, Moscow, int. ter. of the city Ochakovo-Matveevskoye municipal district, 55, build. 3 Ryabinovaya street

³Russian State Hydrometeorological University

192007, Russia, St. Petersburg, 79 Voronezhskaya street

Abstract. There is a growing awareness in the global community of the need to conserve and restore forests. Russia accounts for one-fifth of the world's total forest fund. Thus, the purpose of the study is to review information on reforestation in the Republic of Buryatia, as well as to analyze and interpret the data obtained. One of the regions of Russia, the Republic of Buryatia, was chosen as the object of research. Forests in Buryatia occupy almost 83% and are the main raw material base for meeting the demand for timber. But now the timber stocks are being depleted, especially of mature timber, except for the coastal protection zone of Lake Baikal. The research methods used were remote sensing imagery interpretation and analysis, Web Map Service (WMS) and Global Forest data Watch, Global Forest Change, Google Earth Pro. The largest number of fires in Buryatia are caused by human fault.

Keywords: Republic of Buryatia, reforestation, logging, Earth remote sensing, forest ecosystems, forest protection

Submitted 01.04.2025,

approved after reviewing 28.04.2025,

accepted for publication 07.05.2025

For citation. Novikova M.A., Bobrovskaya R.M., Vagizov M.R., Navalikhin S.V. Reforestation processes in the Republic of Buryatia: trends and prospects. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 133–142. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-133-142

ВВЕДЕНИЕ

В мировом сообществе растёт понимание необходимости сохранения и восстановления лесных массивов. Сейчас в России превалирует экстенсивный путь управления лесными ресурсами или «сырьевой», когда лес расценивается как невосполнимый ресурс, а предприятия проходят все большие расстояния в поисках хороших лесных участков [1]. На долю России приходится пятая часть всего мирового лесного фонда.

Лидером среди субъектов России по лесовосстановлению в 2023 году стала Иркутская область, где показатель лесовосстановления составил порядка 10 тыс. га. Вторую строчку занял Красноярский край, где были созданы лесные культуры на площади 10,7 тыс. га, тройку лидеров замкнула Тверская область – работы провели на 10 тыс. га. В десятку также вошли Вологодская и Ленинградская области, Карелия, Башкирия, Хабаровский край, Свердловская область и Удмуртия [2]. В Республике Бурятия объём лесокультурных работ составил 4,1 тыс. га¹.

В качестве объекта исследования выбран один из регионов России – Республика Бурятия. Республика Бурятия – это лесной регион, где леса занимают практически 83 % и являются основной лесосырьевой базой для удовлетворения потребности в древесине (87 % лесозаготовок). Но сейчас запасы истощаются, особенно спелой древесины, кроме прибрежной защитной зоны озера Байкал².

Общая площадь земель лесного фонда Республики Бурятия, по данным государственного лесного реестра на 01.01.2021 года, составляет 27045,3 тыс. га, или 72 % от всего земельного фонда республики³. Леса Бурятии уникальны своим разнообразием: хвойные породы составляют 75,5 %, кустарники – 15,8 %, мягколиственные породы – 8,7 % [3]. Площадь лесных экосистем занимает 29192,6 тыс. га, что составляет 83 % от всей ее территории. Общий запас древесины составляет 2243,8 млн м³. В северных районах (Баун-

¹<https://egov-buryatia.ru/ralh/>

²Лесное хозяйство Бурятии // Образовательный портал «Справочник». Дата последнего обновления статьи: 18.04.2024. URL: https://spravochnick.ru/ekonomika/lesnoe_hozyaystvo_kak_otrasl_ekonomiki/lesnoe_hozyaystvo_buryatii/ (Дата обращения: 09.03.2025).

³Лесохозяйственный регламент прибайкальского лесничества. URL: <https://docs.cntd.ru/document/446687427> (Дата обращения 06.03.2025)

товский, Еравнинский, Муйский и Северо-Байкальский) на земли лесного фонда приходится до 90 % территории⁴.

Особенно остро в последние годы и в связи с климатическими изменениями возникает вопрос защиты растений от лесных пожаров и создания эффективной системы предупреждения и мониторинга ликвидации лесных пожаров.

По данным министерства, за 10 лет в России 60 % лесов погибло от пожаров, особенно остро проблема лесных пожаров стоит в Иркутской и Амурской областях, Забайкальском, Красноярском, Приморском и Хабаровском краях, Бурятии, Якутии и Тыве⁵.

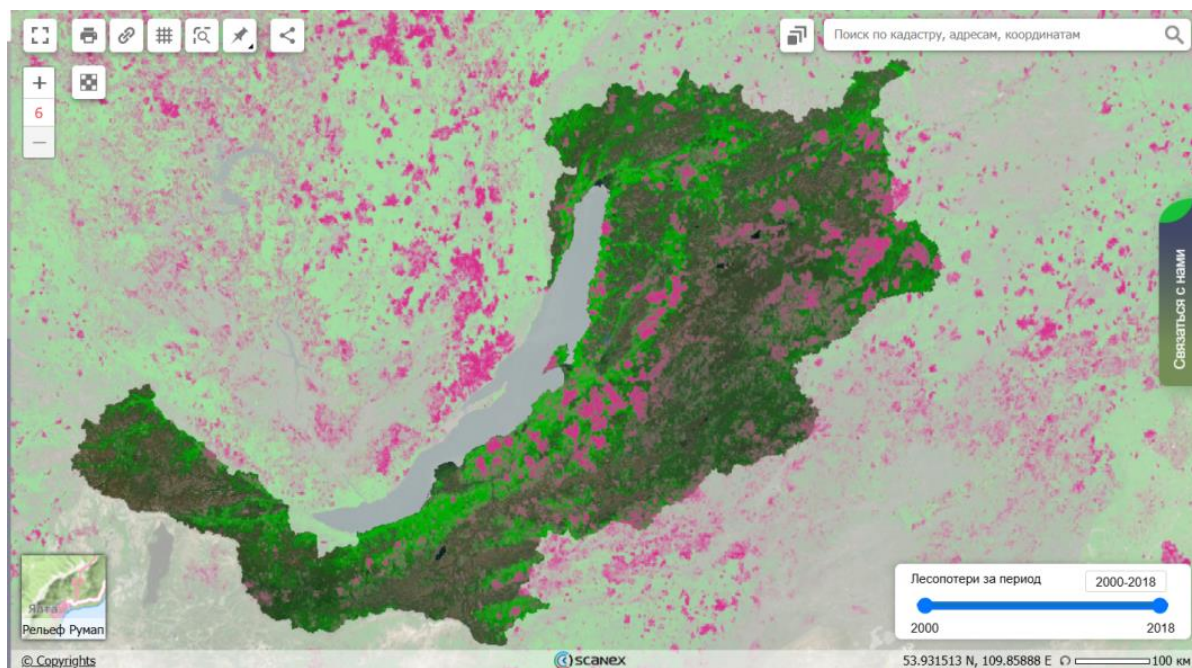


Рис. 1. Республика Бурятия

(по данным web-картографического сервиса «Леса высокой продуктивной ценности», <https://hcvf.ru/ru>)

Fig. 1. Republic of Buryatia

(provided by WMS "Forests of high productive value", <https://hcvf.ru/ru>)

На рисунке 1 представлена карта Республики Бурятия, по данным сервиса «Леса высокой продуктивной ценности» (ЛВПЦ) розовым цветом отмечены потери лесной растительности в период с 2000 по 2018 год. С 2002 по 2023 год (рис. 2) площадь лесного покрова в Бурятии сократилась на 2,60 млн гектаров, что эквивалентно уменьшению лесного покрова на 17 % с 2000 года. Зеленый и темно-зеленый цвета показывают общую лесопокрытую площадь. Исходя из общей лесопокрытой площади можно сделать вывод, что Бурятия – это лесной регион, экономика которого напрямую связана с грамотным использованием лесного сырья и необходимостью эффективного лесовосстановления. Породный состав лесов в основном представлен: лиственницей сибирской (*Lárix sibírica L.*) (53,5 %), сосной обыкновенной (*Pínus sylvéstris L.*) (19,5 %), кедром (*Pínus sibírica L.*) (14,5 %), бе-

⁴https://egov-buryatia.ru/about_republic/nature-resources/lesnye-resursy-/

⁵https://www.vedomosti.ru/ecology/protection_nature/news/2024/05/12/1036667-lesa-v-rossii-vosstanavlivayutsya-bistreechem-gibnut?from=copy_text

резой повислой (*Betula pendula* Roth.) (4,0 %), осиной (*Pópulus trémula* L.) (2,5 %) и второстепенными древесными породами (6,5 %)⁶.

Методы исследования: дешифрирование, анализ материалов ДЗЗ, использовались web-картографические сервисы – Global Forest Watch, Global Forest Change, Google Earth Pro.

По состоянию на 2020 год 50 % территории Бурятии занимали естественные леса, а 0,29 % – леса искусственного происхождения.

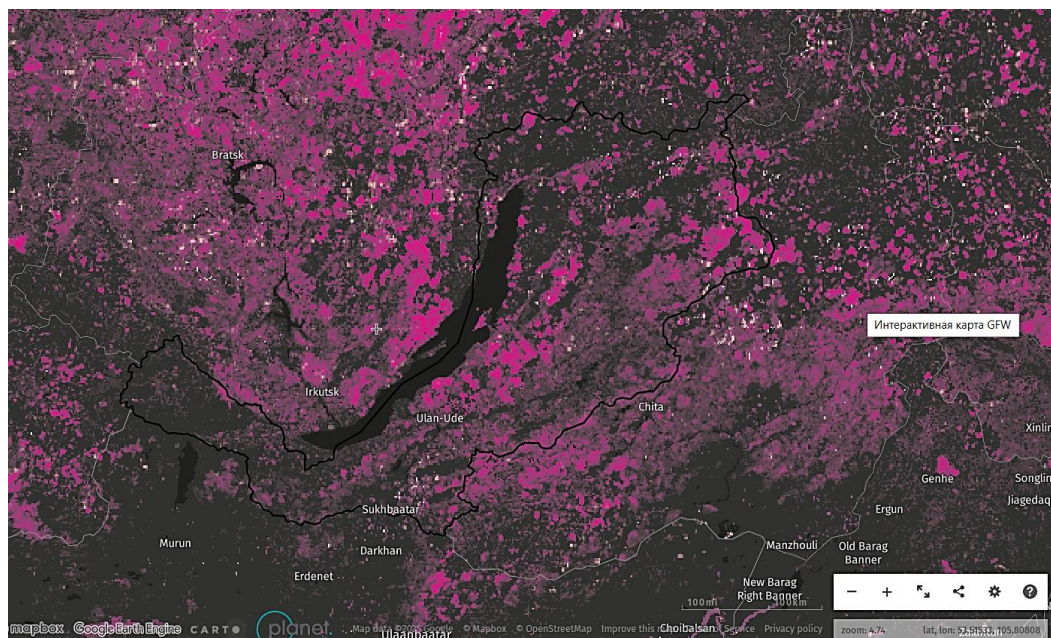


Рис. 2. Розовым цветом отмечены площади потери лесного покрова в период с 2002 по 2023 год в пределах и за пределами Республики Бурятия (по данным web-картографического сервиса «Леса высокой продуктивной ценности», <https://hcvf.ru/ru>)

Fig. 2. Areas of forest cover loss between 2002 and 2023 are marked in pink, both within and outside the Republic of Buryatia. (provided by WMS "Forests of high productive value", <https://hcvf.ru/ru>)

Наибольшие потери лесного покрова Бурятии за последние 20 лет произошли в северных районах республики и наблюдались в 2003–2004 годах и в 2015–2017 годах. Основной причиной потерь являются лесные пожары, которым способствовали весенние и летние засухи. В центральной части республики, помимо лесных пожаров, потери обусловлены коммерческой деятельностью по заготовке леса. В отличие от северных районов западные районы республики, характеризующиеся более высокой влагообеспеченностью, демонстрируют меньшую уязвимость к лесным пожарам и, соответственно, меньшие потери лесного покрова [4].

В Бурятии на долю трех крупнейших районов республики пришлось 53 % всех потерь лесного покрова в период с 2001 по 2023 год. В Баунтовском районе произошло наибольшее снижение лесного покрова – 776 тыс. га по сравнению со средним показателем в 111 тыс. гектаров.

С 2001 по 2023 год из-за незаконных рубок и пожаров Бурятия потеряла примерно 17 % (2,65 млн га) лесов. По официальным данным на 2024 год, в Республике Бурятия 19 арендаторов, занимающихся заготовкой древесины, пищевых ресурсов, строительством и реконструкцией линейных объектов.

⁶https://egov-buryatia.ru/about_republic/nature-resources/lesnye-resursy-/

Пик незаконных рубок в Бурятии пришелся на 2019 год – было заготовлено всего 70 785 кубов. В 2018 году вырубки произведены на 34,9 тыс. кубов, а в 2020 году – 23,7 тыс. кубов. По объему незаконных рубок среди российских регионов Бурятия заняла шестое место. В 2024 году число незаконных рубок в Бурятии снизилось на 30 %. Одной из положительных причин, повлиявших на снижение динамики незаконной заготовки древесины, является то, что 11,5 млн га леса попадает в зону дистанционного мониторинга, благодаря этому на постоянной основе выявляются нарушители посредством отслеживания большой по площади территории.

В ноябре 2024-го стало известно, что с начала года в республике зафиксировали более 600 лесных пожаров. Значительная часть – около 70 % – произошла из-за сухих гроз в удалении от населенных пунктов. 86 % пожаров в Республике Бурятия возникает по вине человека – это местное население, нарушения при лесозаготовках, сельхозпалы, туристы, что говорит о недостаточном информировании населения о необходимости вести осознанную деятельность при нахождении в лесах.

Количество и площадь пожаров значительно варьируют по годам: по количеству пожаров лидирует 2016 год, однако по площади пожаров 2015, 2017 и 2019 годы сопоставимы. С 2011 по 2017 год наименьшее число пожаров зарегистрировано в марте и ноябре, в 2014 и 2015 годах зафиксировано максимальное количество пожаров с апреля по октябрь [5].

С 2001 по 2023 год Бурятия потеряла 2,30 млн гектаров лесного покрова из-за пожаров и 351 млн гектаров с учетом других причин. Наибольшие потери древесного покрова произошли в 2016 году, когда в результате пожаров было потеряно 874 га – 95 % от всех потерь древесного покрова за этот год (рис. 3).

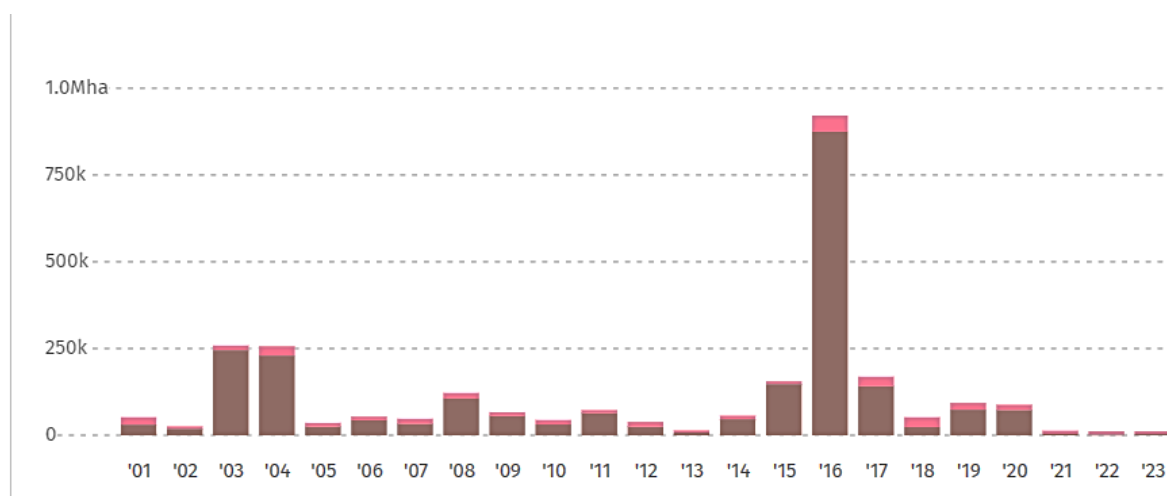


Рис. 3. Потери лесного покрова из-за пожаров в 2001–2023

(по данным web-картографического сервиса «Леса высокой продуктивной ценности», <https://hcvf.ru/ru>)

Fig. 3. Loss of forest cover due to fires 2001–2023

(provided by WMS "Forests of high productive value", <https://hcvf.ru/ru>)

По данным Рослесхоза, наибольшие площади очагов вредных организмов выявлены в Бурятии на 401,7 тысячи гектаров – преобладает хвойная волнянка⁷.

В 2024 году в Бурятии сложилась неблагоприятная обстановка с лесными вредителями, в частности хвойной волнянкой и сибирским шелкопрядом. Очаги массового размноже-

⁷<https://www.baikal-daily.ru/news/16/492900/>

ния хвойной волнянки периодически появляются спустя 10–12 лет на огромных территориях после распространения, а в текущем 2024 году очаги появились спустя 23 года после последнего массового размножения хвойной волнянки (*Calliteara abietis*)⁸. Встречаемость гусениц хвойной волнянки составила 100 процентов на территории 1,25 тыс. га.

Исходя из существующих негативных факторов и нестабильной тенденции потери лесного покрова вследствие пожаров, рубок и лесопатологий необходимо определить первопричины и выработать ряд решений, направленных на стабилизацию ситуации, среди основных причин можно выделить:

1. Отсутствие соблюдения требований безопасности и правил поведения в лесах в пожароопасный период определяет низкую степень экологической ответственности населения, что позволяет сформировать в этой части решение формирования у человека экологической ответственности на уровне учреждений школьного образования.

2. Вследствие незаконных рубок причиняется ущерб лесному фонду, объем незаконной заготовки в Бурятии за 2024 год составил 12 тыс. кубометров, ущерб лесному фонду составил более 180 млн рублей. Доля объема от законного лесопользования составила порядка 1,14 %, что ниже на 29 % показателя за прошлый период. В целом тенденция по незаконной заготовке древесины позволяет сделать вывод о действенных мерах лесного и уголовного законодательства в этой части.

3. Лесные патологии. Необходимо определить ряд решений, направленных на развитие системы раннего обнаружения поражения инвазионными лесопатогенами. В частности, здесь возможно использование комплексного подхода – лесопатологического обследования с использованием БАС (беспилотных авиационных систем) и применением данных лазерного сканирования для точечного определения очагов и их локализации. Целесообразно формирование цифровой модели зараженного леса для выработки решений по нераспространению очагов лесопатологий. В работах [6, 7] авторами были предложены подходы по формированию таких типов интерактивных моделей лесных экосистем.

Предлагаемые решения направлены на формирование устойчивого возобновления лесных экосистем.

В социально-ориентированном аспекте:

1. Ввести в образовательные учреждения факультативы по экологии и рациональному природопользованию с начальных классов, раскрывающие особенности ценности лесных экосистем и бережного отношения к природе родного края.

2. Проведение информационных кампаний: организация лекций, семинаров, публикаций в СМИ и других мероприятий, направленных на повышение осведомленности населения о проблемах лесных патологий и мерах по их предотвращению. Привлечение общественности к участию в мероприятиях по охране леса: организация акций по посадке деревьев, очистке леса и других мероприятий, направленных на вовлечение населения в охрану лесных ресурсов.

3. Поддержка некоммерческих организаций, оказывающих содействие и развитие экологическим проектам на территории республики, создание условий для поддержки таких организаций в форме государственно-частного партнерства, в том числе в вопросах, связанных с проведением мероприятий по восстановлению лесных экосистем после пожаров и истощительного лесопользования. К таким организациям могут быть отнесены некоммерческие организации или автономные некоммерческие организации, реализующие проекты экологической направленности. В ряде регионов России имеются положительные

⁸https://egov-buryatia.ru/about_republic/nature-resources/lesnye-resursy-/

примеры^{9,10} реализации проектов такими организациями. А при их отсутствии необходимо формирование стимулов и оказание юридической поддержки для организации таких мероприятий на территории республики.

В технологическом аспекте:

1. Необходимо проводить оперативный мониторинг лесов с использованием дистанционных средств и применением оптических методов наблюдений по опыту использования системы «Лесной дозор»¹¹. Постоянное периодическое обследование на предмет появления пожаров, в том числе с использованием технологий беспилотных летательных объектов. Также необходим лесопатологический мониторинг для борьбы с лесными вредителями. Для реализации предложения необходимо обеспечение центров защиты леса современными БАС типа мультикоптер и централизованное обучение сотрудников. Расширение сети мониторинга пробных площадей, формирование интерактивной карты мониторинга очагов с базой данных об их состоянии.

2. Поддержка национальных проектов по восстановлению вырубленных и сгоревших лесов, таких как, например, проект «Экология». Данный проект направлен на восстановление леса в различных регионах.

3. Умное лесовосстановление с применением технологий мониторинга БАС и автоматизированной посадки леса. Общеизвестно что лесовосстановление – длительный процесс, в котором необходимы мероприятия, направленные на успешную приживаемость лесных культур, следовательно, агротехнические мероприятия, такие как своевременное окашивание, подрезка сучьев, общая оценка состояния приживаемости, анализ почвенных условий.

Выводы

Проведенный анализ динамики лесного покрова Республики Бурятия в период с 2000 по 2023 г. выявил существенное сокращение лесных площадей, составляющее около 17 % от общей лесопокрытой территории. Ключевыми факторами, обусловившими данную тенденцию, являются высокая пожарная опасность, вызванная преимущественно антропогенным фактором, незаконные рубки и распространение очагов лесных патологий. Причем, несмотря на снижение объемов незаконных рубок в последние годы благодаря внедрению систем дистанционного мониторинга, проблема остается актуальной. Наибольшие потери лесного покрова зафиксированы в северных районах республики, что требует усиления мер по охране и защите лесов в этих районах. Оценка эффективности проводимых мероприятий по лесовосстановлению указывает на необходимость внедрения более современных и технологичных подходов, выращивания и посадки лесных культур с ПМЗК (посадочный материал с закрытой корневой системой).

Для стабилизации ситуации и обеспечения устойчивого развития лесного комплекса Республики Бурятия необходимо повышение экологической ответственности населения путем внедрения образовательных программ и проведения информационных кампаний, направленных на формирование бережного отношения к лесу и соблюдение правил пожарной безопасности. Усиление контроля за законностью лесопользования с применением современных технологий мониторинга и ужесточением мер ответственности за незаконные рубки. Совершенствование системы лесопатологического мониторинга и борьбы с вредителями леса с акцентом на раннее обнаружение очагов и применение экологически без-

⁹<https://ecofeat.ru/> – официальный сайт АНО «Уникальные ландшафты»

¹⁰<https://возрождениеземли.рф> – официальный сайт АНО «Возрождение Земли»

¹¹<https://www.lesdozor.ru/>

опасных методов борьбы с применением цифровых технологий. Активная поддержка и развитие проектов по лесовосстановлению, включая внедрение технологий «умного лесовосстановления» с использованием БАС и внедрение посадки ПМЗК. Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение влияния климатических изменений на устойчивость лесных экосистем Бурятии, разработку эффективных методов прогнозирования лесных пожаров и оптимизацию стратегий адаптации лесного хозяйства к новым условиям. Реализация предложенных мер позволит не только сохранить ценные лесные ресурсы Республики Бурятия, но и обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие региона, основанное на принципах рационального природопользования и экологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатьева А. В., Барановский Н. В. Динамика лесных пожаров в Республике Бурятия // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 2. С. 140–159. DOI: 10.31509/2658-607x-202252-107
2. Ким Л. В., Глушич Е. А. Мониторинг земель лесного фонда на территории прибайкальского лесничества Республики Бурятия // Ученые заметки ТОГУ. 2022. Т. 13. № 1. С. 97–101. EDN: EOFIIT
3. Коришунова А. А., Мартыновская С. Н. Об исследовании лесовосстановления по регионам Российской Федерации // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Красноярск, 2024. С. 183–189. EDN: UKRKOE
4. Попов Н. Л. Лесовосстановление в России: текущее состояние и пути развития // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 5(131). С. 198–202. EDN: VGOOGZ
5. Содномов Б. В., Аюржанаев А. А., Черных В. В., Жарникова М. А. Потери лесного покрова Республики Бурятия в XXI веке // Успехи современного естествознания. 2020. № 10. С. 44–49. DOI: 10.17513/use.37489. EDN: IJNNKU
6. Вагизов М. Р., Лобачева В. А. Особенности геоинформационного моделирования при мониторинге лесовосстановления // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2023. С. 194–196. EDN: GVNLLN
7. Вагизов М. Р. Технология геоинформационного моделирования лесных экосистем // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2023. С. 56–59. EDN: GCKFRR

REFERENCES

1. Ignatyeva A.V., Baranovsky N.V. Dynamics of forest fires in the Republic of Buryatia. *Voprosy lesnoy nauki* [Issues of forest science]. 2022. Vol. 5. No. 2. Pp. 140–159. DOI: 10.31509/2658-607x-202252-107. (In Russian)
2. Kim L.V., Glushich E.A. Monitoring of the forest fund lands on the territory of the Baikal forestry of the Republic of Buryatia. *Scientific Notes of TOGU*. 2022. Vol. 13. No. 1. Pp. 97–101. EDN: EOFIIT. (In Russian)
3. Korshunova A.A., Martynovskaya S.N. On the study of reforestation in the regions of the Russian Federation. *Tekhnologii i oborudovaniye sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva*

[Technologies and equipment of garden and landscape construction]. *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Krasnoyarsk. 2024. Pp. 183–189. EDN: UKRKOE. (In Russian)

4. Popov N.L. Forest restoration in Russia: current state and ways of development. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the St. Petersburg State University of Economics]. 2021. No. 5(131). Pp. 198–202. EDN: VGOOGZ. (In Russian)

5. Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A., Chernykh V.V., Zharnikova M.A. Losses of forest cover of the Republic of Buryatia in the XXI century. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Modern Natural Science]. 2020. No. 10. Pp. 44–49. DOI: 10.17513/use.37489. EDN: IJNNKU. (In Russian)

6. Vagizov M.R., Lobacheva V.A. Features of geoinformation modeling in monitoring reforestation. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye* [Forests of Russia: policy, industry, science, education]. *Materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2023 goda*. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet imeni S.M. Kirova, 2023. Pp. 194–196. EDN: GVNLLN. (In Russian)

7. Vagizov M.R. Technology of geoinformation modeling of forest ecosystems. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye* [Forests of Russia: policy, industry, science, education]. *Materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2023 goda*. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet imeni S.M. Kirova, 2023. Pp. 56–59. EDN: GCKFRR. (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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. External funding was not provided for the study.

Информация об авторах

Новикова Мария Александровна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Института леса и природопользования, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова;

194021, Россия, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5;

masch.novikova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0416-4232>, SPIN-код: 2276-0322

Бобровская Рита Маратовна, генеральный директор, ООО «Авто Миракл Рус»;

121471, Россия, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Очаково-Матвеевское, ул. Рябиновая, 55, стр. 3;

ritabk@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6042-5611>, SPIN-код: 8159-6018

Вагизов Марсель Равильевич, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой информационных систем и технологий Института леса и природопользования, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова;

194021, Россия, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5;

профессор кафедры информационных технологий и систем безопасности Института информационных систем и геотехнологий, Российский государственный гидрометеорологический университет;

192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79;

bars-tatarin@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4848-1619>, SPIN-код: 4811-8943

Навалихин Сергей Викторович, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесных культур Института леса и природопользования, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова;

194021, Россия, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5;

6423487@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-4868>, SPIN-код: 3700-2299

Information about the authors

Maria A. Novikova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies of the Institute of Forestry and Nature Management, St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov;

194021, Russia, St. Petersburg, 5 Institutsky lane;

masch.novikova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0416-4232>, SPIN-code: 2276-0322

Rita M. Bobrovskaya, General Director, Avto Miracle Rus LLC;

121471, Russia, Moscow, int. ter. of the city Ochakovo-Matveevskoye municipal district, 55, build. 3 Ryabinovaya street;

ritabk@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6042-5611>, SPIN-code: 8159-6018

Marsel R. Vagizov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies, Institute of Forest and Nature Management, St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov;

194021, Russia, St. Petersburg, 5 Institutsky lane;

Professor of the Department of Information Technologies and Security Systems, Institute of Information Systems and Geotechnology, Russian State Hydrometeorological University;

192007, Russia, St. Petersburg, 79 Voronezhskaya street;

bars-tatarin@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4848-1619>, SPIN-code: 4811-8943

Sergey V. Navalikhin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forest Crops, Institute of Forest and Nature Management, St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov;

194021, Russia, St. Petersburg, 5 Institutsky lane;

6423487@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2630-4868>, SPIN-code: 3700-2299

УДК 338.43(470)

Аналитическая статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-143-153

EDN: UTULFK

Приоритетные направления пространственного развития сельского хозяйства России

А. И. Алтухов

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий –
Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства»
123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, 35, корп. 2

Аннотация. Пространственное развитие сельского хозяйства связано с разнообразием более или менее благоприятных природных и экономических условий для производства сельскохозяйственной продукции. Поэтому оно должно быть сориентировано на рациональное размещение, углубление специализации и оптимальную концентрацию производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции, ведение подотраслей за счет эффективного использования природных и производственных ресурсов. Основой территориального разделения в сельском хозяйстве является развитие ее производственных сил, что требует учета всей совокупности факторов, влияющих на пространственную организацию отрасли. Характерной особенностью Российской Федерации является, в отличие от многих других государств, наличие огромной, но относительно слабозаселенной территории. Поэтому Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года предусматривает максимальное использование территории страны в решении национальных интересов, применении ресурсов с учетом существующих тенденций, новых вызовов и возможностей, роста издержек в экономике. К пространственным приоритетам относится организация опорных населенных пунктов, которая предусматривает возможность расселения, формирования производственной и социальной инфраструктуры, развития прилегающих к ним территорий. Особенно это касается сельских территорий с низким уровнем заселенности, со слаборазвитой социальной, производственной и транспортной инфраструктурой. Проблемными остаются регионы с трудоизбыточным сельским населением и малоземельем, где сложились особой уклад жизни и специфические условия ведения сельского хозяйства. Успешное решение этих проблем и развитие сельского хозяйства на всей территории страны требуют реализации государственной социально-экономической и особенно аграрной политики. **Цель исследования** – разработка научно обоснованных предложений по приоритетным направлениям развития сельского хозяйства и сельских территорий. **Методы исследования.** В процессе проведения исследований применялись экономико-статистические, монографический, расчетно-конструктивный и программно-целевой методы.

Ключевые слова: сельское хозяйство, сельские территории, конкурентные преимущества, диспропорции, организационно-экономический механизм, опорные населенные пункты

Поступила 16.04.2025, одобрена после рецензирования 23.04.2025, принята к публикации 05.05.2025

Для цитирования. Алтухов А. И. Приоритетные направления пространственного развития сельского хозяйства России // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 143–153. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-143-153

Priority directions for spatial development of agriculture in Russia

A.I. Altukhov

Federal State Budgetary Scientific Institution
“Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Areas –
All-Russian Research Institute of Agricultural Economics”
123007, Russia, Moscow, 35, build. 2 Khoroshevskoe shosse

Abstract. The spatial development of agriculture is associated with the diversity of natural and economic conditions that are more or less favourable for producing agricultural crops. Therefore, it should focus on the rational placement of production, the deepening of specialisation, and the optimal concentration of the production of individual types of agricultural products. It should also focus on the management of sub-sectors through the efficient use of natural and production resources. The basis of territorial division in agriculture is the development of its production forces. This requires consideration of all the factors that influence the spatial organisation of the industry. Unlike many other states, a characteristic feature of the Russian Federation is its huge, sparsely populated territory. Spatial priorities include organising supporting settlements to allow for resettlement, forming industrial and social infrastructure, and developing adjacent territories. This is particularly relevant for rural areas with low population densities and poorly developed social, industrial and transport infrastructure. The most problematic regions are those with a surplus of rural labour and a shortage of land, where a unique way of life and specific agricultural conditions have developed. The successful resolution of these problems and the development of agriculture throughout the country require the implementation of state socio-economic policies, especially agricultural policies. The study aims to develop scientifically sound proposals for priority areas in agriculture and rural development. **Research methods.** The research employed economic-statistical, monographic, computational-constructive and programme-targeted methods.

Keywords: agriculture, rural territories, competitive advantages, disproportions, organizational and economic mechanism, supporting settlements

Submitted 16.04.2025,

approved after reviewing 23.04.2025,

accepted for publication 05.05.2025

For citation. Altukhov A.I. Priority directions for spatial development of agriculture in Russia. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 143–153. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-143-153

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономические процессы, происходящие в сельском хозяйстве страны, реализуются в пространстве, то есть на определенной территории, которая обладает теми или иными особенностями, преимуществами и недостатками своего развития. Поскольку сельское хозяйство ведется на значительных площадях сельскохозяйственных угодий на огромной территории страны, то для его эффективного развития важно максимальное использование преимуществ, предоставляемых значительным разнообразием пространства и пространственной организации непосредственно самой отрасли.

Сельское хозяйство в первую очередь развивается на сельских территориях, традиционно являющихся одним из ключевых ресурсов страны. На них производится от 16 до 22 % ее валового внутреннего продукта, почти вся сельскохозяйственная продукция, значительная доля продовольствия и валового регионального продукта.

На сельских территориях проживает четвертая часть населения, а ведение сельского хозяйства по-прежнему остается одной из важных сфер экономической деятельности сельского населения, в которой занято около одной пятой части всех работающих на селе. Сельское хозяйство является первоосновой обеспечения национальной продовольственной безопасности. По его успехам и неудачам во многом можно судить не только о надежном

обеспечении населения экономически доступным и качественным продовольствием и об уровне его благосостояния, но и о престиже страны в мире.

Многочисленные сельские территории – это не только сфера экономической деятельности, но и своеобразный образ жизни сельского населения. Они традиционно остаются одним из важнейших стратегических ресурсов страны, а многочисленные и часто разобщенные между собой сельские поселения исторически являются одной из основных структур общности людей.

Из-за геополитического положения страны с ее огромной, но относительно слабозаселенной территорией и неразвитой транспортной инфраструктурой сельские поселения имеют стратегическое значение для сохранения национальных традиций и административного контроля над обширной территорией со своим особым укладом жизни населения, а пространственное развитие прежде всего сельского хозяйства является одним из основных факторов его конкурентных преимуществ, надежного обеспечения национальной продовольственной безопасности. Поэтому так важно использовать конкурентные преимущества, связанные с улучшением пространственной организации сельского хозяйства, осуществлением его синхронизации с социально-экономическим развитием сельских территорий.

В стране, с одной стороны, реальное обеспечение относительно социально-экономической равноценности жизненных условий для сельского населения в различных типах сельских поселений – это стратегическая задача Российского государства, располагающего самой большой территорией в мире со своей спецификой развития многочисленных сельских поселений вне зависимости от их размера и расположения. С другой стороны, огромная и во многом даже уникальная пространственная протяженность страны с многообразием условий формирования системы расселения населения и хозяйствования и одновременно с крайней неоднородностью социально-экономического развития сельских территорий предопределяют исключительную значимость для общества и государства многочисленных, но часто слабозаселенных сельских поселений с неразвитой социальной, инженерной и транспортной инфраструктурой, ведением сельского хозяйства с разной степенью интенсивности и уровнем эффективности производства.

Цель исследования – разработка научно обоснованных предложений по приоритетным направлениям развития сельского хозяйства и сельских территорий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В современных условиях пространственное развитие сельского хозяйства страны представляет собой преимущественно нечетко выраженную территориальную организацию отрасли с относительно слабо взаимосвязанными между собой региональными процессами размещения, специализации и концентрации производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции, направленными на наращивание их объемов и снижение издержек, надежное обеспечение продовольственной безопасности. Интенсивность их развития в основном обусловлена спросом на продукцию отрасли и возможным ее предложением, а также эффективностью государственной поддержки сельского хозяйства, регулирования отдельных продуктовых сегментов внутреннего агропродовольственного рынка страны, создания необходимых экспортных ресурсов сельскохозяйственной и продовольственной продукции.

За многие годы в стране наблюдалась ситуация, при которой пространственное развитие отдельных подотраслей сельского хозяйства часто противоречило не только передовой отечественной и зарубежной практике, но и сложившимся теоретическим взглядам на преимущества общественного разделения труда вообще и территориально-отраслевого разделения труда в сельскохозяйственном производстве, в частности. Поэтому в современных

условиях оно представляет собой нечетко выраженную, относительно слабо взаимосвязанную специализацию регионов на производстве тех или иных видов сельскохозяйственной продукции, объемы и интенсивность товарных потоков которых в основном обусловлены спросом и предложением, а также возможностями и эффективностью государственной поддержки сельского хозяйства и регулирования продуктовых сегментов внутреннего агропродовольственного рынка [1].

Отсутствие до последнего времени активной организующей и координирующей роли государства по решению вопросов рационального пространственного развития сельского хозяйства способствовало ориентации каждого региона на максимальную самообеспеченность продовольственными товарами и сельскохозяйственным сырьем, что неизбежно вело к территориальной замкнутости и к своеобразной феодализации государства со всеми негативными последствиями для экономики страны, гарантированному продовольственному обеспечению ее населения за счет отечественного производства. Об этом свидетельствуют данные группировки регионов страны по коэффициенту специализации производства основных видов сельскохозяйственной продукции (табл. 1).

Таблица 1. Группировка российских регионов по коэффициенту специализации производства основных видов сельскохозяйственной продукции в 2019–2023 гг.

Table 1. Grouping of Russian regions according to the production specialisation coefficient for the main types of agricultural product in 2019–2023.

Основные виды сельскохозяйственной продукции	Группы регионов с коэффициентом специализации				Итого регионов	% регионов с коэффициентом специализации	
	до 1,00	1,01–2,00	2,01–3,00	свыше 3,00		низким	высоким
Зерно – всего	48	12	11	6	77	77,9	22,1
Маслосемена	45	8	4	12	69	76,8	23,2
Картофель	43	26	10	2	81	85,2	14,8
Овощи	57	18	2	4	81	92,6	7,4
Плоды и ягоды	54	16	5	5	80	87,5	12,5
Молоко	42	28	11	–	81	86,4	13,6
Мясо – всего	55	13	3	10	81	84,0	16,0
в том числе:							
крупного рогатого скота	44	25	8	4	81	85,2	14,8
свиней	57	10	1	10	78	85,9	14,1
овец	60	7	3	10	80	83,8	16,3
птицы	58	11	1	10	80	86,3	13,8
Яйца	49	24	2	8	81	90,1	9,9

Источник: составлена и рассчитана по данным Росстата¹

Сложившиеся ключевые проблемы и диспропорции пространственного развития сельского хозяйства проявляются практически на всех уровнях управления агропромышленным комплексом страны [2]. Основными из них являются:

– сохраняющаяся значительная межрегиональная дифференциация уровня социально-экономического развития, когда, с одной стороны, происходит концентрация производственных ресурсов в относительно небольшом количестве регионов преимущественно с высоким биоклиматическим потенциалом, сосредоточением высокодоходных и относительно крупных хозяйств и близостью рынков сбыта их продукции, а с другой стороны, наоборот,

¹Федеральная служба государственной статистики (Росстат): офиц. сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru>

неуклонно усиливаются деструктивные процессы в сельском хозяйстве, особенно в депрессивных и проблемных территориях с низким технологическим уровнем и очаговым ведением отрасли, неразвитой социальной, производственной и транспортной инфраструктурой, где за многие годы депрессия фактически приобрела застойный характер;

- слабое законодательное и научное обеспечение пространственного развития сельского хозяйства страны, отсутствие активной организующей и координирующей роли государства в процессах, связанных с рациональным размещением, углублением специализации и оптимизацией концентрации отрасли, которые способствовали нарушению взаимодействия природных и социально-экономических факторов, сохранению высокого удельного веса малопроизводительных и низкотехнологичных производств, проявлению своеобразного регионального экономического сепаратизма со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями для улучшения пространственной организации сельского хозяйства и его отдельных подотраслей;

- хронические недостатки в финансовом, материально-техническом, информационном, научном и кадровом обеспечении сельского хозяйства и его подотраслей, неразвитость инфраструктуры, особенно ее транспортно-логистической сети, производственно-сбытовых и товаропроводящих цепочек, постоянно создающие проблемы с реализацией сельскохозяйственной продукции и продуктов ее переработки при относительно низком уровне их конкурентоспособности, негативно влияющие на ускоренное проведение импортозамещения и расширение российского экспорта продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья;

- наличие старых системных проблем и возникновение новых диспропорций в развитии сельского хозяйства, способствующих возрастанию неопределенности, неустойчивости, непредсказуемости и напряженности в его экономике;

- несовершенство организационно-экономического механизма, который, с одной стороны, должен стимулировать рациональное размещение, углубление специализации и оптимизацию концентрации производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции в регионах прежде всего с наилучшими для них почвенно-климатическими и экономическими условиями, а с другой – ограничивать своего рода политику продовольственной автократии, способствовать достижению определенного уровня самообеспечения населения отечественным продовольствием в соответствии с параметрами национальной Доктрины продовольственной безопасности.

В силу своего геополитического положения Россия исторически располагает конкурентными преимуществами перед многими государствами в виде наличия огромной, но относительно слабозаселенной территории. В этой связи Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года (далее – Стратегия)² призвана максимально вовлечь пространство страны в достижение ее национальных целей на основе эффективного использования имеющихся ресурсов, учета сложившихся тенденций, новых вызовов и возможностей, бюджетных ограничений и роста издержек в экономике. В ней также определены пространственные приоритеты, позволяющие сконцентрировать ресурсы из бюджетных и внебюджетных источников, в том числе в рамках национальных проектов и государственных программ. В первую очередь они включают систему опорных населенных пунктов (ОНП), которые формируют системы расселения, инфраструктуры и экономики страны, а также обеспечивают развитие прилегающих к ним территорий.

²Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2024 г. № 4146-р «Об утверждении новой Стратегии пространственного развития РФ на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года». URL: <https://ppt.ru/obzory/vstupact-v-silu/rasporyazhenie-pravitelstva-rf-28-12-2024-4146-r>.

Согласно Стратегии ОНП представляет собой населенный пункт. Их приоритетное развитие должно способствовать достижению национальных целей и обеспечению национальной безопасности, в том числе и за счет доступности образования, медицинской помощи, услуг в сфере культуры и реализации иных потребностей для жителей прилегающей территории, включающей всю или ее часть одного или нескольких муниципальных образований. В этой связи определен Единый перечень опорных населенных пунктов страны (табл. 2). Он утвержден президиумом (штабом) Правительственной комиссии по региональному развитию в Российской Федерации (протокол от 16 декабря 2024 г. № 143 пр.).

Единый перечень опорных населенных пунктов необходим при проведении государственной политики в целях обеспечения приоритетной концентрации ресурсов, в том числе при реализации национальных проектов, государственных программ, программных документов и прочих инструментов, предусматривающих финансирование за счет средств федерального бюджета и консолидированных бюджетов субъектов федерации. На его основе и должна реализоваться приоритетная поддержка развития ОНП в стране.

Таблица 2. Единый перечень опорных населенных пунктов по федеральным округам Российской Федерации

Table 2. Unified list of support settlements by federal districts in the Russian Federation

Населенные пункты	Российская Федерация	Федеральные округа							
		Центральный	Северо-Западный	Южный	Северо-Кавказский	Приволжский	Уральский	Сибирский	Дальневосточный
Сельские	537	63	26	18	62	155	19	121	73
Городские	974	247	133	89	59	189	77	105	75
Поселки городского типа	359	106	30	20	2	101	12	28	60
Поселки	98	28	9	14	5	23	4	9	6
Районные поселки	42	5	5	1	–	1	–	30	–
Слободы	4	1	–	3	–	–	–	–	–
Населенные пункты	1	–	1	–	–	–	–	–	–
Станицы	38	–	–	34	4	–	–	–	–
Деревни	1	–	–	–	–	–	–	1	–
Аулы	5	–	–	2	3	–	–	–	–
Железнодорожные станции	2	–	–	–	–	2	–	–	–
Всего	2061	450	204	181	135	471	112	294	214

Источник: составлена и рассчитана по данным³

Классификация населенных пунктов предусматривает выделение опорных населенных пунктов с различными основными функциями в зависимости от их роли в достижении приоритетов пространственного развития, а также определение основных задач по поддержке их развития. Формирование и использование Единого перечня опорных населенных пунктов направлено на концентрацию инструментов и ресурсов в целях содействия достижению национальных целей, в том числе для снижения дифференциации в социально-экономическом развитии территорий страны. ОНП, в которых реализуются новые инвестиционные проекты, существенно влияющие на экономику, в Стратегии рассматриваются как перспективные центры экономического роста. При этом основными задачами развития опорных населенных пунктов являются:

³Единый перечень опорных населенных пунктов Российской Федерации. Утвержден президиумом (штабом) Правительственной комиссии по региональному развитию в Российской Федерации (протокол от 16 декабря 2024 г. № 143 пр.). URL: <https://mineconom.gov74.ru/files/upload/mineconom/Деятельность/ТОСЭР/Утвержденный%20перечень%20ОНП%20РФ.pdf>

- реализация новых инвестиционных проектов, существенно влияющих на экономику и значимых для достижения технологического суверенитета страны;
- обеспечение национальной безопасности и обслуживание критически важной инфраструктуры;
- повышение эффективности экономики за счет концентрации экономической деятельности и развития агломерационных и межрегиональных экономических связей;
- обеспечение научно-технологического и инновационного развития;
- предоставление медицинской помощи, образования, услуг в сфере культуры и реализации иных потребностей для жителей прилегающих территорий, развитие соответствующей инфраструктуры для сокращения оттока населения из малых и средних городов, сельских населенных пунктов.

Опорным населенным пунктам меры государственной поддержки должны оказываться в приоритетном порядке с учетом основных задач их развития. Для этого в процессе формирования государственных программ, предоставления субсидий из федерального бюджета и оказания иных мер поддержки интегрируются положения, предусматривающие приоритетный порядок финансирования мероприятий (проектов) в ОНП, а также проводится мониторинг их социально-экономического развития. В этой связи в Стратегии предлагается отказаться от поддержки только крупных и крупнейших городских агломераций, а в качестве одного из основных инструментов ее реализации предусматривается Единый перечень опорных населенных пунктов, который включает городские и сельские агломерации.

Однако, несмотря на принятие Единого перечня опорных населенных пунктов и их приоритетную поддержку государством, по-прежнему сохраняются проблемы, без решения которых успешная реализация даже самой идеи развития ОНП практически невозможна или малоэффективна. Это касается, например, решения многочисленных вопросов разграничения населенных пунктов на сельские и городские, формирования рациональной системы расселения, организации центров предоставления услуг, межмуниципального и межрегионального взаимодействия, опережающего развития отдельных регионов и территорий, создания более эффективной системы управления и ряда других вопросов пространственного развития сельских территорий, многих видов экономической деятельности и особенно ведения сельского хозяйства.

Принятая новая Стратегия пространственного развития страны не привносит ясности о реальных перспективах пространственной организации в первую очередь сельского хозяйства и его отдельных подотраслей в ближайшей и более отдаленной перспективе. В ней фактически в общих чертах и причем фрагментарно отражена лишь по отдельным федеральным округам важность для них развития агропромышленного комплекса или сельского хозяйства. Что касается решения вопросов о перспективах развития сельского хозяйства и его отдельных подотраслей, их рационального размещения, углубления специализации и оптимизации концентрации по территории страны, то Стратегия не содержит необходимых пояснений не только по федеральным округам, но и по геостратегическим территориям страны. Кроме того, как и Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года⁴, новая Стратегия также во многом не отвечает и на главный вопрос: как все же развивать многие сельские территории на огромном и слабо обустроенном пространстве страны с очаговым ведением сельского хозяйства. Особенно это касается, например, многочисленных, но с низким уровнем заселенности сельских территорий регионов с неразвитой социальной, производственной и транспортной инфраструктурой и неуклонно пустеющей год от года сравнительно быстрыми темпами деревней, с одной сто-

⁴Распоряжение Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72074066/>

роны, а с другой – как поступать в регионах с относительно трудоизбыточным сельским населением и малоземельем со своим традиционным укладом сельской жизни, специфическими условиями ведения сельского хозяйства и других видов экономической деятельности. В целом для страны эта проблема по-прежнему остается не только экономической, но одновременно социальной и политической, поскольку она во многом затрагивает всю социально-экономическую систему государства и значительную часть сельского населения, возможности относительного выравнивания уровня жизни сельского и городского населения.

Однако до последнего времени в стране, как правило, многочисленные проблемы пространственного развития сельского хозяйства и сельских территорий, надежного обеспечения продовольственной безопасности рассматривались и решались практически изолированно друг от друга, а не в тесной совокупности и взаимосвязи. Большинство реализуемых директивных документов федерального и регионального уровней в лучшем случае отражали лишь отдельные стороны решения этой сложной фундаментальной проблемы вследствие слабой координации реализации планируемых мероприятий практически на всех уровнях управления агропромышленным комплексом. При решении, например, проблемы надежного обеспечения продовольственной безопасности в первую очередь обращалось внимание на ее производственную сторону, связанную с наращиванием объема государственной поддержки развития основных подотраслей сельского хозяйства. В меньшей мере учитывались возможности улучшения социально-экономического положения сельских жителей и ускоренного развития сельских территорий, особенно в многочисленных депрессивных и проблемных регионах страны. Такой многолетний преимущественно односторонний подход к решению отдельных проблем пространственного развития сельского хозяйства и сельских территорий в конечном счете приводил к разного рода нарушениям баланса между национальными приоритетами и значительным издержкам в реализации государственной социально-экономической и аграрной политики, что негативно отражалось прежде всего на уровне жизни сельского населения, развитии сельских территорий, надежном обеспечении страны сельскохозяйственной и продовольственной продукцией.

Вместе с тем сельские территории, занимая огромную площадь и являясь средой жизнедеятельности одной четвертой части населения страны, по-прежнему остаются многофункциональной системой и базой пространственного развития сельского хозяйства и других видов экономической деятельности на селе. Именно в пространственном развитии сельского хозяйства и сельских территорий сконцентрировалось большинство современных узловых проблем реализации национальной социально-экономической и особенно аграрной политики, развития аграрной сферы экономики, внутреннего агропродовольственного рынка и его основных продуктовых сегментов, а, следовательно, и возможности надежного обеспечения продовольственной безопасности, наращивания экспортных поставок сельскохозяйственной и продовольственной продукции.

Однако, несмотря на еще сохраняющуюся во многом дискриминацию сельских жителей, которая преимущественно выражается в хронически относительно низком уровне их жизни по сравнению с городским населением, сельские территории по-прежнему остаются одной из важнейших социально-экономических сфер общества и государства. Поэтому и решение системных и текущих проблем развития сельского хозяйства в первую очередь связано с созданием необходимых условий не только для его эффективного ведения, но и для функционирования сельских территорий с целью надежного обеспечения продовольственной безопасности страны, достижение которой является одним из важнейших направлений реализации социально-экономической и особенно аграрной политики государства. Это предполагает использование комплексного подхода к одновременному решению проблем сбалансированности пространственного развития сельского хозяйства и сельских территорий за счет рационального использования огромного аграрного потенциала, развития

других сфер экономической деятельности в сельской местности, а также создания более комфортных условий для проживания и жизнедеятельности сельского населения.

Чтобы успешно развивать сельское хозяйство на огромном пространстве страны со значительным многообразием природных, социально-экономических и других условий и не потерять в лице деревни базу воспроизводства народных традиций, уменьшить ускоренный и во многом не контролируемый государством исход сельского населения в города, необходим постоянный поиск более рационального подхода по отношению к развитию села. При этом следует иметь в виду, что и сельское хозяйство, и сельские территории по своей сути многофункциональны. Они, например, одновременно и совместно выполняют не только социально-экономическую функцию, способствуя надежному обеспечению продовольственной безопасности страны, но и сохраняют заселенность ее огромной территории со всеми вытекающими положительными моментами. Поэтому возможность их динамичного развития следует рассматривать во взаимосвязи с государственной социально-экономической и особенно аграрной политикой, являющейся ее важнейшей составляющей. Именно она во многом способствует созданию необходимых условий для развития сельского хозяйства и сельских территорий, обеспечивая, в свою очередь, достижение важнейших макроэкономических показателей развития страны.

В современных условиях и в перспективе пространственная организация сельского хозяйства страны по-прежнему остается основой его развития, традиционно являясь наиболее эффективным и одновременно быстрым и почти повсеместно доступным фактором наращивания производства качественной и конкурентоспособной продукции отрасли. При этом совершенствование пространственного развития сельского хозяйства является закономерным, но одновременно сложным и многообразным процессом общественного разделения труда вообще и территориально-отраслевого в частности. В своей основе оно потенциально во многом способно не только обеспечить эффективное функционирование отрасли, но и способствовать социально-экономическому развитию сельских территорий каждого региона и страны как единого целого, сокращению совокупных издержек, повышению качества и конкурентоспособности сельскохозяйственной и продовольственной продукции и жизненного уровня сельского населения.

Улучшение пространственной организации сельского хозяйства имеет больше реальных предпосылок для своего развития и способно обеспечить более значительный положительный эффект, если постоянно происходит углубление территориально-отраслевого разделения труда в отрасли, усиливается взаимодействие между отдельными регионами, сокращаются между ними социально-экономические различия. При этом сельские территории, традиционно занимая огромные, но во многом слабо заселенные площади страны, одновременно являясь средой обитания и жизнедеятельности одной четверти ее населения, по-прежнему остаются гарантом стабильного пространственного развития государства, в котором многочисленные сельские поселения выступают его своеобразным фундаментом, связывая воедино социально-экономические центры с периферией [3].

В России с ее исторически характерным значительным разнообразием природных, территориальных, социальных, экономических, региональных и многих других условий для ведения сельского хозяйства именно пространственная организация традиционно активно влияет на его развитие, причем двоякого характера, являясь сильно действующим импульсом или, наоборот, постоянным тормозом, а часто и непреодолимым препятствием в силу ряда объективных и субъективных причин. Но именно совершенствование пространственного развития отрасли во многом способно обеспечивать ее эффективное ведение в каждом российском регионе и стране в целом, сокращение совокупных издержек на производство и транспортировку сельскохозяйственной и продовольственной продукции. Как правило, оно наиболее эффективно, когда более четко проявляется межрегиональная, региональная, отраслевая и хо-

зяйственная специализация сельскохозяйственного производства, расширяется и совершенствуется межрегиональный обмен, усиливаются процессы кооперации и интеграции, формирования и развития специализированных высокотехнологичных зон производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции, сориентированных прежде всего на максимальное соответствие природных условий биологическим требованиям и особенностям возделывания каждой сельскохозяйственной культуры и выращивания определенного вида скота.

В последние годы развитие сельскохозяйственного производства характеризуется положительной динамикой, позволившей достичь основных параметров национальной Доктрины продовольственной безопасности в части самообеспечения сельскохозяйственной и продовольственной продукцией по таким их видам, как зерно, растительное масло, сахар, мясо и мясопродукты, рыба и рыбопродукты, картофель. Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» установлены основные параметры дальнейшего развития отрасли. Они связаны с наращиванием объема производства продукции агропромышленного комплекса не менее чем на 25% и ее экспорта не менее чем в 1,5 раза по сравнению с 2021 г. и увеличением объема инвестиций в ключевых отраслях на 70%⁵. Для достижения этих целей потребуются разработка и реализация системы научно обоснованных мер, учитывающих риски, угрозы и вызовы, которые могут оказывать существенное негативное влияние на потенциал сельскохозяйственного производства, его рациональное использование. Согласно национальной Доктрине продовольственной безопасности, среди прочих к ним отнесены отставание развития сельских территорий, неблагоприятная демографическая ситуация, снижение кадрового потенциала отрасли, ее высокая зависимость от природных условий.

Выводы

Эффективность ведения сельского хозяйства напрямую связана не только со смежными его отраслями, но и с качеством и уровнем жизни сельского населения, социально-экономическим развитием сельских муниципальных образований, что обеспечивается развитием социальной, инженерной и транспортной инфраструктуры сельских территорий. Именно во многом недостаточный уровень инфраструктурного обеспечения и благоустроенности сельских территорий приводит к оттоку населения и как следствие к дефициту кадров. Низкая доступность социальных услуг усугубляется нерешенностью проблем транспортного сообщения вследствие износа парка транспортных средств, сокращения количества маршрутов общественного транспорта, плохого качества дорог регионального и муниципального значения. Кроме того, дефицит квалифицированных специалистов становится одной из ключевых проблем развития сельского хозяйства и сельских территорий. В 2023 г. он составлял свыше 200 тыс. человек и колебался в зависимости от подотрасли сельского хозяйства от 30 до 50 %. Учитывая технологическое развитие сельского хозяйства и смежных с ним отраслей, возрастает потребность прежде всего в высококвалифицированных кадрах.

Согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года основная задача развития социальной сферы села – это сокращение дифференциации в социально-экономическом развитии территорий за счет роста обеспеченности инфраструктурой опорных населенных пунктов в сельской местности. Ее решение возможно за счет комплексного пространственного развития, обеспечения дифференцированного подхода к направлениям и мерам государственной поддержки функционирования опорных населенных пунктов, учитывающего их особенности и динамику развития, специфику природных условий и роль сельских территорий. В этой связи

⁵Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» // Информационно-правовой портал Гарант.ПВ: офиц. сайт. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/?ysclid=llqvv2vyzt788279274>.

разработка научно обоснованных предложений по приоритетным направлениям развития сельского хозяйства и социально-экономического развития сельских территорий, обеспечивающих эффективное пространственное развитие сельского хозяйства и смежных с ним отраслей экономики в рамках реализуемых государственных программ и проектов, приобретает особую актуальность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтухов А. И. Пространственное развитие сельского хозяйства страны: проблемы и возможные пути решения // АПК: экономика, управление. 2020. № 12. С. 48–55. DOI: 10.33305/2012-48. EDN: LWANZV
2. Алтухов А. И. Основные направления пространственного развития сельского хозяйства страны // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 11(68). С. 5–22. DOI: 10.33938/2011-5. EDN: ZDTJWN
3. Алтухов А. И. Пространственное развитие зернового хозяйства России: моногр. М.: Сам полиграфист, 2022. 880 с. ISBN: 978-5-00166-661-5. EDN: WWLJQS

REFERENCE

1. Altukhov A.I. Spatial development of the country's agriculture: problems and possible solutions. *APK: ekonomika, upravleniye* [AIC: economics, management]. 2020. No. 12. Pp. 48–55. DOI: 10.33305/2012-48. EDN LWANZV. (In Russian)
2. Altukhov A.I. The main directions of spatial development of the country's agriculture. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* [Economy, labor, management in agriculture]. 2020. No. 11 (68). P. 5–22. DOI: 10.33938/2011-5. EDN ZDTJWN. (In Russian)
3. Altukhov A.I. *Prostranstvennoye razvitiye zernovogo khozyaystva Rossii* [Spatial development of grain farming in Russia]: monograph. Moscow: Sam poligrafist, 2022. 880 p. ISBN: 978-5-00166-661-5. EDN: WWLJQS. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторе

Алтухов Анатолий Иванович, д-р экон. наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, зав. отделом, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства»;

123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, 35, корп. 2;

a.i. altuhov@vniiesh.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3740-2436>, SPIN-код: 9401-7037

Information about the author

Anatoly I. Altukhov, Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of Department, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics”;

123007, Russia, Moscow, 35, build. 2 Khoroshevskoe shosse;

a.i. altuhov@vniiesh.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3740-2436>, SPIN-code: 9401-7037

УДК 658.7

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-154-169

EDN: VDPGME

Научная статья

Цифровая кооперация в пассажирских авиаперевозках как фактор повышения качества обслуживания пассажиров

К. К. Лавская¹, С. Е. Барыкин¹, С. Г. Божук¹, Е. А. Макаренко^{1,2}

¹Институт промышленного менеджмента и торговли
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50

²Институт технологий предпринимательства и права
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

Аннотация. Статья посвящена исследованию темы цифровой кооперации в пассажирских авиаперевозках, основная идея которой заключается в объединении всех участников процесса пассажирских авиаперевозок и сопутствующих услуг на единой цифровой платформе для повышения качества обслуживания пассажиров и повышения конкурентоспособности авиаперевозок. Цель исследования заключается в разработке схем взаимодействия участников цифровой кооперации на рынке пассажирских авиаперевозок. Авторами представлены результаты проведенного контент-анализа, отображающего современное состояние и тенденции функционирования рынка воздушных авиаперевозок на примере деятельности и количества авиационных и неавиационных партнеров таких российских авиакомпаний, как «Россия», «КрасАвиа», «РусЛайн» и «2-й Архангельский объединенный авиаотряд». Выявлено значительное количество партнеров у авиакомпаний, что подтверждает актуальность темы цифровой кооперации для дальнейшего повышения качества взаимодействия участников рынка и обслуживания авиапассажиров. В регионах, где авиаперевозки представляют собой основной вид транспорта и играют ключевую роль в мобильности граждан, реализация цифровой кооперации позволит повысить информированность и комфорт при планировании и осуществлении перемещения, что способствует развитию сопутствующих услуг, необходимых в процессе путешествия, внося вклад в предпринимательское и инфраструктурное развитие регионов Российской Федерации. В качестве темы научной дискуссии авторы предлагают обсудить возможное влияние цифровой кооперации на повышение качества жизни населения на примере регионов, где авиаперевозки играют ключевую роль в мобильности граждан.

Ключевые слова: цифровая кооперация, пассажирские авиаперевозки, воздушный транспорт, авиакомпания, взаимодействие, рынок пассажирских авиаперевозок, логистика пассажирских авиаперевозок, маркетинг, экономика сферы услуг

Поступила 06.02.2025, одобрена после рецензирования 23.04.2025, принята к публикации 05.05.2025

Для цитирования. Лавская К. К., Барыкин С. Е., Божук С. Г., Макаренко Е. А. Цифровая кооперация в пассажирских авиаперевозках как фактор повышения качества обслуживания пассажиров // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 154–169. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-154-169

Digital cooperation as a quality improvement factor in passenger air transportation services

K.K. Lavskaya¹, S.E. Barykin¹, S.G. Bozhuk¹, E.A. Makarenko^{1,2}

¹Institute of Industrial Management and Trade

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195251, Russia, St. Petersburg, 50 Novorossiyskaya street

²Institute of Entrepreneurship Technologies and Law

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

190000, Russia, St. Petersburg, 67 Bolshaya Morskaya street

Abstract. The article focuses on digital cooperation in the field of passenger air transport. The main idea is to bring together all the participants in the passenger air transport process and related services on a single digital platform, with the aim of improving passenger service quality and increasing the competitiveness of air transport. The study targets to develop interaction schemes between participants in digital cooperation within the passenger air transport market. The authors present the results of a content analysis reflecting the current state of, and trends in, the air transport market, using the activities and number of aviation and non-aviation partners of Russian airlines such as Russia, KrasAvia, RusLine and the 2nd Arkhangelsk United Air Squadron as an example. A significant number of airline partners were identified, confirming the relevance of digital cooperation in improving interaction quality between market participants and air passengers. In regions where air travel plays a key role in citizens' mobility, implementing digital cooperation makes travel planning and execution more convenient and raises awareness of related services. This contributes to the entrepreneurial and infrastructural development of regions in the Russian Federation. The authors propose discussing the potential impact of digital cooperation on improving quality of life, using regions where air transport is key to citizens' mobility as an example.

Keywords: digital cooperation, passenger air transportation, air transport, airline, interaction, passenger air transportation market, passenger air logistics, marketing, service economy

Submitted 06.02.2025,

approved after reviewing 23.04.2025,

accepted for publication 05.05.2025

For citation. Lavskaya K.K., Barykin S.E., Bozhuk S.G., Makarenko E.A. Digital cooperation as a quality improvement factor in passenger air transportation services. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 154–169. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-154-169

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы успешно справляться с современными вызовами, в которых вынуждена осуществлять свою деятельность отрасль гражданской авиации, по мнению авторов, необходимо активно внедрять цифровые технологии. Пандемия стала драйвером развития и внедрения цифровых технологий по всему миру [1, с. 1990; 2, с. 2]. В качестве примеров активно применяющихся технологий в обслуживании авиапассажиров после COVID-19 выступают мобильные приложения для покупки и бронирования авиабилетов, онлайн-регистрации и получения информации о рейсе [3, с. 34]. Однако авторы убеждены, что важно также развивать сетевые системы для обмена данными между авиапредприятиями, государственными структурами и пользователями, чтобы обеспечить более быструю и эффективную работу воздушного транспорта, и повышения качества обслуживания авиапассажиров. Уже сейчас активно применяются различные подходы к внедрению цифровых двойников [4, с. 2; 5, с. 2142; 6, с. 3],

в том числе в торговые сети [7, с. 2], и исследуется омниканальное деловое взаимодействие [8, с. 225; 9, с. 104; 10, с. 38; 11, с. 1999; 12, с. 2; 13, с. 56; 14, с. 175].

Текущее исследование является продолжением таких работ, как [15, с. 192; 16, с. 41], где в качестве ключевого фактора успешного сотрудничества между участниками рынка пассажирских авиаперевозок выступает цифровая кооперация. Под цифровой кооперацией предлагается понимать среду, в которой участники (авиакомпания, авиационный/неавиационный партнер авиакомпании, государство и пользователь) могут симбиотически сотрудничать на единой цифровой платформе, чтобы обеспечить бесперебойную работу в онлайн- и офлайн-среде, предоставляющую максимальный выбор услуг и товаров, связанных с пассажирскими авиаперевозками, для удовлетворения индивидуальных предпочтений пользователей.

Развивая идею цифровой кооперации, авторами была поставлена следующая цель для текущего исследования: рассмотреть современное состояние и тенденции функционирования рынка воздушных авиаперевозок на примере нескольких авиакомпаний с учетом схемы взаимодействия участников цифровой кооперации из [16, с. 44].

МЕТОДОЛОГИЯ

В процессе исследования авторами был использован метод поиска источников в наукометрических библиотечных системах eLIBRARY и Киберленинка, а также в сети интернет через поиск по ключевым словам: цифровизация в обслуживании авиапассажиров, цифровизация воздушного транспорта, авиакомпания «Россия», авиакомпания «КрасАвиа», авиакомпания «РусЛайн», «2-й Архангельский объединенный авиаотряд». Применен метод сравнения и контент-анализа для составления схем взаимодействия участников рынка пассажирских авиаперевозок на примере деятельности российских авиакомпаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее открытыми для исследования современного состояния и тенденций функционирования рынка воздушных авиаперевозок являются АО «Авиакомпания «Россия» из числа крупнейших авиакомпаний, АО «КрасАвиа», специализирующееся на внутренних и региональных перевозках в Сибири и на Дальнем Востоке, АО «АК «РусЛайн», осуществляющее перевозки по России, АО «2-й Архангельский объединенный авиаотряд», выполняющее рейсы по перевозке грузов и пассажиров в Архангельской области. Для демонстрации взаимодействия авиакомпаний с иными участниками рынка за основу взята теоретическая схема из [16, с. 44]. На основе открытых данных в текущем исследовании представлены схемы взаимодействия каждой из названных авиакомпаний.

Акционерное общество «Авиакомпания «Россия» входит в 5 крупнейших авиаперевозчиков России среди таких авиакомпаний, как «Аэрофлот», «S7 Airlines», «Победа», «Уральские авиалинии». На рынке авиакомпаний, осуществляющих внутренние и международные пассажирские и грузовые рейсы, помимо АК «Россия», действуют 18 авиакомпаний. География полетов АК «Россия» охватывает большинство городов-миллионников (Екатеринбург, Нижний Новгород, Самара, Уфа, Красноярск, Волгоград, Казань, Пермь, Новосибирск), а также города Киргизии, Армении, Египта, Кубы, Турции, ОАЭ, Китая и Шри-Ланки. Парк авиакомпании насчитывает 137 воздушных судов, из которых 78 – отечественные «Суперджет 100» (данные на 15.08.2023 г.) (рис. 1).

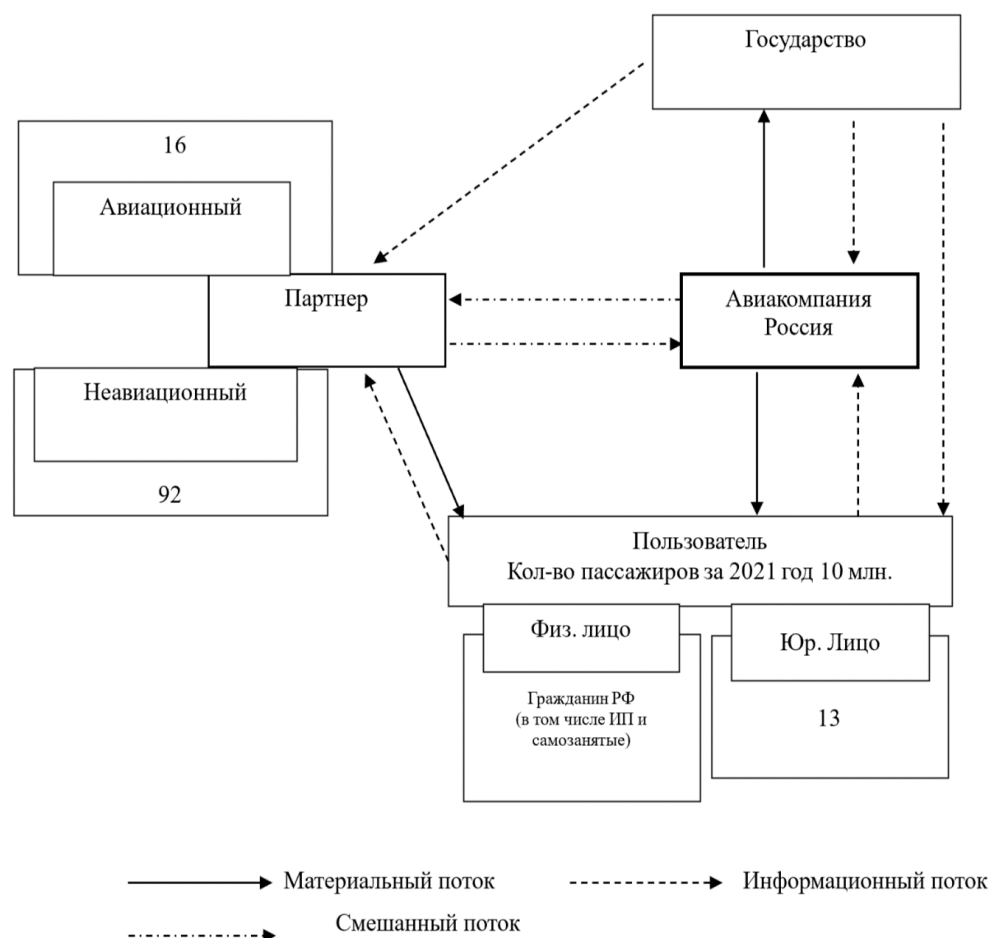


Рис. 1. Схема взаимодействия АО «Авиакомпания «Россия» с участниками авиационного рынка¹

Fig. 1. The interaction scheme between JSC Russia Airlines and participants in the aviation market

Авиакомпания «Россия» имеет широкую сеть партнеров, включающую авиационные и неавиационные предприятия. Также в авиакомпании принята программа партнерства с субъектами малого и среднего предпринимательства, распространяющаяся на процедуры закупки товаров, работ и услуг для нужд АО «Авиакомпания «Россия». Среди авиационных партнеров ООО «Рускайгрупп» (поставщик продукции для обслуживания и ремонта авиационной техники), ООО «Одолень-Авиа» (дистрибьютор авиационных смазочных материалов AEROSHELL в России), ООО «Техноавиа – Санкт-Петербург» (филиал производителя спецодежды и обуви «Техноавиа»), ООО «Скайвэй» (поставки buffetно-кухонного оборудования и предметов бортового сервиса) и др. Неавиационные партнеры включают в себя ООО «Ольмакс – Санкт-Петербург» (строительное оборудование и техника), ООО «Центр чистоты «Альянс плюс» (дистрибьютор клинингового оборудования), АО «СИТЭС-ЦЕНТР» (подрядчик по реализации инженерных проектов), ООО «Комплексные информационные технологии» (поставщик компьютеров, серверов, комплектующих и периферии), ООО «Анком» (IT-услуги), ООО «Перформанс маркетинг Групп» (рекламное агентство), ООО «Мистер Браун» (кофейное производственное предприятие), ЗАО «ДОНОБУВЬ» (обувное предприятие), ООО «Комбинат питания

¹Авиакомпания «Россия» Официальный сайт. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.rossiya-airlines.com>

«Ржевка» (организация общественного питания), ООО «Лабриум-консалтинг» (оценочная компания), ООО «Межрегиональный Сертификационный Центр» и пр.

В число юридических лиц, являющихся пользователями услуг АК «Россия», входят коммерческие организации, такие как туроператоры ООО «Библио Глобус туроператор», ООО «Альтаир тревел», ООО «Пегас туристик» и другие, спортивные клубы АО «ФК Зенит», АО «ФК «Динамо-Москва» и хоккейный клуб СКА, также АО «Авиакомпания «Аврора», АО «Вологодское авиационное предприятие», АО «Авиакомпания «Победа». В числе некоммерческих организаций ФКУ «Северо-Западный АПСЦ», ФГУП «Государственная корпорация по организации воздушного движения в Российской Федерации» (рис. 2).

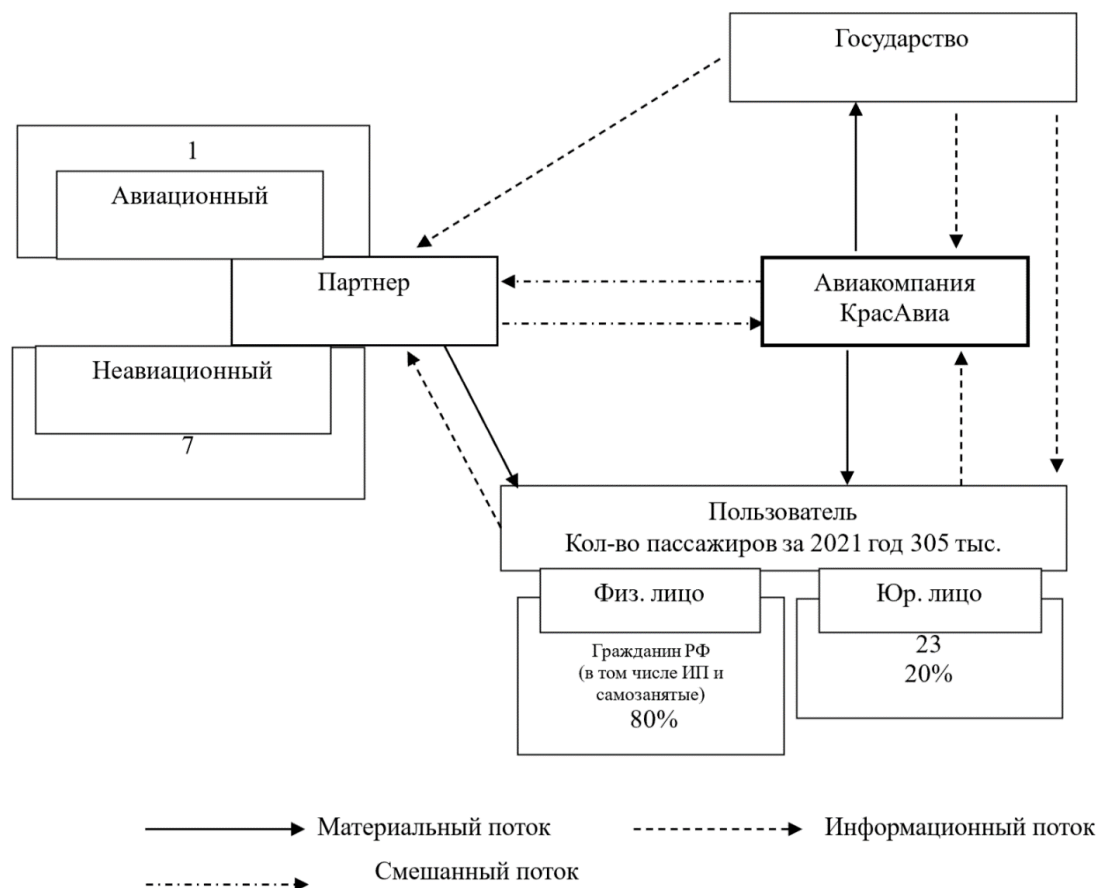


Рис. 2. Схема взаимодействия АО «КрасАвиа» с участниками авиационного рынка²

Fig. 2. The interaction scheme between JSC KrasAvia and participants in the aviation market.

Акционерное общество «Авиакомпания «КрасАвиа» является региональным перевозчиком, базирующимся в Красноярском крае. На рынке региональных авиакомпаний действуют, включая АК «КрасАвиа», 12 авиакомпаний. Маршрутная сеть включает в себя 31 регулярное направление без учета внутримunicipальных вертолетных перевозок и охватывает территории Сибири, Забайкалья и Якутии. Осуществляется международный перелет в столицу Монголии Улан-Батор. Парк АК «КрасАвиа» насчитывает 48 бортов, 22 из которых являются пассажирскими вертолетами Ми-8³.

²Авиакомпания «КрасАвиа». Официальный сайт. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://крас-авиа.рф/>

³Самолеты КрасАвиа. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://kras-avia.com/samolety/?ysclid=lt1icxhh44467677698>

Авиакомпания имеет 8 партнеров, среди которых авиационный партнер ООО «СКС» «Сибирь Карго Сервис» – грузовой оператор аэропорта «Красноярск», и 7 неавиационных партнеров, среди которых страховые компании АО «АльфаСтрахование» и СПАО «Ингосстрах», транспортно-экспедиционные компании ООО «Скайгрупп», ООО «ТЭК «Евразия» и др.

Пользователями услуг АК «КрасАвиа» из числа юридических лиц являются некоммерческие организации, такие как КГБУЗ «Краевая клиническая больница», Магаданское ОГБУ «Северо-Восточная база авиационной и наземной охраны лесов», ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», администрация Эвенкийского муниципального района Красноярского края, Таймырское МКОУ «Хатангская средняя школа-интернат», ФКУ «Управление по конвоированию главного управления ФСИН по Красноярскому краю», администрация городского поселения Диксон и др. (рис. 3).

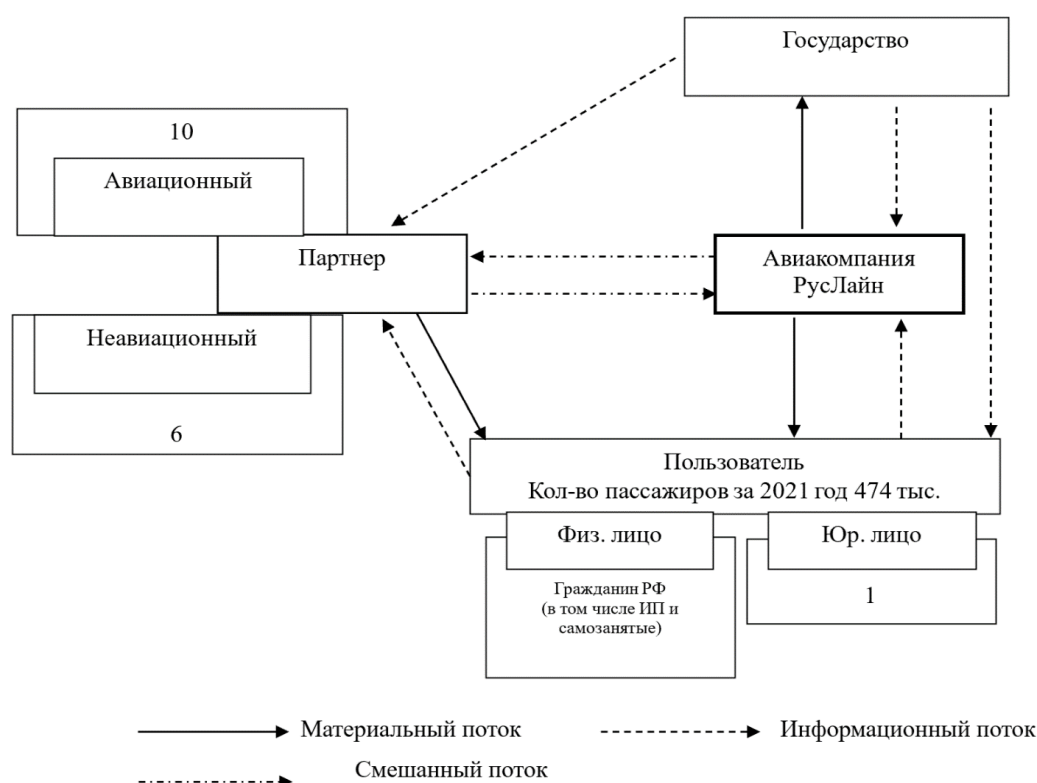


Рис. 3. Схема взаимодействия АО «АК «РусЛайн» с участниками авиационного рынка⁴

Fig. 3. The interaction scheme between JSC RusLine and participants in the aviation market.

Акционерное общество «Авиакомпания «РусЛайн» – это региональная авиакомпания, осуществляющая более 20 маршрутов по России с выполнением полетов из таких городов, как Москва, Архангельск, Воркута, Екатеринбург, Казань, Киров, Котлас, Нарьян-Мар, Пермь, Тамбов, Уфа и т.д.

Парк насчитывает 8 среднемагистральных воздушных судов. Авиакомпания имеет 16 партнеров. Среди авиационных ООО «РусЛайн техникс» – центр технического обслуживания и ремонта авиационной техники, АО «Аэропорт Белоярский», топливо-заправочные комплексы ООО «ТЭК-Архангельск», ООО «ТЭК Аэрофьюэлз», АО «ТЭК «Славнефть-Туноша», авиатопливный оператор АО «Газпромнефть-Аэро» и др. Неавиационные партнеры

⁴Авиакомпания «РусЛайн». Официальный сайт. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.rusline.aero/about/rusline/>

включают в себя туроператора ООО «ИННА ТУР», общероссийскую общественную организацию «Деловая Россия» и прочие.

Пользователем услуг авиакомпании «РусЛайн» из числа юридических лиц выступает некоммерческая организация ГБУК КО «Инновационный культурный центр».

АО «2-й Архангельский объединенный авиаотряд» выполняет коммерческие воздушные перевозки и все виды авиационных работ, обслуживая местные воздушные линии на территории Архангельской области и Ненецкого автономного округа, действуя на рынке, где осуществляют свою деятельность еще 5 местных авиакомпаний. Крупнейшее вертолетное предприятие Северо-Западного региона РФ. Является оператором аэропорта «Васьково». Имеет 23 воздушных судна (самолеты и вертолеты) и собственную базу авиационно-технического обслуживания. Совершает вылеты по расписанию в Верхнюю Золотицу, Койду, Мезень, Лешуконское, Соловки, Сафоново и т.д.

2-й Архангельский объединенный авиаотряд имеет 9 партнеров. В числе авиационных ФГАУ ДПО «Архангельский авиационный учебный центр», ФБУ «Архангельский ЦСМ», ООО «Северо-Западный региональный центр аэронавигационный информации», АО «Московский АРЗ ДОСААФ», ООО «МОС ЦАИ». Неавиационные партнеры: ООО «Политпрофторг», АО «СОГАЗ», ООО «Велибор», АО «Санаторий «Актер» (рис. 4).

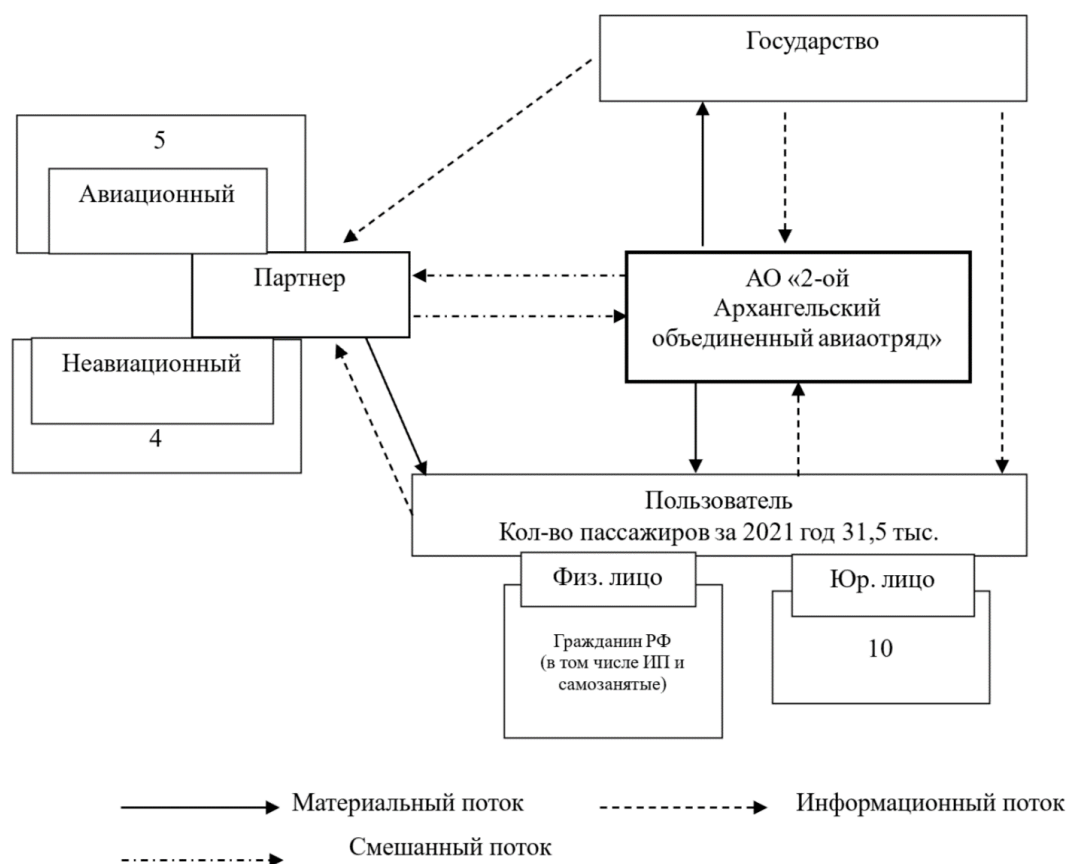


Рис. 4. Схема взаимодействия АО «2-й Архангельский объединенный авиаотряд» с участниками авиационного рынка⁵

Fig. 4. The interaction scheme between JSC “2nd Arkhangelsk United Aviation Squadron” and participants in the aviation market.

⁵Авиакомпания «2-й Архангельский объединенный авиаотряд». Официальный сайт. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.2aoao.ru/>

Пользователями услуг авиакомпании из числа юридических лиц выступают коммерческая организация АО «Нарьян-Марский объединенный авиаотряд» и некоммерческие ГБУЗ АО «АОКБ» (Архангельская областная клиническая больница), Северный филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», администрация губернатора Архангельской области и правительства Архангельской области, ФГБУ «Чукотское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» и др.

Юридические лица в качестве пользователей чаще всего осуществляли заказ у авиакомпаний на:

- авиаперевозку медицинского персонала с целью оказания помощи;
- доставку группы в места тушения лесного пожара и обратно;
- обследование территории и водной поверхности для обнаружения потерпевших бедствие;
- обследования территории и водной поверхности для уточнения обстановки в районе ЧС;
- наведение наземных поисково-спасательных сил на объекты поиска;
- эвакуацию пострадавших из районов (объектов) бедствий на суше и с водной поверхности;
- тренировочные спуски на спуско-подъемном устройстве;
- услуги по воздушной перевозке грузов и пассажиров до научного стационара и пр.

Каждая проанализированная авиакомпания демонстрирует широкую сеть взаимодействий с различными организациями, учреждениями и пользователями. По мнению авторов, реализация цифровой кооперации позволит обеспечить бесперебойную работу участников рынка в онлайн- и офлайн-среде, а также расширит данную сеть взаимодействия для предоставления максимального выбора услуг и товаров, связанных с пассажирскими авиаперевозками, для удовлетворения индивидуальных предпочтений пользователей, а также будет способствовать решению проблемы анализа и планирования спроса на услуги, обозначенной в [17, с. 1].

НАУЧНАЯ ДИСКУССИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Авторы предлагают обсудить возможное влияние цифровой кооперации на повышение качества жизни населения на примере регионов, где авиаперевозки играют ключевую роль в мобильности граждан.

В перечень особенностей Российской Федерации входят обширность территории и существенная географическая отдаленность между регионами страны, как, например, между Дальним Востоком и другими регионами, где воздушный транспорт является безальтернативным [18, с. 186]. Важную роль воздушный транспорт играет и в Арктической зоне Российской Федерации с малой плотностью населения и важностью тех немногочисленных ключевых точек размещения населения, в которых расположены стратегические и ресурсные объекты РФ [19, с. 160].

Одним из перспективных направлений совершенствования транспортной системы Арктики является формирование цифровых платформ для координации деятельности всех объектов транспортной инфраструктуры региона [20, с. 1], что подчеркивает актуальность реализации цифровой кооперации. Также разработка единой цифровой платформы транспортного комплекса РФ находится в зоне интересов Министерства транспорта Российской Федерации [21, с. 75] для возможности интеграции сервисов и наборов данных в единую экосистему.

По мнению авторов, при наличии значительного количества участников, услуг, предложений и процессов на цифровой платформе пользовательский интерфейс становится ключевым

фактором для обеспечения удобства и эффективности использования платформы в условиях цифровой кооперации. Интерфейс должен быть удобным, интуитивно понятным, позволяющим пользователям получить доступ ко всем услугам, товарам и информации. Наибольшее значение приобретает функция персонального подбора и фильтрации предложений.

Исходя из вышеобозначенного, авторы делают вывод, что технологии, позволяющие интегрировать различные сервисы и объединять участников, могут быть успешно дополнены опцией разумного цифрового помощника, являющегося вспомогательным инструментом или проводником для упрощения процесса взаимодействия с каталогом услуг, баз данных и в целом повышения качества обслуживания.

Под разумным цифровым помощником для омниканального обслуживания авиапассажиров авторы предлагают понимать цифровую модель формирования совокупности данных о бизнес-ценности, получаемых в режиме онлайн.

Разрабатываемая система предположительно будет обладать характеристиками осознанности, выходящими за рамки современных «узких ИИ», поэтому использование термина «sentient assistant» (разумный цифровой помощник) может быть обосновано и приносит научную новизну. На данном этапе основные подходы можно рассматривать в концепции узких ИИ.

Предлагаемый концепт разумного помощника предполагает наличие такого качества, которое отвечает потребностям пользователей, как осознанность (sentience). Применительно к разрабатываемой системе осознанность может включать в себя:

- способность к субъективному переживанию опыта, наличие ощущений и квалиа (qualia), аналогичных человеческим;
- развитие чувств, эмоций и способности к эмпатии;
- зарождение сознания как эмерджентного свойства из взаимодействия компонентов системы;
- возникновение ощущений у пользователей о наличии самосознания, понимание себя как отдельной сущности;
- у пользователей появляется ощущение, что у помощника наблюдается возникновение собственных намерений, желаний и мотиваций, не привязанных к исходному программированию.

Стартовый перечень возможностей для пользователей, использующих цифровую платформу, может включать в себя следующее:

- заказ билетов на рейсы авиакомпании и ее партнеров с функцией подбора, сравнения цен;
- получение информации о расписании рейсов, задержках и изменениях в гейтах в режиме реального времени;
- возможность отследить перемещение багажа;
- оформление регистрации на рейс и получение посадочного талона с проверкой требований к паспортам;
- выбор и оплата дополнительных услуг, связанных с перелетом (выбор места на борту самолета, багаж, VIP-зал и т.д.);
- заказ трансфера до и от аэропорта;
- ознакомление с предложениями кафе и магазинов в аэропорту, предварительный заказ товаров и услуг;
- заказ номера в отеле-партнере авиакомпании;
- получение скидки и специальных предложений от партнеров авиакомпании и т.п.

В таблице 1 представлен пример взаимодействия с цифровым помощником в случае внесения изменений в план путешествия.

Таблица 1. Взаимодействие с цифровым помощником при переносе рейса из-за погодных условий на 6 часов и необходимости внесения изменений в план путешествия

Table 1. Interacting with a digital assistant when a flight is postponed by six hours due to adverse weather conditions, resulting in the need to adjust the travel plans.

Участник взаимодействия	Пример диалога
Пользователь	Добрый день, ваш рейс № (номер) был перенесен из-за погодных условий на 6 часов. Новое время вылета (время). Необходимо отменить или переоформить заказ такси, услуг по сопровождению в аэропорту, столика в ресторане и других услуг. Рекомендую перенести время подачи такси к дому на (время) и в (городе прилета) на (время). В наличии есть автомобили выбранного Вами класса обслуживания. Услуги по сопровождению в аэропорту в (город вылета) и (город прилета) можем перенести на (время) и (время). Администрация отеля будет предупреждена об изменении времени заселения. Столик в ресторане (название) перенести не сможем из-за отсутствия свободных мест, но могу порекомендовать ресторан (название). У него высокий рейтинг среди посетителей и находится чуть дальше. Меню соответствует первоначальному выбору ресторана. Подтверждаете внесение изменений?
Водитель такси № 1 в городе вылета	В режиме реального времени Изменения по заказу №000001. Заказ отменен. Хорошего дня!
Водитель такси № 2 в городе вылета	Предварительное взаимодействие Здравствуйте! Напоминаю про заказ №000001. Подтвердите заказ. Ваш заказ успешно подтверждён. Вас будут ожидать по адресу (адрес) в (время). Пункт назначения – аэропорт. Вес багажа (кг). Напоминаю про необходимость помощи с погрузкой багажа в автомобиль В режиме реального времени Заказчик уже ожидает автомобиль по адресу (адрес)
Работник аэропорта в городе вылета	В режиме реального времени Добрый день! Изменения по заказу №000001. Заказчик прибудет в (зона аэропорта) в (время). Вес багажа (кг). Рейс (номер). Время вылета (время). Gate (номер). Подтвердите изменения. Изменения успешно подтверждены. В режиме реального времени Заказчик прибыл в (зона аэропорта)
Работник аэропорта в городе прилета	В режиме реального времени Добрый день! Изменения по заказу №000001. Заказчик прибудет рейсом (номер) в (время). Вес багажа (кг) В режиме реального времени Заказчик прибыл в (зона аэропорта) Такси ожидает в (зона аэропорта)
Водитель такси № 1 в городе прилета	В режиме реального времени Изменения по заказу №000001. Заказ отменен. Хорошего дня!
Водитель такси № 2 в городе прилета	Предварительное взаимодействие Добрый день! Напоминаю про заказ №000001. Подтвердите заказ. Ваш заказ успешно подтверждён. Вас будут ожидать по адресу (адрес) в (время). Пункт назначения – отель (название, адрес) В режиме реального времени Заказчик прибыл

Работник отеля в городе прилета	В режиме реального времени Добрый день! Изменения по заказу №000001. Заказчик прибудет в (время). Подтвердите изменения. Изменения успешно подтверждены. Напоминаю про необходимость помощи заказчику с доставкой багажа в номер В режиме реального времени Заказчик прибыл
Администратор ресторана № 1 в городе прилета	В режиме реального времени Изменения по заказу №000001. Заказ отменен. Хорошего дня!
Администратор ресторана № 2 в городе прилета	Предварительное взаимодействие Добрый день! Напоминаю про заказ №000001. Подтвердите заказ. Ваш заказ успешно подтверждён. Заказчик прибудет в (время) В режиме реального времени Заказчик прибыл

Выгода от кооперации характеризуется рядом экономических показателей, среди которых выручка, прибыль, производительность труда и другие, их изменение свидетельствует об уровне эффективности модели взаимодействия. Реализация цифровой кооперации в сфере пассажирских авиаперевозок будет способствовать цифровой трансформации транспортной и других отраслей за счет ускоренного внедрения новых технологий. Положительные эффекты могут быть представлены в увеличении спроса на внутренние авиаперевозки и сопутствующие товары и услуги; содействии в реализации национального проекта «Цифровая экономика», позволяющего достичь технологического суверенитета страны; повышении доступности туристического продукта, а также в совершенствовании управления в сфере туризма и проч. Авторами предлагается классифицировать эффекты от реализации цифровой кооперации на экономические, социальные, маркетинговые и инновационные (табл. 2).

Таблица 2. Классификация эффектов цифровой кооперации

Table 2. Classification of digital cooperation effects

Направления	Предполагаемые эффекты
Экономические эффекты	Рост объемов реализации для всех участников кооперации. Рост прибыли для всех участников кооперации
Социальные эффекты	Повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий. Повышение цифровых компетенций населения. Поддержка предприятий через участие в цифровой кооперации. Содействие развитию туристической индустрии. Повышение доступности и удобства пассажирских перевозок
Маркетинговые эффекты	Рост удовлетворенности пользователей за счет персонализации обслуживания
Инновационные эффекты	Увеличение доли пассажиров воздушных перевозок, идентифицируемых с помощью биометрических технологий. Доля перевозочных документов, оформляемых в электронном виде. Прирост количества технологических внедрений и изменений. Развитие инфраструктуры вычисления и хранения данных

Эффекты для субъектов рынка авиаперевозок от реализации цифровой кооперации представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Эффекты для субъектов рынка авиатransпортов от реализации цифровой кооперации (составлено на основе схемы в [18, с. 187])

Fig. 5. The effects on the subjects of the air transportation market of implementing digital cooperation (compiled on the basis of the scheme in [18, p. 187]).

Пассажиры получают персонализированный подход в обслуживании, возможность более простого выбора всех необходимых услуг для комфортного путешествия. Авиакомпании смогут улучшить свою доходность за счет повышения загрузки рейсов и оптимизации расходов. Авиационные и неавиационные партнеры также получают дополнительные источники доходов за счет увеличения пассажиропотока, развития связанных сервисов. Цифровая кооперация в авиатransпорте, по мнению авторов, будет способствовать социально-экономическому развитию регионов и росту экономики страны в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОоды

Результаты проведенного исследования подтверждают значимость цифровой кооперации в пассажирских авиатransпортах для улучшения качества обслуживания и эффективности работы рынка. Современные тенденции демонстрируют необходимость объединения всех участников процесса на единой платформе, что позволит улучшить взаимодействие и удовлетворенность как пассажиров, так и иных участников процесса пассажирских авиатransпортов и сопутствующих услуг. Учитывая, что экономическая результативность авиакомпаний находится в прямой и непосредственной зависимости от устройства и ведения коммерческой работы в том числе аэропорта [22, с. 161], цифровая кооперация становится инструментом оптимизации процессов, увеличения эффективности и снижения издержек. Цифровая кооперация может стать ключевым шагом к повышению качества обслуживания пассажиров и повышению качества жизни населения.

Исследование вносит вклад в развитие теории омниканального маркетинга в сфере авиаперевозок, предлагая новую модель взаимодействия с пользователями на основе разумного цифрового помощника. Практическая значимость отражается в возможности использования результатов исследования в повышении качества обслуживания (создание более комфортной и безопасной среды для путешествующих граждан); увеличении эффективности работы предприятий (автоматизация процессов и улучшение взаимодействия между участниками цифровой кооперации); привлечении новых клиентов (синергетический эффект от объединения услуг); развитии цифровой инфраструктуры (создание цифровой экосистемы туризма, объединяющей различные услуги и предприятия на единой платформе).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bai C., Quayson M., Sarkis J. COVID-19 pandemic digitization lessons for sustainable development of micro-and small-enterprises. *Sustain. Prod. Consum.* 2021. Vol. 27. Pp. 1989–2001. DOI: 10.1016/j.spc.2021.04.035
2. Donida B., da Costa C.A., Scherer J.N. Making the COVID-19 pandemic a driver for digital health: brazilian strategies. *JMIR Public Health Surveill.* 2021. Vol. 7. No. 6. P. e28643. DOI: 10.2196/28643
3. Ерохин Д. Ф., Зайцева И. В. Инновационные решения авиакомпаний в условиях эпидемиологического кризиса // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции, Пенза, 22–23 октября 2021 г. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 32–35. EDN: DCKKWZ
4. Erokhin D.F., Zaitseva I.V. Innovative solutions for airlines in the context of an epidemiological crisis. *Strategicheskoye razvitiye innovatsionnogo potentsiala otrasley, kompleksov i organizatsiy* [Strategic development of the innovative potential of industries, complexes and organizations]: *Sbornik statey IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 22–23 oktyabrya 2021 g.* Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021. Pp. 32–35. EDN: DCKKWZ. (In Russian)
5. Booyse W., Wilke D.N., Heyns S. Deep digital twins for detection, diagnostics and prognostics. *Mechanical Systems and Signal Processing.* 2020. Vol. 140. P. 106612. DOI: 10.1016/j.ymsp.2019.106612
6. Marmolejo-Saucedo J.A. Design and development of digital twins: a case study in supply chains. *Mobile Networks and Applications.* 2020. Vol. 25. No. 6. Pp. 2141–2160. DOI: 10.1007/s11036-020-01557-9
7. Lu Y., Liu C., Wang K. I.-K. et al. Digital twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.* 2020. Vol. 61. P. 101837. DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101837
8. Sacks R., Brilakis I., Pikas E. et al. Construction with digital twin information systems. *Data-Centric Engineering.* 2020. Vol. 1. P. e14. DOI: 10.1017/dce.2020.16
9. Hossain T.M.T., Akter S., Kattiyapornpong U., Dwivedi Y. Reconceptualizing integration quality dynamics for omnichannel marketing. *Industrial Marketing Management.* 2020. Vol. 87. No. 4. Pp. 225–241. DOI: 10.1016/j.indmarman.2019.12.006
10. Cui T.H., Ghose A., Halaburda H. et al. Informational challenges in omnichannel marketing: remedies and future research. *Journal of Marketing.* 2021. Vol. 85. No. 2. P. 002224292096881. DOI: 10.1177/0022242920968810

10. Lee W.-J. Unravelling consumer responses to omni-channel approach. *Journal of theoretical and applied electronic commerce research*. 2020. Vol. 15. No. 3. Pp. 37–49. DOI: 10.4067/S0718-18762020000300104

11. Gao W., Fan H. Omni-channel customer experience (in) consistency and service success: a study based on polynomial regression analysis. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 2021. Vol. 16. No. 6. Pp. 1997–2013. DOI: 10.3390/jtaer16060112

12. Hajdas M., Radomska J., Silva S.C. The omni-channel approach: a utopia for companies? *Journal of Retailing and Consumer Services*. 2020. Vol. 65. P. 102131. DOI: 10.1016/j.jretconser.2020.102131

13. Saghiri S., Wilding R., Mena C., Bourlakis M. Toward a three dimensional framework for omni-channel. *Journal of Business Research*. 2017. Vol. 77. No. 2. Pp. 53–67. DOI: 10.1016/j.jbusres.2017.03.025

14. Verhoef P.C., Kannan P.K., Inman J.J. From multi-channel retailing to omni-channel retailing: introduction to the special issue on multi-channel retailing. *Journal of Retailing*. 2015. Vol. 91. No. 2. Pp. 174–181. DOI: 10.1016/j.jretai.2015.02.005

15. Лавская К. К., Барыкин С. Е., Капустина И. В., Карманова А. Е. Роль цифровых платформ в улучшении качества жизни: перспективы внедрения цифровой кооперации // В кн. Глобальные вызовы цифровой трансформации рынков. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2023. С. 192–208. EDN: GHMRYK

Lavskaya K.K., Barykin S.E., Kapustina I.V., Karmanova A.E. The role of digital platforms in improving the quality of life: prospects for the introduction of digital cooperation. *Global'nyye vyzovy tsifrovoy transformatsii rynkov* [Global challenges of digital transformation of markets]. St. Petersburg: Polytech Press, 2023. Pp. 192–208. EDN: GHMRYK. (In Russian)

16. Лавская К. К. Цифровая кооперация в пассажирских авиаперевозках // Исследования и инновации в науке 2024: Сборник материалов III Международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 12 марта 2024 года. М.: Научный центр «Издание», 2024. С. 41–45. EDN: GKKQAC

Lavskaya K.K. Digital cooperation in passenger air transportation. *Issledovaniya i innovatsii v nauke 2024* [Research and Innovation in Science]: *Sbornik materialov III mezhdunarodnoy ochno-zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Moskva, 12 marta 2024 goda*. Moscow: Nauchnyy tsentr «Izdaniye», 2024. Pp. 41–45. EDN: GKKQAC. (In Russian)

17. An J., Mikhaylov A., Jung S.-U. A linear programming approach for robust network revenue management in the airline industry. *Journal of Air Transport Management*. 2021. Vol. 91. No. 4. P. 101979. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2020.101979

18. Зайцева И. В., Панкратова А. Р. Развитие рынка пассажирских авиаперевозок между Северо-Западным и Дальневосточным федеральными округами // Современный ученый. 2017. № 5. С. 185–189. EDN: ZSJMF

Zaitseva I.V., Pankratova A.R. Development of the passenger air transportation market between the Northwestern and Far Eastern Federal districts. *Sovremennyy uchenyy* [A modern scientist]. 2017. No. 5. Pp. 185–189. EDN: ZSJMF. (In Russian)

19. Зайцева И. В., Бородулина С. А. Исследование авиационной системы Арктической зоны Российской Федерации // Транспортное дело России. 2022. № 1. С. 159–161. DOI: 10.52375/20728689_2022_1_159. EDN: HOJJXE

Zaitseva I.V., Borodulina S.A. Research of the aviation system of the Arctic zone of the Russian Federation. *Transportnoye delo Rossii* [Transport business of Russia]. 2022. No. 1. Pp. 159–161. DOI: 10.52375/20728689_2022_1_159. EDN: HOJJXE. (In Russian)

20. Ablyazov T., Asaul V. Development of the Arctic transport infrastructure in the digital economy. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 57. No. 1. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.018

21. Pugachev I., Kulikov Yu., Markelov G., Ostapenko A. Peculiarities of strategic transport development in the Russian Far East and the Arctic. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 57. No. 1. Pp. 511–517. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.079

22. Табунков Е. В., Сливинский Д. В. Подходы к определению эффективности коммерческой деятельности аэропортовых предприятий // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 4-2. С. 158–163. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-4-2-158-163

Tabunkov E.V., Slivinsky D.V. Approaches to determining the effectiveness of commercial activities of airport enterprises. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika* [Economics and business: theory and practice]. 2022. No. 4-2. Pp. 158–163. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-4-2-158-163. (In Russian)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

Барыкин С. Е. – научное руководство исследованием, постановка целей и задач исследования; Лавская К. К. – подбор методического инструментария, проведение обзора литературы, практическая апробация и описание;

Божук С. Г. – проведение критического анализа материалов, формулирование практической значимости исследования;

Макаренко Е. А. – подготовка начального варианта текста.

Contribution of the authors:

Barykin S.E. – scientific supervision of the study and setting of its goals and objectives;

Lavskaya K.K. – selection of methodological tools, conducting a literature review, practical testing and description;

Bozhuk S.G. – conducting a critical analysis of materials and formulating the practical significance of the study;

Makarenko E.A. – preparation of the initial version of the text.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Лавская Кристина Константиновна, соискатель ученой степени канд. экон. наук Института промышленного менеджмента и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50;

kristinalavskay@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/000-0001-6372-4282>, SPIN-код: 3484-8977

Барыкин Сергей Евгеньевич, д-р экон. наук, профессор Института промышленного менеджмента и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50;

sbe@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9048-009X>, SPIN-код: 9382-2074

Божук Светлана Геннадьевна, д-р экон. наук, профессор Института промышленного менеджмента и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50;

bojuk_svetlana@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8179-5882>, SPIN-code: 3021-5480

Макаренко Евгений Александрович, канд. экон. наук, доцент Института промышленного менеджмента и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50;
доцент Института технологий предпринимательства и права, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения;
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67;
ss300@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3461-3166>, SPIN-код: 8363-8144

Information about the authors

Kristina K. Lavskaya, Candidate for the degree of Candidate of Economic Sciences, Institute of Industrial Management and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195251, Russia, St. Petersburg, 50 Novorossiyskaya street;

kristinalavskay@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/000-0001-6372-4282>, SPIN-code: 3484-8977

Sergey E. Barykin, Doctor of Economics, Professor, Institute of Industrial Management and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195251, Russia, St. Petersburg, 50 Novorossiyskaya street;

sbe@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9048-009X>, SPIN-code: 9382-2074

Svetlana G. Bozhuk, Doctor of Economics, Professor, Institute of Industrial Management and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195251, Russia, St. Petersburg, 50 Novorossiyskaya street;

bojuk_svetlana@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8179-5882>, SPIN-code: 3021-5480

Evgenii A. Makarenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Institute of Industrial Management and Trade of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University;

195251, Russia, St. Petersburg, 50 Novorossiyskaya street;

Associate Professor of the Institute of Entrepreneurship Technologies and Law of the St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation;

190000, Russia, St. Petersburg, 67 Bolshaya Morskaya street;

ss300@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3461-3166>, SPIN-code: 8363-8144

УДК 338.46:311.1

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-170-178

EDN: YXFIXO

Научная статья

Демографический фактор в ментальных войнах

М. В. Карманов¹, И. А. Киселева^{1,2}, В. И. Кузнецов¹, 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

Аннотация. Статья посвящена актуальным проблемам оценки роли демографического фактора в ментальных войнах, которые ориентированы на сознательное, постепенное и целенаправленное формирование новых смыслов бытия. Авторы обращают внимание на приемы и способы популяризации и навязывания новых негативных демографических установок, принципов и правил демографического поведения (чайлдфри, смена пола, разрушение устоев традиционной семьи, изменение родительских статусов и ролей, миграционная экспансия). **Цели.** Рассмотрены вопросы ментальных войн и определено место демографического фактора в их ведении. **Методология.** Применяются методы теоретического исследования в форме обобщения, сравнения и специальных аналитических процедур. Уточнена сущность ментальных войн, выявлены направления их ведения, определено место демографического фактора, даны рекомендации по формированию правовой базы. **Область применения полученных результатов.** Материал может быть полезен при разработке демографической политики, подготовке правовой базы, чтении лекций по демографии и демографической статистике. **Результаты.** В статье приводится обзор литературы, посвященной вопросам демографического фактора в ментальных войнах. Отмечается, что активное и целенаправленное распространение демографических установок, ориентированных на изменение исторически сложившихся культурных и семейных ценностей потенциального противника, можно рассматривать как составной элемент ментальных войн. **Выводы.** Проблемы оценки демографического фактора в ментальных войнах в современном мире приобретают особую актуальность, так как у молодежи наблюдаются формирование негативных стандартов, влияющих на снижение рождаемости, а также миграционная экспансия.

Ключевые слова: миграция, миграционная экспансия, демографический фактор, ментальные войны

Поступила 23.04.2025, одобрена после рецензирования 21.05.2025, принята к публикации 03.06.2025

Для цитирования. Карманов М. В., Киселева И. А., Кузнецов В. И., Трамова А. М. Демографический фактор в ментальных войнах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 170–178. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-170-178

JEL: C 43; C 82; J 61; R 23

Original article

The demographic factor in mental warfare

M.V. Karmanov¹, I.A. Kiseleva^{1,2}, V.I. Kuznetsov¹, A.M. Tramova^{✉1,2}

¹Plekhanov Russian University of Economics
115054, Russia, Moscow, 36 Stremyanny lane

²Synergy University
129090, Russia, Moscow, 9/14, building 1, Meshchanskaya street

Abstract. The article focuses on the current issues surrounding the assessment of the role of the demographic factor in mental warfare, which is centered on the conscious, gradual and deliberate creation of new life meanings. The authors draw attention to the techniques and methods used to popularise and enforce new negative demographic attitudes, principles and rules of behaviour (e.g. childlessness, gender reassignment, the breakdown of traditional family structures, changes in parental statuses and roles, and increased migration). **Purposes.** The issues of mental warfare are considered, as is the role of the demographic factor in its conduct. **Methodology.** Theoretical research methods are employed through generalisation, comparison, and specific analytical procedures. The nature of mental warfare has been clarified, its methods have been identified, and the role of the demographic factor has been established. Recommendations on establishing a legal framework are provided. **The scope of the results obtained.** This material could be useful for developing demographic policy, preparing a legal framework and delivering lectures on demography and demographic statistics. **Results.** The article provides a review of literature on demographic factors in mental warfare. It should be noted that the active and deliberate dissemination of demographic attitudes intended to alter the long-standing cultural and family values of a potential adversary can be considered an essential component of psychological warfare. **Conclusions.** The issue of assessing the demographic factor in modern-day mental warfare is becoming increasingly relevant, as negative attitudes among young people are leading to a decrease in the birth rate and an increase in migration.

Keywords: migration, migration expansion, demographic factor, mental wars

Submitted 23.04.2025,

approved after reviewing 21.05.2025,

accepted for publication 03.06.2025

For citation. Karmanov M.V., Kiseleva I.A., Kuznetsov V.I., Tramova A.M. The demographic factor in mental warfare. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 170–178. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-170-178

Современный этап развития общества предполагает самое широкое практическое использование разнообразных элементов гибридных войн, которые отличаются тем, что охватывают все без исключения сферы человеческой жизнедеятельности (политику, экономику, идеологию, культуру, науку, спорт и т.д.) [1].

В составе гибридных войн огромное внимание уделяется так называемым ментальным войнам, ориентированным на сознательное, постепенное и целенаправленное формирование новых смыслов бытия, которые сперва размывают, а затем и подменяют исторические скрепы потенциального или фактического противника (обычаи, нравы, традиции, ценности, мировоззрение и т.д.) [2].

Ментальные войны располагают своим собственным и весьма обширным арсеналом достижения поставленных целей, в багаже которого среди прочих компонентов присутствует демографическое оружие, включающее приемы и способы популяризации и тотального навязывания новых демографических установок, принципов и правил демографического поведения [3]. С нашей точки зрения, среди них, несомненно, присутствуют следующие элементы:

- чайлдфри;
- свободная смена пола, включая «позитивный» образ трансгендеров и гендерной толерантности;
- разрушение имиджа и устоев традиционной семьи;
- нивелирование с последующим полным демонтажем родительских статусов и ролей;
- безграничное половое (гендерное) равенство членов общества;
- всеобъемлющая, трансграничная и активно поощряемая миграционная экспансия;

- формирование и широкое практическое распространение правовой базы для осуществления демографического беспредела.

Прежде чем анализировать каждый из перечисленных выше элементов, требуется сказать, что сколько людей, столько и мнений. Кто-то рассматривает их как разновидности демографического оружия ментальных войн, а кто-то считает проявлением максимально возможной свободы и демократии, призывая к толерантности в самом широком смысле слова [4]. В данной статье мы остановимся на тех аспектах, которые влекут за собой трансформацию мировоззрения и разрушают исторически сложившийся менталитет.

Демографические установки и поведение, формируемые на основе идеологии чайлдфри, сводятся к тому, что люди, состоящие или не состоящие в браке и живущие активной сексуальной жизнью, сознательно принимают все возможные меры, чтобы избежать зачатия и рождения детей [5]. При этом свобода от детей возводится в статус более важного приоритета, чем продолжение человеческого рода.

В контексте данного демографического течения, уже давно получившего конкретное воплощение в социуме, на самый высокий пьедестал возводятся ценности, связанные с личностным развитием, творчеством, карьерой, потреблением, наслаждением жизнью и т.п., а деторождение рассматривается как фактор, ставящий крест на этих направлениях деятельности или серьезно осложняющий их реализацию. Поэтому табу на рождение детей носит не случайный, а целенаправленный характер, если так можно выразиться, представляет собой главный вектор бытия.

Отношение к чайлдфри может быть различным. В конце концов каждый человек вправе сам определять, что ему нужно в жизни больше всего. Это, несомненно, так. Если бы не одно обстоятельство. Оно сводится к тому, что если самоубийца просто сводит счеты со своей собственной жизнью, то это его право. А вот если самоубийца начинает активно транслировать свою идею в общество, то есть искать попутчиков на тот свет, убеждать других людей, особенно детей и молодежь, в целесообразности скорого самоубийства и т.д., то это уже нечто другое. Тем более достаточно часто гуру подобного рода сами не желают уходить из жизни, убедив в надобности подобного действия других.

Чайлдфри как своеобразная разновидность демографического самоубийства вполне не только может быть использована, но и, конечно, активно используется для формирования определенного общественного мнения, достижения интересов глобальных элит, открыто полагающих, что рождение детей, ниспосланное человеческому роду, должно носить избирательный характер и быть исключительным правом «золотого миллиарда». И в этой связи чайлдфри как демографический пустоцвет вполне серьезно рассматривается как особое оружие против идейных врагов, не желающих исповедовать ценности подобного рода. Его применение позволяет постепенно взломать генетический код любого народа, сопряженный с важностью выполнения репродуктивной функции, когда радость отцовства и материнства сознательно подменяется другими компонентами, разрушающими исторические традиции.

Свободная смена пола, сознательно культивируемый «позитивный» образ трансгендеров и гендерной толерантности являются вполне логичным дополнением идеологии чайлдфри. По существу, можно заняться выполнением репродуктивной функции на той стороне половой принадлежности, которую определил Бог. А можно попытаться искусственно выбраться из этого положения. Одним из возможных вариантов как раз выступает смена пола [6]. При этом достаточно очевидно, что если мужчина хочет стать женщиной, а женщина мужчиной, то это требует достаточно серьезной гормональной терапии и хирургического вмешательства, без которого смена пола носит формальный характер. В результате подобного вмешательства

в свой организм большинство людей уже не в состоянии заниматься деторождением естественным путем, что также приводит к исходу, похожему на чайлдфри.

Зачастую разрекламированный образ трансгендера целенаправленно используется для активного социального поощрения, продвижения по служебной лестнице, обязательного награждения в конкурсах и соревнованиях различного рода и т.п. Иными словами, создается положительный образ трансгендера, которому сопутствует успех. Параллельно средства массовой пропаганды в лучших традициях «цивилизованного» Запада настойчиво и даже навязчиво доносят до широких слоев населения, включая и детей, принципы гендерной толерантности, которая сводится к тому, что каждый в плане гендерной принадлежности с малых лет может быть тем, кем захочет, и это не просто хорошо, это прекрасно, так как, кроме всего прочего, еще и делает более сдержанными возможные демографические аппетиты граждан в сфере продления человеческого рода.

В дополнение к инструментам подобного рода проводится масштабная трансграничная работа по разрушению имиджа и устоев традиционной семьи. Она осуществляется по нескольким направлениям. Прежде всего упор делается на массовую пропаганду того, что традиционная семья, включающая мужчину, женщину и детей, давно устарела и является рудиментом прошлого. В этой связи на передний план умышленно выставляются принципы и «ценности» ЛГБТ-сообщества, среди которых транслируются и однополые браки, и другие нетрадиционные варианты сожительства, не характерные для конкретной страны [7]. При этом допускается возможность для однополых «супругов» воспитывать детей, которые попадают в среду, не имеющую ничего общего с традиционными семейными ценностями и выполнением репродуктивной функции.

Большая беда подобной деятельности заключается даже не в том, что ЛГБТ-сообщество есть, а в том, что оно громко и активно заявляет миру о своем существовании. Посредством информационного воздействия на умы подрастающих поколений осуществляется навязывание сомнительных ценностей, которые возводятся в ранг истины в последней инстанции. Семейные, сексуальные, репродуктивные и иные воззрения меньшинства общества предлагаются большинству во все более агрессивной форме, не допускающей сомнений или дискуссий. При этом подобное пропагандистское оружие, искажающее и уродующее психику и мораль детей и подростков, создает предпосылки для последующего быстрого демонтажа любых традиционных семейных ценностей, разрушения исторического менталитета целых поколений.

Дополнительным и своеобразным рычагом демографического влияния на подрастающее поколение служит сознательное и последовательное нивелирование с последующим полным разрушением статусов и ролей родителей [8]. На Западе все более и более популярной становится такая трактовка семьи, где нет отца и матери, а есть родитель № 1 и родитель №2. Такое нововведение носит далеко не случайный характер и призвано с самого раннего детства сформировать сознание ребенка таким образом и в той области, где нет даже духа тех традиций, которые имели место в прошлом.

На первый взгляд может показаться, что в подобной трансформации нет ничего необычного, а тем более опасного для подрастающих поколений. На самом деле необходимо отчетливо понимать, что это умышленная перекодировка сознания, подготовка к тому, что родители могут быть одного пола, они могут быть трансгендерами и вообще кем угодно. Не менее важным является и тот момент, что в данном случае осуществляется продуманный ментальный разлом, так как супруги, забывшие свои семейные статусы и роли, скорее всего, могут вырастить и воспитать кого угодно, но только не приверженцев традиционного брака, ориентированных на естественное продолжение человеческого рода. При этом

идеология подобного порядка признается высшей «ценностью» бытия, а подрастающие поколения осознанно вовлекаются в ее сети, выбраться откуда достаточно сложно, а порой и вообще невозможно, особенно когда целенаправленное информационное воздействие носило долговременный характер.

Не менее активным и безапелляционным образом распространяется идея безграничного полового (точнее гендерного) равенства членов общества. Ее суть сводится к вполне понятному и разумному исходному тезису о полном равенстве мужчин и женщин. При этом стремление к половому равноправию имеет достаточно длинную историю. Правда, несмотря на это обстоятельство, до сих пор сохраняются определенные рудименты, связанные с тем, что мужчины в среднем имеют более высокую заработную плату и занимают более обширные и прочные позиции на вершинах бизнеса и политической власти. Однако в ходе практической дискуссии, насколько мужчины и женщины равноправны в современном обществе, как черт из табакерки опять же выскакивает множество гендеров и гендерных позиций [9]. Обществу настойчиво навязывается гендерное многообразие с трактовкой взглядов сексуальных меньшинств как самой верной и неопровержимой позиции.

По этому поводу можно сказать, что мужчины и женщины, несомненно, равны и равноправны. Но нельзя забывать и того, что Бог создал их не совсем одинаковыми. Репродуктивную функцию, связанную с рождением детей, могут выполнять только женщины. Кроме того, есть целый ряд видов занятости, где их появление, скажем осторожно, не совсем целесообразно, например, угольные шахты, цеха металлургических комбинатов и т.п., так как там требуется большая физическая сила. Поэтому активное вовлечение женщин в те или иные сферы занятости необходимо делать с учетом фактической надобности, а не следуя моде или непонятным социальным трендам. Аналогично ситуация обстоит и с нетрадиционными гендерами. Если все равны, то к чему такое возвышение лиц, сменивших пол или своеобразно трактующих свою половую принадлежность. Получается, что в условиях подлинного равенства пропаганда гендеров и гендерных ролей должна носить одинаковый характер, учитывающий интересы всех членов общества, в том числе и натуралов, а также лиц, исповедующих традиционные семейные ценности, которые сегодня во многих странах Запада оказались в положении чужеродных элементов, не согласных с официально проводимой социально-демографической политикой.

Одним из самых распространенных и наиболее эффективных инструментов современного демографического оружия ментальных войн, безусловно, выступает всеобъемлющая, трансграничная и активно поощряемая миграционная экспансия. В настоящее время вольно или невольно, осознанно или неосознанно, но миграция все чаще и чаще используется в качестве тарана исторически сложившегося менталитета [10].

На практике миграция представляет собой демографическое «наводнение». Вновь прибывающие работники, часть из которых впоследствии становятся гражданами «затопаемой» страны, по большей части принадлежат к иному этносу, исповедуют иную религию, которые проступают в качественно иных культурных ценностях, иных обычаях и традициях. Они по определению не «растворяются» в коренном этносе, не признают сложившиеся исторически устои, а самое главное – не желают знать язык и культуру коренных жителей, полагая, что они вполне могут жить так, как хотят. В результате осуществляется так называемая демографическая экспансия. Пришлые граждане и неграждане, часть из которых вообще пребывает на новых территориях нелегально, создают свои анклавные территории с новыми и непререкаемыми правилами поведения. Причем, имея более высокий уровень рождаемости, с течением времени представители некоренного этноса вытесняют местных жителей не только демографически, но и экономически, и политически, занимая доминирующие позиции в самых разнообразных сферах общественной жизнедеятельности.

В совокупности миграция все чаще и чаще предстает в формате демографического рычага, который позволяет «сковырнуть», а затем и отправить на дно исторически сложившиеся ментальные установки коренного населения, которое постепенно замещается на исконных территориях своего проживания, оставаясь там в меньшинстве, уже не позволяющем транслировать в будущее прежние ценности [11].

Как это странно ни звучит, но особым демографическим оружием ментальных войн выступает формирование и широкое практическое распространение правовой базы, позволяющей легально и открыто осуществлять демографический беспредел. Причем эта разновидность инструментов подобного рода является обоюдоострым лезвием внутреннего и внешнего пользования.

На внутренней арене в странах Запада встречаются следующие достаточно спорные и дискуссионные элементы законодательства [12], отражающиеся на формировании демографического мировоззрения членов общества:

- правовые преференции представителям течения чайлдфри;
- облегченная возможность смены пола или самостоятельного выбора гендерной принадлежности для лиц, не достигших совершеннолетия, включая детей;
- пристальная и первоочередная охрана исключительных прав трансгендеров, других представителей ЛГБТ-сообщества с жестким накатом на традиционные семейные ценности вплоть до отчуждения детей;
- активное вмешательство государства в воспитательный процесс подрастающих поколений, особенно в тех областях права, где регламентируются роли и статусы родителей;
- серьезное юридическое обеспечение практически не контролируемых миграционных потоков, исключительное соблюдение прав мигрантов, когда мнение коренного населения как главных налогоплательщиков не имеет никакого значения, и др. [13].

На внешней арене образчики подобных «прокаченных» законов активно транслируются в окружающий мир. При этом страны Запада ничуть не стесняются высокомерно заявлять всем остальным, что если желаете быть с нами в одной компании, то необходимо четко следовать заданным юридическим трендам и даже можно быть еще более «продвинутыми» в смысле отказа от традиционных семейных ценностей. Кто же не хочет двигаться в столь сомнительном направлении, тот не достоин внимания и контактов во всех без исключения сферах жизнедеятельности, а достоин тотального порицания и санкций.

Таким образом, в настоящее время активное и целенаправленное распространение демографических установок, ориентированных на противостояние, а затем трансформацию и слом исторически сложившихся культурных и семейных ценностей потенциального или фактического противника, рассматривается странами Запада как своеобразное оружие, составной элемент ментальных войн [14], которые должны способствовать демонтажу того или иного мировоззрения и его замене на иные, «правильные» ценности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепанов А. Ю. Гибридные войны: реалии современной эпохи // Евразийский юридический журнал. 2022. № 4(167). С. 517–519. EDN: UNJMT
2. Артюх М. А. Ментальная война: к вопросу о содержании современного глобального противоборства // Прогнозируемые вызовы и угрозы национальной безопасности Российской Федерации и направления их нейтрализации. Сборник материалов круглого стола. М., 2021. С. 61–71. EDN: AWWRDH
3. Рябова Т. Б. «Демографическое оружие Запада»: дискуссии о гендерных исследованиях в российском антизападничестве // Политика развития, государство и мировой порядок.

Материалы 8-го Всероссийского конгресса политологов / Под общей редакцией О. В. Гаман-Голутвиной, Л. В. Сморгунуова, Л. Н. Тимофеевой. 2018. 467 с. EDN: YYCBSX

4. Клейберг Ю. А. Толерантность и деструктивная толерантность: понятие, подходы, типология, характеристика // Общество и право. 2012. № 4. С. 329–334. EDN: PYTTTN

5. Романова И. В., Жанбаз О. О. Чайдлфри в контексте трансформации семейных отношений // Вестник Забайкальского государственного университета. 2014. № 12(115). С. 89–97. EDN: UQFWHJ

6. Алферова О. С. Смена пола человека: семейно-правовой аспект // Правовая политика и правовая жизнь. 2021. № 1. С. 245–249. DOI: 10.24412/1608-8794-2021-1-245-249. EDN: LTWRLB

7. Купараишвили М. Д., Ветрова-Деглан М. С. Гендер и трансгендер в проблеме пола // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2017. № 10-2. С. 77–81. EDN: ZHAUON

8. Денисенко Н. В. Смена пола: религиозные и правовые аспекты // Церковь, государство и общество: политико-правовые и идеологические аспекты взаимодействия: материалы международной научно-практической конференции / Научные редакторы: И. А. Арзуманов, С. А. Комаров, А. Е. Смирнов. 2020. С. 381–387. DOI: 10.25839/k4091-4788-0724-s. EDN: IAIPB

9. Булычев И. И. Гендерная структура как теоретическая проблема // Credo New. 2008. № 1. С. 7. EDN: PGOQIZ

10. Ткачева Н. А. Миграционная безопасность как фактор предупреждения социальных конфликтов // Академический вестник. 2009. № 3(9). С. 94–100. EDN: PEMVVL

11. Патрикеев В. Е. Миграционная безопасность как необходимый элемент национальной безопасности России // Права человека и правоохранительная деятельность: материалы региональной научно-практической конференции памяти профессора А. В. Зиновьева. 2015. С. 180–186. EDN: UWNQLR

12. Отставнова Е. А. Вопросы смены пола в международном праве и российском законодательстве // Вестник Саратовской государственной юридической академии. 2017. № 3(116). С. 50–55. EDN: ZBPVHF

13. Шамне А. Н. Правовые и моральные проблемы миграции в Германии // Вестник Саратовской государственной юридической академии. 2020. № 3(134). С. 65–68. DOI: 10.24411/2227-7315-2020-10069. EDN: ULIBAL

14. Салихов Г. Г., Рассказов Л. Д. Ментальная война в условиях глобализации: философский анализ кризисных процессов общества // Евразийский юридический журнал. 2021. № 6(157). С. 518–519. DOI: 10.46320/2073-4506-2021-6-157-518-519. EDN: IEEKFW

REFERENCES

1. Cherepanov A.Yu. Hybrid wars: realities of the modern era. *Yevraziyskiy yuridicheskiy zhurnal* [Eurasian Law Journal]. 2022. No. 4(167). Pp. 517–519. EDN: UHJMFT. (In Russian)

2. Artyukh M.A. Mental war: on the contents of modern global confrontation. *Prognoziruyemye vyzovy i ugrozy natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii i napravleniya ikh neytralizatsii* [Predicted Challenges and Threats to National Security of the Russian Federation and Directions for Their Neutralization]: *Sbornik materialov kruglogo stola*. Moscow, 2021. Pp. 61–71. EDN: AWWRDH. (In Russian)

3. Ryabova T.B. “The demographic weapon of the West”: discussions on gender studies in russian anti-westernism. *Politika razvitiya, gosudarstvo i mirovoy poryadok* [Development Policy, State and World Order]: *materialy 8-go Vserossiyskogo kongressa politologov*. Generally edited by O.V. Gaman-Golutvina, L.V. Smorgunov, L.N. Timofeeva. 2018. 467 p. (In Russian)

4. Kleiberg Yu.A. Tolerance and destructive tolerance: concept, approaches, typology, characteristics. *Obshchestvo i pravo* [Society and Law]. 2012. No. 4. Pp. 329–334. EDN: PYTTTN. (In Russian)
5. Romanova I.V., Zhanbaz O.O. Childfree in the context of transformation of family relations. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikal State University]. 2014. No. 12(115). Pp. 89–97. EDN: UQFWHJ. (In Russian)
6. Alferova O.S. Human gender reassignment: family and legal aspect. *Pravovaya politika i pravovaya zhizn'* [Legal Policy and Legal Life]. 2021. No. 1. Pp. 245–249. DOI: 10.24412/1608-8794-2021-1-245-249. EDN: LTWRLB. (In Russian)
7. Kuparashvili M.D., Vetrova-Deglan M.S. Gender and transgender in the problem of sex. *Istoricheskiye, filosofskiyе, politicheskiye i yuridicheskiye nauki, kul'turologiya i iskusstvovedeniye. Voprosy teorii i praktiki* [Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art criticism. Questions of theory and practice]. 2017. No. 10-2. Pp. 77–81. EDN: ZHAUON. (In Russian)
8. Denisenko N.V. Gender change: religious and legal aspects. *Tserkov', gosudarstvo i obshchestvo: politiko-pravovyye i ideologicheskiye aspekty vzaimodeystviya* [Church, state and society: political, legal and ideological aspects of interaction]: *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Scientific editors: I.A. Arzumanov, S.A. Komarov, A.E. Smirnov. 2020. Pp. 381–387. DOI: 10.25839/k4091-4788-0724-s. EDN: IAIPIB. (In Russian)
9. Bulychev I.I. Gender structure as a theoretical problem. *Credo New*. 2008. No. 1. P. 7. EDN: PGOQIZ
10. Tkacheva N.A. Migration security as a factor in preventing social conflicts. *Akademicheskii vestnik* [Academic Bulletin]. 2009. No. 3(9). Pp. 94–100. EDN: PEMVVL. (In Russian)
11. Patrikeev V.E. Migration security as a necessary element of Russia's national security. *Prava cheloveka i pravookhranitel'naya deyatel'nost'* [Human rights and law enforcement]: *materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii pamyati professora A.V. Zinov'eva*. 2015. Pp. 180–186. EDN: UWNQLR. (In Russian)
12. Otstavnova E.A. Gender reassignment issues in international law and Russian legislation. *Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii* [Bulletin of the Saratov State Law Academy]. 2017. No. 3(116). Pp. 50–55. EDN: ZBPVHF. (In Russian)
13. Shamne A.N. Legal and moral problems of migration in Germany. *Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii* [Bulletin of the Saratov State Law Academy]. 2020. No. 3(134). Pp. 65–68. DOI: 10.24411/2227-7315-2020-10069. EDN: ULIBAL. (In Russian)
14. Salikhov G.G., Rasskazov L.D. Mental War in the context of globalization: a philosophical analysis of crisis processes in society. *Yevraziyskiy yuridicheskiy zhurnal* [Eurasian Law Journal]. 2021. No. 6(157). Pp. 518–519. DOI: 10.46320/2073-4506-2021-6-157-518-519. EDN: IEEKFW. (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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Карманов Михаил Владимирович, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Karmanov.MV@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2643-2146>, SPIN-код: 9452-2999

Киселева Ирина Анатольевна, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики, Университет «Синергия»;

129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1;

профессор кафедры математических методов в экономике, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Kia1962@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-2610>, SPIN-код: 4980-7263

Кузнецов Владимир Иванович, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Kuznetsov.VI@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7192-1630>, SPIN-код: 9328-2911

Трамова Азиза Мухамадияевна, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики, Университет «Синергия»;

129090, Россия, Москва, ул. Мещанская, 9/14, стр. 1;

профессор кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова;

115054, Россия, Москва, Стремянный переулок, 36;

Tramova.am@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4089-6580>, SPIN-код: 8583-3592

Information about the authors

Mikhail V. Karmanov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Statistics, Plekhanov Russian University of Economics;

115054, Russia, Moscow, 36 Stremyannyy lane;

Karmanov.MV@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2643-2146>, SPIN-code: 9452-2999

Irina A. Kiseleva, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Mathematics, Synergy University;

129090, Russia, Moscow, 9/14, building 1, Meshchanskaya street;

Professor of the Department of Mathematical Methods in Economics, Plekhanov Russian University of Economics;

115054, Russia, Moscow, 36 Stremyannyy lane;

Kia1962@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-2610>, SPIN-code: 4980-7263

Vladimir I. Kuznetsov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Statistics, Plekhanov Russian University of Economics;

115054, Russia, Moscow, 36 Stremyannyy lane;

Kuznetsov.VI@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7192-1630>, SPIN-code: 9328-2911

Aziza M. Tramova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Mathematics, Synergy University;

129090, Russia, Moscow, 9/14, building 1, Meshchanskaya street;

Professor of the Department of Informatics of the Plekhanov Russian University of Economics;

115054, Russia, Moscow, 36 Stremyannyy lane;

Tramova.am@rea.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4089-6580>, SPIN-code: 8583-3592

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ
МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 519.25:330.4

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-179-188

EDN: YJNGZD

Научная статья

**Экономико-математическое моделирование и инструментальные методы
для повышения эффективности подготовки спортивного резерва**

Т. С. Демьяненко[✉], Е. А. Комов, Л. М. Семененко

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
454080, Россия, г. Челябинск, пр-т имени В. И. Ленина, 76

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения экономической эффективности процесса подготовки спортивного резерва. Юные спортсмены рассматриваются как ценные активы, а тренировочный процесс – как инвестиционный проект, требующий оптимизации. **Цель исследования** – разработка экономико-математической модели, позволяющей повысить отдачу от инвестиций в человеческий капитал за счет персонализации управления подготовкой. **Материалы и методы.** В качестве инструментального метода предложен кластерный анализ. **Результаты.** На основе выборки из 103 спортсменов, охарактеризованных по 15 объективным параметрам, с помощью алгоритма K-means были выделены две гомогенные группы (кластеры) активов. Статистический анализ (ANOVA) подтвердил значимые различия между группами, что позволяет интерпретировать их как два типа активов с разным потенциалом и рисками. Для каждого кластера разработаны дифференцированные стратегии управления (тренировочные программы), направленные на максимизацию их «стоимости» (спортивного потенциала) и минимизацию рисков (травматизм, отсеб). **Заключение.** Работа демонстрирует, что применение математических методов позволяет перейти от интуитивного управления к научно обоснованному менеджменту спортивных активов, повышая общую эффективность деятельности спортивных организаций.

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, кластерный анализ, человеческий капитал, K-means, управление спортивными активами, оптимизация ресурсов, эффективность инвестиций, спортивная экономика, хоккей

Поступила 19.05.2025, одобрена после рецензирования 11.06.2025, принята к публикации 13.06.2025

Для цитирования. Демьяненко Т. С., Комов Е. А., Семененко Л. М. Экономико-математическое моделирование и инструментальные методы для повышения эффективности подготовки спортивного резерва // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 179–188. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-179-188

JEL: C01, C15

Original article

**Economic-mathematical modeling and instrumental methods
for improving efficiency of sports reserve training**

T.S. Demyanenko[✉], E.A. Komov, L.M. Semenenko

South Ural State University
(National Research University)
454080, Russia, Chelyabinsk, 76, V.I. Lenin avenue

Abstract. The article addresses issues of increasing the economic efficiency for the sports reserve training. Young athletes are viewed as valuable assets, and the training process as an optimizing investment project. **Aim.** The objective is to develop an economic and mathematical model increasing the human capital return on investment (HCROI) through personalizing training management. **Materials and methods.** Cluster analysis is used as an investigation method. **Results.** The K-means clustering algorithm has effectively grouped 103 athletes, who met 15 objective parameters, into two homogeneous groups. Analysis of variance (ANOVA) confirmed significant differences between the groups, allowing them to be interpreted as two types of assets with different potential and risks. For each cluster are developed differentiated management strategies (training programs) aimed at maximizing their "value" (athletic potential) and minimizing risks (injuries, dropout). **Conclusion.** The study shows that mathematical models facilitate the transition from intuitive to scientific management of sports assets, thereby improving the overall performance of sports organizations.

Keywords: economic-mathematical modeling, cluster analysis, human capital, K-means, sports asset management, resource optimization, investment efficiency, sports economics, ice hockey

Submitted 19.05.2025,

approved after reviewing 11.06.2025,

accepted for publication 13.06.2025

For citation. Demyanenko T.S., Komov E.A., Semenenko L.M. Economic-mathematical modeling and instrumental methods for improving efficiency of sports reserve training. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 179–188. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-179-188

ВВЕДЕНИЕ

Современная спортивная индустрия представляет собой значимый сектор экономики с многомиллиардными оборотами, где ключевым фактором успеха является качество человеческого капитала – спортсменов. Спортивные клубы и академии ежегодно инвестируют существенные финансовые, временные и методические ресурсы в подготовку молодого резерва. В этом контексте каждый перспективный спортсмен может рассматриваться как дорогостоящий и долгосрочный актив, а процесс его подготовки – как инвестиционный проект, успешность которого определяет будущую конкурентоспособность и капитализацию организации.

Традиционные подходы к управлению подготовкой зачастую основаны на универсальных методиках и интуиции тренерского состава, что эквивалентно недифференцированному управлению портфелем активов. Такой подход не учитывает индивидуальные характеристики каждого актива, что приводит к неоптимальному распределению ресурсов и повышенным рискам (травмы, перетренированность, недостижение потенциала), снижая итоговую рентабельность инвестиций (ROI).

Решением данной проблемы является переход к научно обоснованному, персонализированному менеджменту на основе объективных данных. Математические и инструментальные методы, в частности методы кластеризации, позволяют проводить объективную сегментацию активов (спортсменов) по набору ключевых характеристик. Это открывает возможность для разработки дифференцированных стратегий управления (тренировочных программ), направленных на максимизацию потенциала каждой группы и повышение общей эффективности инвестиционного процесса. Помимо вышесказанного, антропометрические и физиологические характеристики напрямую влияют на работоспособность, предрасположенность к определенным игровым ролям и адаптацию к тренировочным нагрузкам [1, 2]. Применение математических методов, в частности кластерного анализа, позволяет выявлять скрытые закономерности в многомерных данных и группировать спортсменов по объективному сходству морфологических и функциональных показателей без предварительного экспертного деления [3]. Такой подход обеспечивает научно обоснованную базу для

персонализации тренировочного процесса, оптимизации методик подготовки и профилактики травматизма. В ряде исследований показана эффективность кластеризации для классификации соматотипов, прогнозирования спортивной успешности и подбора индивидуальных программ в различных видах спорта [4, 5].

Целью настоящего исследования являются разработка и апробация экономико-математической модели на основе кластерного анализа для повышения эффективности управления подготовкой спортивного резерва путем объективной сегментации спортсменов и формирования для них целевых стратегий развития.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект и данные исследования. В исследовании использовалась анонимизированная выборка, состоящая из 103 хоккеистов в возрасте от 12 до 16 лет, находящихся на этапе начальной и углубленной спортивной специализации. Каждый спортсмен был охарактеризован вектором из 15 признаков.

Антропометрические: рост, вес, индекс массы тела (ИМТ), процент и абсолютная масса жировой, мышечной и костной ткани.

Функциональные: результаты тестов на ловкость, челночный бег, прыжок в длину с места, подтягивания, отжимания.

Игровые: среднее количество голов и очков за игру, рейтинг «+/-».

Предварительная обработка данных. Для корректности анализа была проведена предварительная обработка данных. Пропущенные значения (менее 2 % от общего объема) заменялись средними арифметическими по соответствующему признаку. Поскольку признаки имели разную размерность и масштаб, была выполнена их стандартизация (Z-нормализация) по формуле:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j},$$

где x_{ij} – значение j -го признака у i -го объекта, μ_j и σ_j – среднее и стандартное отклонение по j -му признаку соответственно.

Для снижения размерности признакового пространства и устранения мультиколлинеарности был применен метод главных компонент (PCA). Были отобраны компоненты, объясняющие не менее 85 % суммарной дисперсии исходных данных, что позволило сократить количество признаков с 15 до 5.

Методы кластеризации. Для разбиения выборки на группы использовались два алгоритма.

1. Метод K -средних (K -means). Данный итеративный алгоритм направлен на минимизацию внутрикластерной суммы квадратов расстояний (WCSS) от каждого объекта до центра (центроида) его кластера. Целевая функция имеет вид:

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2,$$

где K – количество кластеров, C_k – множество объектов, отнесенных к кластеру k , μ_k – центр (среднее значение) кластера C_k , x_i – вектор признаков объекта, $\|x_i - \mu_k\|$ – евклидово расстояние между объектом и центроидой, J – значение функции потерь (чем оно меньше, тем лучше кластеризация).

Выбор метода K -средних в качестве основного обусловлен его вычислительной эффективностью при работе с умеренно большими наборами данных и простотой интерпретации

результатов, что является важным фактором для практического применения в спортивном менеджменте. Использование инициализации *K*-means++ позволяет снизить зависимость алгоритма от случайного выбора начальных центроидов и повысить стабильность итогового разбиения.

2. Иерархическая агломеративная кластеризация (метод Уорда). Данный метод строит иерархию кластеров, последовательно объединяя наиболее похожие группы объектов. В качестве меры сходства использовалась минимизация прироста внутрикластерной суммы квадратов (дисперсии), что выражается формулой:

$$\Delta E = \frac{|A||B|}{|A| + |B|} \cdot \|c_A - c_B\|^2,$$

где *A* и *B* – объединяемые кластеры, $|A|$, $|B|$ – количество объектов в кластерах (мощности множеств), c_A , c_B – центроиды (среднее значение) кластеров *A* и *B*, $\|c_A - c_B\|$ – евклидово расстояние между центроидами.

Метод применялся для валидации результатов *K*-means и визуализации структуры данных через построение дендрограммы. Применение метода главных компонент (РСА) перед кластеризацией было необходимо для решения двух задач: устранения мультиколлинеарности между исходными признаками (например, сильной корреляции между ростом и весом) и снижения влияния высокой размерности данных на работу алгоритмов, основанных на вычислении расстояний в многомерном пространстве. Сохранение 85 % дисперсии является общепринятым компромиссом между сжатием данных и сохранением информации.

Определение оптимального числа кластеров. Оптимальное количество кластеров *K* определялось в три этапа:

2.1. Предварительный выбор числа кластеров с помощью метода локтя (Elbow Method), анализирующего зависимость внутрикластерной суммы квадратов (WCSS) от числа кластеров *K*.

2.2. Оценка качества кластеризации с использованием метрик:

силуэтный коэффициент (Silhouette Score), оценка компактности и разделимости кластеров (значения от –1 до 1, где >0,25) указывают на качественную кластеризацию;

индекс Калински–Харабаша (Calinski-Harabasz Index), оценивающий отношение межкластерной дисперсии к внутрикластерной (чем выше значение, тем лучше);

индекс Дэвиса–Болдуина (Davies-Bouldin Index), отражает среднее сходство между кластерами (чем ниже значение, тем лучше).

2.3. Визуальный анализ дендрограммы иерархической кластеризации.

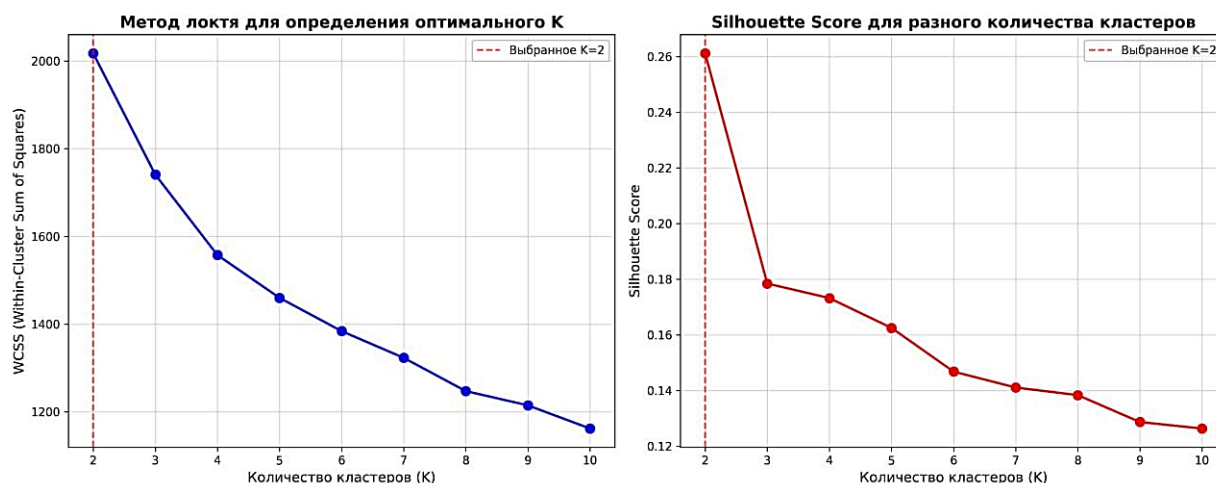
Статистический анализ. Для проверки статистической значимости различий между полученными кластерами по исходным признакам использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Уровень статистической значимости был принят равным $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение числа кластеров и оценка качества. Анализ с помощью метода локтя показал выраженный «изгиб» на графике при $K = 2$ (рис. 1), что указывает на оптимальность разделения выборки на два кластера. При $K = 3$ наблюдалось увеличение индекса Дэвиса–Болдуина (1,790 против 1,558 при $K = 2$) и снижение силуэтного коэффициента (0,178 против 0,261), что подтвердило выбор $K = 2$. Значения метрик представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метрики качества кластеризации для разных K **Table 1.** Clustering quality metrics for different K

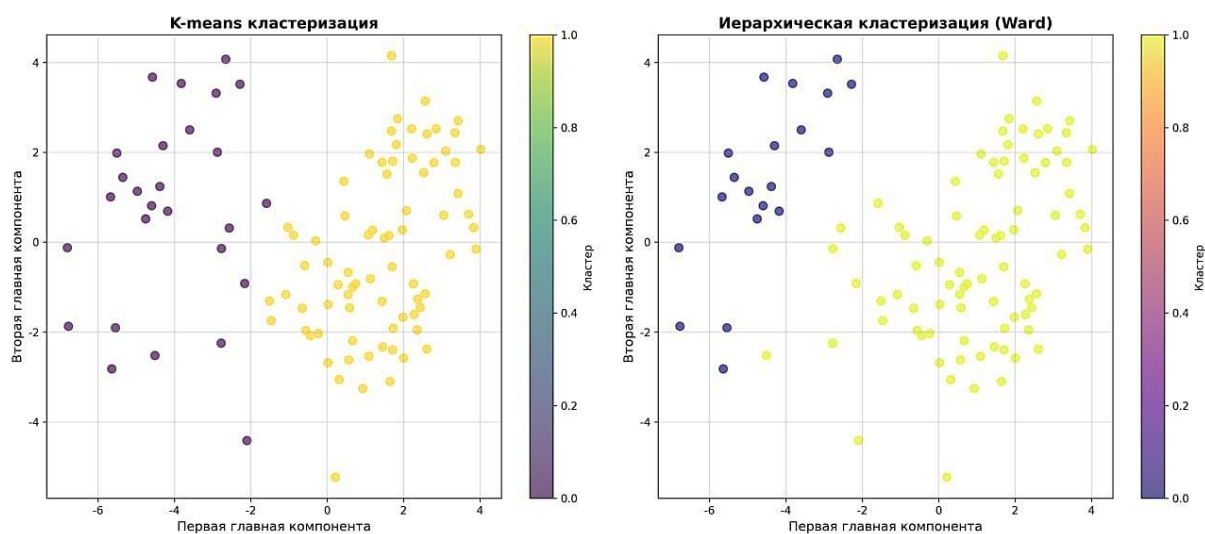
K	WCSS	Силуэтный коэффициент	Индекс Калински–Харабаша	Индекс Дэвиса–Болдуина
2	2017,52	0,261	31,54	1,558
3	1740,77	0,178	26,05	1,790
4	1557,37	0,173	23,10	1,755
5	1459,80	0,163	19,93	1,797

**Рис. 1.** Определение оптимального количества кластеров**Fig. 1.** Determination of the optimal number of clusters

В результате применения алгоритма K -means выборка была разделена на два кластера (рис. 2):

кластер 1: 58 спортсменов (56,3 % выборки);

кластер 2: 45 спортсменов (43,7 % выборки).

**Рис. 2.** Разделение выборки на кластеры**Fig. 2.** Partitioning the sample into clusters

Качество полученного разбиения было оценено с помощью внутренних метрик (табл. 2). Для валидации была проведена иерархическая кластеризация, которая показала сопоставимые результаты (Adjusted Rand Index = 0,847).

Таблица 2. Метрики качества кластеризации для $K = 2$

Table 2. Clustering Quality Metrics for $K = 2$

Метод кластеризации	Силуэтный коэффициент	Индекс Дэвиса–Болдуина
K -means	0,261	1,558
Иерархический (Уорд)	0,280	1,376

Анализ дендрограммы (рис. 3) подтвердил наличие двух основных кластеров в структуре данных. Горизонтальная линия, соответствующая уровню среза дендрограммы для двух кластеров, пересекает наименьшее количество вертикальных линий, что указывает на естественное разделение данных на две компактные группы. Дендрограмма также показывает относительную однородность внутри кластеров и четкое разделение между мезоморфным и эктоморфным типами.

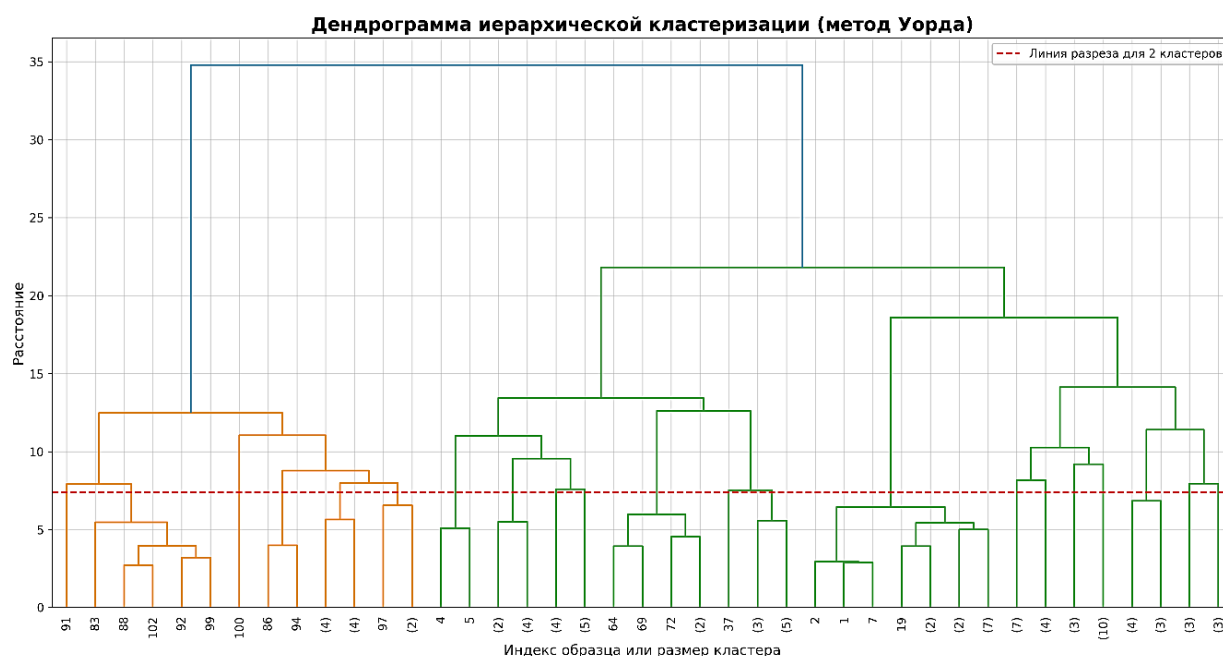


Рис. 3. Дендрограмма иерархической кластеризации (метод Уорда)

Fig. 3. Dendrogram of hierarchical clustering (Ward's method)

Поскольку метод K -means показал лучшие значения метрик, дальнейший анализ проводился на основе его результатов.

Статистический анализ различий между кластерами. Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) выявили статистически значимые различия между двумя кластерами по большинству антропометрических и ряду функциональных показателей (табл. 3). Наиболее выраженные различия наблюдались по весу, мышечной и костной массе, а также ИМТ. При этом по игровым показателям (голы, очки, рейтинг) значимых различий обнаружено не было, что может свидетельствовать о том, что на данном этапе подготовки соматотип еще не является определяющим фактором игровой эффективности. А по игровым показателям обнаружены значимые различия в количестве голов ($p = 0,034$) и очков ($p = 0,001$).

Характеристика и интерпретация кластеров. Анализ средних значений признаков в каждом кластере позволил дать им содержательную интерпретацию.

Кластер 1 ($n = 58$) – мезоморфный тип. Спортсмены этой группы в среднем старше, выше и значительно тяжелее. У них более высокие показатели ИМТ, мышечной и костной массы. Их физическая подготовка характеризуется более высокими абсолютными силовыми показателями, однако они незначительно уступают второй группе в тестах на ловкость и скорость (челночный бег). Данный тип можно охарактеризовать как силовой, мощный, с развитым мышечно-костным аппаратом.

Кластер 2 ($n = 45$) – эктоморфный тип. Спортсмены этой группы в среднем моложе, легче и имеют более низкие значения ИМТ, мышечной и жировой массы. Их преимуществом являются лучшие показатели в тестах, требующих ловкости и координации. Данный тип телосложения характеризуется легкостью, подвижностью и скоростными качествами, но с недостатком мышечной массы и силовой выносливости.

Таким образом, кластерный анализ позволил выделить две объективные группы спортсменов, требующие дифференцированного подхода к тренировочному процессу.

Таблица 3. Результаты однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) для ключевых признаков

Table 3. One-Way ANOVA Results for Key Features

Признак	F-статистика	p-значение	Значимость
Возраст	94,33	<0.001	***
Рост	69,64	<0.001	***
Вес	257,69	<0.001	***
Индекс массы тела (ИМТ)	123,51	<0.001	***
Мышечная масса, кг	321,67	<0.001	***
Жировая масса, кг	34,77	<0.001	***
Костная масса, кг	219,16	<0.001	***
Челночный бег, с	10,40	0,0017	**
Ловкость, с	6,09	0,0153	*
Прыжок в длину, см	8,44	0,0045	**
Отжимания, кол-во	2,03	0,1570	ns
Подтягивания, кол-во	1,80	0,1824	ns
Примечание: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ns – не значимо.			

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в ходе исследования результаты требуют более глубокой интерпретации в контексте задач экономического управления и спортивного менеджмента. Выделение двух устойчивых кластеров, которые мы условно обозначили как «мезоморфный» и «эктоморфный» типы, с экономической точки зрения представляет собой сегментацию человеческих активов на две категории с различными профилями «доходности» и «риска».

Интерпретация кластеров как типов инвестиционных активов.

Кластер 1 («мезоморфный», или «силовой актив») можно рассматривать как актив с высоким текущим потенциалом, но и с определенными рисками. Высокие показатели мышечной и костной массы являются фундаментом для силовой игры, однако могут быть сопряжены с меньшей ловкостью и повышенным риском травм опорно-двигательного аппарата

при неверно выстроенных нагрузках. Стратегия управления таким активом должна быть направлена на «шлифовку» его сильных сторон и минимизацию рисков через развитие скоростных качеств и гибкости.

Кластер 2 («эктоморфный», или «скоростной актив») – это, по сути, «венчурный» актив с высоким потенциалом роста. Его текущие силовые показатели ниже, что является фактором риска, но преимущество в скорости и ловкости может стать ключевым конкурентным преимуществом в будущем. Инвестиции в такой актив должны быть в первую очередь направлены на устранение его слабостей – набор мышечной массы и развитие силовой выносливости, что является более долгосрочной и ресурсоемкой задачей.

Практическое применение для менеджмента спортивных организаций.

Предложенная модель дает руководству спортивных клубов и академий инструмент для принятия более обоснованных решений.

Бюджетирование: зная распределение спортсменов по кластерам, можно более точно планировать расходы на специализированных тренеров (например, тренеров по силовой подготовке для кластера 2), нутрициологов и медицинское сопровождение.

Управление рисками: модель позволяет выявлять группы риска. Например, для «силовых активов» требуется усиленный мониторинг состояния суставов, а для «скоростных» – контроль за динамикой набора массы и профилактика травм, связанных со столкновениями.

Стратегическое планирование: сегментация помогает формировать сбалансированный состав команды на перспективу, сочетая игроков с разными физическими данными для решения различных тактических задач.

Ограничения исследования и направления будущей работы.

Следует признать наличие ряда ограничений. Во-первых, исследование носит кросс-секционный характер, то есть анализирует данные в один момент времени. Для более точной оценки эффективности предложенных стратегий необходимо проведение лонгитюдного исследования, отслеживающего развитие спортсменов из разных кластеров на протяжении нескольких лет. Во-вторых, в модели не использовались прямые экономические показатели (например, затраты на подготовку одного спортсмена или его будущая трансферная стоимость), что является перспективным направлением для дальнейшей работы. В-третьих, выборка ограничена одним видом спорта и одной возрастной группой. В будущем целесообразно расширить исследование, включив другие виды спорта и возрастные категории для проверки универсальности модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного исследования была успешно решена задача разработки и применения экономико-математической модели для повышения эффективности управления подготовкой спортивного резерва. Рассматривая юных спортсменов как инвестиционные активы, мы продемонстрировали, что инструментальные методы машинного обучения позволяют перейти к более эффективной, персонализированной модели менеджмента.

С помощью методов кластеризации (K-means) на основе 15 объективных показателей была проведена сегментация выборки из 103 спортсменов. Были выделены два статистически значимо различающихся кластера, которые можно интерпретировать как два типа активов с разным профилем характеристик и потенциала.

Кластер 1 («силовой актив») объединил спортсменов с развитой мышечной массой, требующих инвестиций в развитие скоростных качеств и технического мастерства.

Кластер 2 («скоростной актив») включил более легких и ловких спортсменов, для которых стратегия управления должна быть направлена на наращивание силовой базы и снижение рисков, связанных с недостатком массы.

Для каждого кластера предложены дифференцированные стратегии управления (рекомендации по тренировкам), нацеленные на оптимизацию распределения ресурсов для максимизации конечного результата.

Научная новизна работы заключается в применении инструментария экономико-математического моделирования (кластерный анализ, PCA) к нетривиальной прикладной задаче управления человеческим капиталом в спортивной индустрии. Предложенный подход формализует процесс принятия управленческих решений, переводя его с интуитивного уровня на научно обоснованный.

Практическая значимость заключается в том, что разработанная методология может быть использована руководством спортивных клубов и академий для оптимизации распределения тренерских, медицинских и финансовых ресурсов, повышения капитализации организации за счет роста «стоимости» спортсменов, снижения экономических потерь из-за травматизма и отсева перспективных атлетов, принятия более обоснованных управленческих решений в области селекции и подготовки резерва.

Перспективы дальнейших исследований лежат в области построения динамических моделей для прогнозирования «стоимости» активов (спортсменов) и разработки комплексных систем поддержки принятия решений для менеджмента спортивных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губа В. П., Квашук П. В., Никитушкин В. Г. Индивидуализация подготовки юных спортсменов. М.: Физкультура и спорт, 2009. 276 с. EDN: QWSEHR
2. Линдт Т. А. Показатели физического развития хоккеистов в возрасте от 11 лет до 21 года // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2016. № 1(133). С. 12–17. EDN: VPQFOX
3. Jain A.K. Data clustering: 50 years beyond K-means // Pattern Recognition Letters. 2010. Vol. 31(8). Pp. 651–666.
4. Еремич Н. А., Шестаков М. П. Кластеризация показателей управления движением у высококвалифицированных спортсменов // Вестник спортивной науки. 2023. № 2. С. 83–89. EDN: YHBVJE
5. Сурина-Марышева Е. Ф., Эрлих В. В., Кораблева Ю. Б., Кантюков С. А. Вариабельность ритма сердца в прогнозировании перспективы профессиональной карьеры элитных хоккеистов 15-16 лет // Теория и практика физической культуры. 2019. № 2. С. 29–31. EDN: PPICTP

REFERENCES

1. Guba V.P., Kvashuk P.V., Nikitushkin V.G. *Individualizatsiya podgotovki yunyykh sportsmenov* [Individualization of the training of young athletes]. Moscow: Fizkultura i sport, 2009. 276 p. EDN: QWSEHR. (In Russian)
2. Lindt T.A. Physical development parameters of hockey players aged 11 to 21. *Lechebnaya fizkultura i sportivnaya meditsina* [Physical therapy and sports medicine]. 2016. Vol. 1(133). Pp. 12–17. EDN: VPQFOX. (In Russian)
3. Jain A.K. Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*. 2010. Vol. 31(8). Pp. 651–666.

4. Eremich N.A., Shestakov M.P. Clustering of movement control indicators in elite athletes. *Vestnik sportivnoy nauki* [Sports Science Bulletin]. 2023. Vol. 2. Pp. 83–89. EDN: YHBVJE. (In Russian)

5. Surina-Marysheva E.F., Erlikh V.V., Korableva Yu.B., Kantyukov S.A. Heart rate variability in predicting the professional career prospects of 15-16-year-old elite hockey players. *Teoriya i praxtika fizicheskoy kultury* [Theory and practice of physical education]. 2019. Vol. 2. Pp. 29–31. EDN: PPICTP. (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 conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторах

Демьяненко Татьяна Сергеевна, канд. эконом. наук, доцент кафедры математического и компьютерного моделирования, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет);

454080, Россия, г. Челябинск, пр-т имени В. И. Ленина, 76;

demianenkots@susu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2420-5356>, SPIN-код: 7170-3021

Комов Евгений Алексеевич, студент группы ЕТ-414, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет);

454080, Россия, г. Челябинск, пр-т имени В. И. Ленина, 76;

besbogov@mail.ru

Семененко Любовь Михайловна, студентка группы ЕТВ-229, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет);

454080, Россия, г. Челябинск, пр-т имени В. И. Ленина, 76;

lubashtyka28@gmail.com

Information about the authors

Tatyana S. Demyanenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, South Ural State University (National Research University);

454080, Russia, Chelyabinsk, 76, V.I. Lenin avenue;

demianenkots@susu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2420-5356>, SPIN-code: 7170-3021

Evgeniy A. Komov, student of ET-414 group, South Ural State University (National Research University);

454080, Russia, Chelyabinsk, 76, V.I. Lenin avenue;

besbogov@mail.ru

Lyubov M. Semenenko, student of ETV-229 group, South Ural State University (National Research University);

454080, Russia, Chelyabinsk, 76, V.I. Lenin avenue;

lubashtyka28@gmail.com

УДК 001.891:003.314:81-2:39

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-189-209

EDN: ZXFKXO

Научная статья

Дешифровка надписи сосуда № 2 из кургана Ошад майкопской культуры

А. К. Вороков

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

Аннотация. Серебряный сосуд № 2 из кургана Ошад майкопской культуры (IV тыс. до н.э.) посвящен культу сияющего бога-покровителя Тха. Информация, заключенная в его пиктограммах, не выходит за пределы сакрального нарратива и в отличие от разноплановых текстов сосуда № 1 укладывается в одном предложении. Актуальность темы обусловлена необходимостью проведения комплексного и всестороннего исследования ряда древнейших эпиграфических памятников Северного Кавказа на предмет установления их подлинной семантики и этимологии. Основная цель – дешифровка надписи посредством диалектов адыгского языка, родственного хаттскому (раннему). Главные задачи: 1. Провести обстоятельный анализ пиктограмм, их фрагментов и сочетаний на базе адыгской терминологии с учетом грамматического строя языка (морфологии, синтаксиса, орфографии); 2. Воссоздать релевантные лексические и звуковые элементы с последующей пошаговой лингвистической и семантической реконструкцией нарратива; 3. Соотнести полученные результаты с многоотраслевыми разносторонними научными данными, мифологией. Исследование проводится на основе принципа историзма, в рамках междисциплинарного подхода с использованием лингвистической компаративистики, ретроспективного, глоттохронологического и других вспомогательных и сопутствующих методов. Впервые принимается в расчет символ бога Тха – основополагающая пиктограмма в стилизованном, узорчатом оформлении, которая расценивалась в научном сообществе как орнаментальный образ древа жизни, цветка или водоема. В этнолингвистическом аспекте надпись идентифицирована хатто-адыгской и представляет основанный на пиктографических образах особый вид письма, функционировавший на ранних этапах эволюции архаичной письменности. Для наглядности и более доходчивого восприятия некоторые языковые единицы выделены или приводятся в кириллической транскрипции.

Ключевые слова: хатто-адыго-абхазский язык, синкретический стиль письма, эклектичные образы, ключевая пиктограмма, культ священного бога Тха, солярный и лунный аспекты, крест – древнейший символ Тха

Поступила 24.04.2025, одобрена после рецензирования 13.05.2025, принята к публикации 03.06.2025

Для цитирования. Вороков А. К. Дешифровка надписи сосуда № 2 из кургана Ошад майкопской культуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 189–209. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-189-209

Original article

Deciphering the inscription of vessel No. 2 from the Oshad mound of the Maikop culture

A.K. Vorokov

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

Abstract. Silver vessel No. 2 of the Oshad kurgan of the Maikop culture (IV millennium BC) is dedicated to the cult of the shining patron god Tha. The information contained in its pictograms does not go beyond the sacral narrative and, unlike the diverse texts of vessel No. 1, is arranged in a single sentence. The relevance of the topic is conditioned by the necessity to conduct a complex and comprehensive study of a number of the ancient epigraphic monuments of the North Caucasus in order to establish their true semantics and etymology. The main goal is to decipher the inscription by means of dialects of the Adyghe language, related to the Khatt (early) language. Main tasks: 1. To carry out a detailed analysis of pictograms, their fragments and combinations on the basis of Adyghe terminology taking into account the grammatical structure of the language (morphology, syntax, orthography); 2. To reconstruct relevant lexical and sound elements followed by step-by-step linguistic and semantic reconstruction of the narrative; 3. To correlate the results obtained with multidisciplinary multifaceted scientific data, and mythology. The research is conducted on the basis of the principle of historicism, within the framework of an interdisciplinary approach using linguistic comparativism, retrospective, glottochronological and other related methods. For the first time, the symbol of the god Tha is taken into account – a fundamental, key pictogram in a stylized, patterned design – which was regarded in the scientific community as an ornamental image of a tree of life, a flower or a pond. From an ethnolinguistic perspective, the inscription is identified as Khato-Adyghe and is classified as a special type of verbal-syllabic writing based on pictographic images. It has signs of ideography and is considered to be one of the important stages in the evolution of archaic writing. Some language units are highlighted or given in Cyrillic transcription for clarity and easier comprehension.

Keywords: Khato-adygo is the Abkhaz language, syncretic writing style, eclectic images, key pictogram, the cult of the sacred god Tha, solar and lunar aspects, the cross as the oldest symbol of Tha

Submitted 24.04.2025,

approved after reviewing 13.05.2025,

accepted for publication 03.06.2025

For citation. Vorokov A.K. Deciphering the inscription of vessel No. 2 from the Oshad mound of the Maikop culture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 189–209. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-189-209

ВВЕДЕНИЕ

Сосуд № 2 («с розеткой») имеет близкую, но не идентичную форму с сосудом № 1 («с пейзажем»), вместе с тем он тоже напоминает шарообразную крынку (рис. 1). На нем не прослежены следы разметки «острым орудием», как на первом сосуде [1, с. 88], что не исключает ее нанесение красящим веществом, остатки которого впоследствии могли быть легко удалены.



Рис. 1. Серебряный сосуд № 2 из кургана Ошад майкопской культуры IV тыс. до н.э.
Государственный Эрмитаж. Санкт-Петербург

Fig. 1. Silver vessel No. 2 from the Oshad mound of the Maikop culture IV thousand BC.
The State Hermitage Museum. Saint-Petersburg

Авторитетные ученые [2, с. 231] Е. И. Крупнов, А. Я. Федоров, Б. Х. Бгажноков, Б. М. Кереев, Н. Г. Ловпаче, Э. А. Шеуджен, С. Х. Хотко, Е. П. Алексеева, Р. Ж. Бетрозов, А. Ш. Бакиев, В. И. Марковин, Р. З. Куадже, Л. А. Асланова и др. считают создателями и носителями майкопской культуры древних адыгов – близких родственников хаттов. Б. Х. Бгажноков не исключает, что Западный и Северный Кавказ были центрами хатто-абхазо-адыгского единства, «своего рода метрополией некоторых древних языков и культур Передней Азии и даже Индии» [3, с. 11], и «повествует, – как указывает А. М. Шазо – о длительном пребывании на территории Междуречья прачеркесских правящих элит, поддерживавших постоянную связь с метрополией на Северном Кавказе как в период расцвета бронзового века, так и после его трагического конца» [4, с. 91]. Речь идет о центре процветающего раннего имперского образования протоадыгов, что подтверждается дешифровками надписей сосуда № 1, где назван первый император из известных в мировой истории – Уар Хатти из рода Шыпш [2, с. 239–243].

А. В. Сивер приводит цитаты из статьи Р. З. Куадже (Анты – это адыги. 1993), который прямо и открыто называет адыгов «редчайшей и самой древнейшей нацией мира» [5, с. 6].

Актуальные выводы ученых о том, что адыго-абхазы сохранили «основной словарный фонд с эпохи бронзы», проливают свет на общность древней и современной бытовой лексики, религиозной, животноводческой и пр. терминологии, с чем согласуются и результаты проведенного исследования. Эти выводы поддерживает Л. И. Лавров [6, с. 196], опираясь на лингвистический анализ топонимов и этнонимов Западного Кавказа, известных с древних времен.

Давая оценку адыго-абхазским языкам в контексте выдающихся отечественных и зарубежных лингвистов, А. П. Тихонова резюмирует: «Исключительная архаичность строя абхазо-адыгской речи, представляющей, будто бы реликтовый остаток древней речи человечества чуть ли не дородовой эпохи, как отмечал Н. Я. Марр, ссылаясь на Ж. Гиннекена, позволяет использовать абхазо-адыгские языки для восстановления праязыка» [7 с. 75; 8].

Древние мастера формировали надписи на сосудах посредством одних и тех же приемов и способов [2] с учетом хатто-адыгских грамматических и синтаксических моделей, и поэтому они выводятся с применением общей методики и алгоритмов, отражая устную речь по правилам адыгской грамматики. При этом следует учитывать, что буква «э» в современной адыг. орфографии передает краткий звук «а»; буква «ы» в словах фактически не произносится, но обозначает неясный звук, в иных отношениях исторически преобразованный (по Г. Ф. Турчанинову) из звука «а» [9, с. 72, 74]. Поэтому с учетом «поправок на древность», в связи с эволюцией отдельных слов в свете исторической ономастики и погрешностей современной орфографии здесь целесообразно произносить хатто-адыг. арх. форму *пса* вместо *псы* – «река, вода» (ср. адыг.: *зы* и *занэ* (один), *зэ/за* (один раз), убых.: *зэ/за* (один), абаз.: *зак/ы* (один) и т.п.), что находит отражение в ряде современных и древних адыг. гидронимах: *Псахо*, *Псакупс*, *Псат*, *Псафия*, *Псахансия*, *Арунса*, *Ансара*, *Лагумпса*, *Сунса* и др.

Из названий образов, фрагментов, их деталей (хвост, мимика, оскал и др.) извлекаются уместные омонимы, синонимы, созвучные слова (*бзу* – «птица», *бзэ* – «язык» и др.), которые упорядочиваются и обогащают предложение разнообразием дополнительных характеристик как очередными прочтениями, так и порознь, полисемичными значениями и коннотациями. Протянутой или поднятой лапой животных автор привлекает названия частей тела (нога, лапа) или действий, которые они совершают (удар, хватание, соприкосновение и др.) в значении слов-омонимов или как фонетико-фонологические единицы (слоги, фонемы). Их односложные названия и сочетания: *к/э* (хвост), *лэ/лэанэ* (нога/лапа), действия *уа* (удар) и др. озвучивают силлабоморфемы и аффиксы, формируя в плане лексической и грамматической парадигмы разнообразие дериватов, производных лексем. Предваряя слоговое и алфавитное письмо, отдельные понятия воссоздаются компонентами, вычлененными непосредственно из названий конкретных объектов (*аж* из *ажэ/ажэ* – «козел», *пс/пса* из *пс(ы)-хэуэ* – «цапля» и пр.), что свойственно и др.-егип. иероглифике (Ж.-Ф. Шампольон. Очерк иероглифической

системы древних египтян. 1824). Иные синтезированные, визуально-вербальные образы раскладываются, озвучивая отдельные члены предложения. Древние мастера прибегают к деформации фрагментов (вытянутая морда/нос/глаз/зрачок хищников), к приемам гиперболизации (размеры, форма головы и носа у хищной птицы) для привлечения новых понятий и сведений. В связи с этим Ю. Ю. Пиотровский, ссылаясь на Б. Е. Дегена, замечает: «Другие видят «деформацию реальных пропорций – как результат далеко зашедшей стилизации» [1]. Характерные позы, пикантные особенности и черты персонажей расценивают как сюжетные изображения майкопского звериного стиля. Между тем эти нюансы передают составные элементы композитов древнего письма. По справедливому замечанию В. А. Истрина, пиктографические надписи разгадываются с трудом, подобно ребусам [10, с. 47].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В исследованиях надписей обоих сосудов Г. Ф. Турчанинов обходит стороной адыгский язык, что сказалось негативно на их результатах [9]. При этом некоторые его заделы явились важным подспорьем для дальнейших проработок в разрешении отдельных тематических вопросов. Подводя итог своим трактовкам надписи сосуда № 2, он пишет: «Итак, фонетизированная силлабо-пикто-грамма на втором серебряном майкопском сосуде звучала в целом примерно так: **цса (м. б. цс'а) бДь-)аб. ЦсазагХэа (м. б. цс'азаг1ва) цв (и)бгаб** – “царской души вместилище есть. Душе вора род проклянет”» [9, с. 89].

Спорным в исследовании ученого является следующее: 1. Не учитываются ключевой символ, занимающий все днище сосуда, и круговая, «стрелочная» пиктограмма под его шейкой; надпись считывается с произвольного образа [9, с. 86]. 2. Пропущены хищники как «табуированные», имя которых «нельзя называть» [9, с. 86–88], однако не случайно показаны передающие в адыг. омонимах сияющий ореол святости: шейная цепочка (**пицэпс/пишэпс**) хищников (**ха**), вытянутые (**ицэя**) лицевая часть (**нанэ**), глаз/веко (**нэ/нан1э**), нос (**нэ**), протянутая лапа (**лэапэ ицэя**), передняя ведущая нога (**лээ паицэ**). 3. Фрагмент на спине быка ошибочно расценивается «заштрихованной выемкой» или «заштрихованной впадиной», изображающей «профиль пруда» [9, с. 86, 89], когда в действительности это позвоночник **тхы/тхыца** (позвоночник, спина), структурно выделенный на спине быка (рис. 2) с тем, чтобы омонимом озвучивать корневую основу слова «писать» – **тхы**, понятие **тхыца** (писаное имя) и др.



Рис. 2. Сосуд № 2, на спине быка выделен позвоночник.
Государственный Эрмитаж. Санкт-Петербург

Fig. 2. Vessel No. 2, on the back of the bull the spine is highlighted.
The State Hermitage Museum. Saint-Petersburg

Упрощенный вариант адыг. интерпретации (с пропусками и порядком считываний образов по Г. Ф. Турчанинову) гласит: *Тха псалъэжъ, бзый цIу тхыкIэуэ (къы)гъажа* – «Старинное слово Тха отчеканено/вырезано лучами в блестящей манере письма». Выведенный по лекалам и подходам Г. Ф. Турчанинова этот вариант, хотя и не утрачивает суть контента, его нельзя признать полноценным, без привлечения ключевой пиктограммы, занимающей всю сферическую поверхность основания сосуда и символизирующей главного, высокопочитаемого, светоносного бога Тха.

Всесторонность и полнота исследования предполагают исходить из двух концептуальных подходов, двух вариантов интерпретаций, смежных и диалектически взаимосвязанных. В алфавитном письме, даже с появлением возможности дословно считывать сообщения, в иных случаях тоже требуются пояснения, простые примеры: «Рисунок изображает хребет» (позвоночник, спину или горную цепь?); «Отражаются лучи небесного светила» (какого?).

Подобная дилемма здесь обусловлена неоднозначностью семантики орнаментально декорированного лучами и фестонами креста, вписанного в круг в основании сосуда, на фоне концентрических окружностей. В современной семиотике крест внутри круга – это и дорожный знак, и символ Вселенной, движения, единения пространства и времени, и др. В древности этот знак означал как Бога Тха/Та, Творца Вселенной, Мироздание, так и небесные светила, божественное око, глаз, а также четыре стороны света, четыре времени года, колесо, колесницу и др. По разным сведениям, кромлехи древних курганов могут символизировать Солнце, Луну или форму Космоса (Вселенной). В различные эпохи и в зависимости от географии расселения племен акценты в расстановке приоритетных культов и божеств варьировали [2, с. 246]. В плане сакрального в представлении древних семантика этого знака в широком смысле означала универсального, Вселенского Бога, сияющего лучами небесных тел, соотносимых с ним как части к целому. Имеются указания, что в некоторых поверьях древних народов, в том числе славян, солнце и луна рассматривались как часть мирового древа, а само солнце понималось как лицо (адыг.: *напэ*) или око (*нэ*) Бога (*Тха*), как «окно, через которое Бог смотрит на Землю». Л. А. Асланова подчеркивает, «что крестом обозначалось и Мировое древо, или Золотое Древо Нартов, упоминаемое в адыгском фольклоре» [11, с. 42]. Отмечая, что в орнаменте протоадыгосолнцепоклонников «доминируют такие «солярные» символы, как круг, крест, крест в круге, концентрические окружности, свастика, роговидный завиток» и «напрямую с ними связаны стилизованные изображения луны, звезд, а также символов плодородия – голов и рогов животных (барана, козла, оленя, быка)», она поясняет: «Мотив древа жизни выступает как ось симметрии, объединяющая вокруг себя орнаментальные элементы, означающие небесные светила, землю и ее обитателей» [11, с. 39, 42]. При этом Бог-Творец Тха олицетворяет основу – квинтэссенцию этого мифологического архетипа, всего Мироздания, как движущая, животворящая, духовная сила.

Тха встречается в древнеегипетских, авестийских, древнегерманских, кельтских, тайских, древнесемитских теофорных именах, а сегодня в странах Южной и Юго-Восточной Азии, в т.ч. и в составных названиях многочисленных святилищ. «Если теоним «Тха» в старинных памятниках Европы, Африки, Ближнего и Среднего Востока, Центральной Азии встречается не так часто, – замечает Тенгиз Адыгов (М.Х. Маржохов), – то на санскрите, наречиях Тибета, Индии, Непала и других мест его употребление носит чуть ли не массовый характер» (Т. Адыгов. Слог священного санскрита. 2015). Примечательно, что в Лаврентьевской летописи Средневековья, а также в древнерусской берестяной грамоте № 692 начала 15 века и др. неоднократно упоминается богословская фраза: «**во и́мѧ о́цѧ и' снѧ и' сѣ́гѧв дѣ́а**» – «во имя Отца и Сына и Святого Дха», где *Дха* (впоследствии преобразованное в *Духа*) сопоставимо с хатто-адыг. *Тха*, *Тух(а)*, как и арабское *Дуа*, *Духа* (молитва, мольба, обращение к Всевышнему) или касситское *ХуДха* – адыг.: «Бог Света».

Любопытно, что крест как знак унаследован и распространен преимущественно в христианской Европе, а термин Тха – в Азии. Однако этот символ, в т.ч. Т-образный, и как денотат, и как концепт сакрального Тха до последнего времени удалось сохранить на Кавказе только черкесам (адыгам).

По одной версии, бог Тха предстает в свете сияющих солнечных лучей, а по другой – в синкретическом солнечно-лунном сиянии (дневного и ночного света). Первая концепция исходит из того, что основная пиктограмма изображает сияющее Солнце, которое в эпоху солнце- и огнепоклонничества, в анимистических воззрениях древних с элементами язычества предстает как небесное око верховного бога Тха и даже ассоциировалось, отождествлялось с ним; форма сосуда напоминает глазное яблоко. «Вполне возможно, – пишет А. Т. Шортанов, – что адыги в свое время отождествляли Тха с солнцем, луной и небом, как это было, например, у германцев Цезаря...» [12, с. 25].

В первой, краткой версии визуальные образы в адыг. номинациях предстают следующими названиями (рис. 3): **Тыгъэ/Дыгъэ** (солнце); **бзыу** (птица); **пицэпс** (шейная цепочка);

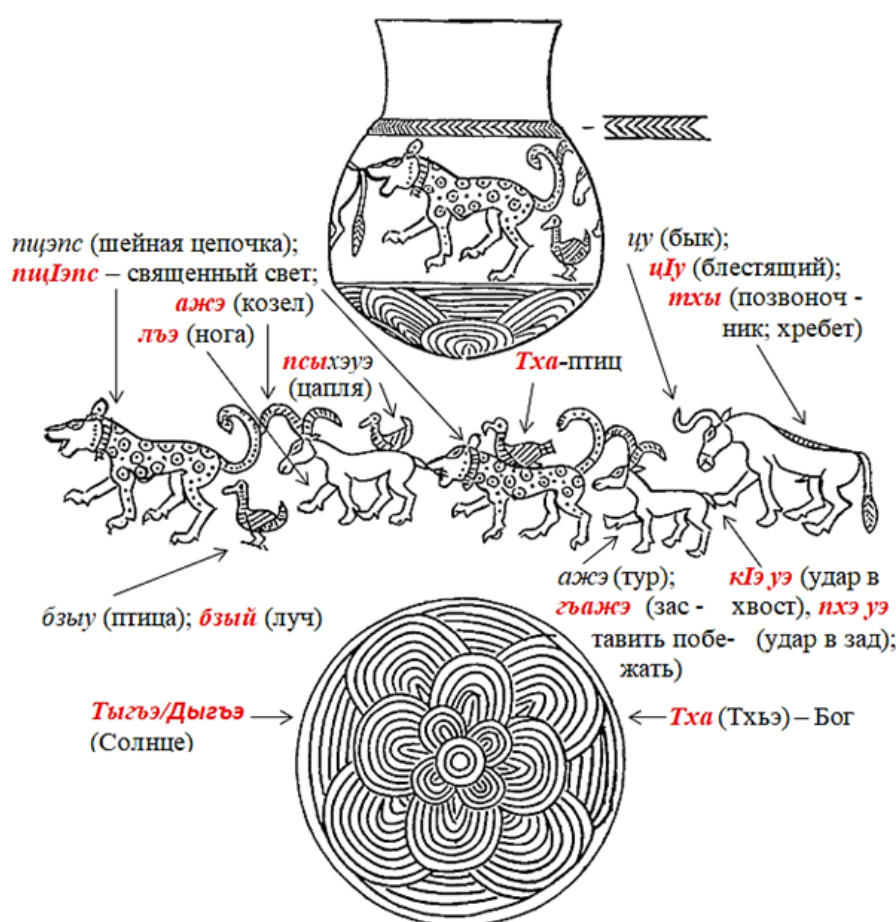


Рис. 3. Прорисовка пиктограмм и фрагментов сосуда № 2 (по Ю. Ю. Пиотровскому) с их адыг. названиями

Fig. 3. Drawing pictograms and fragments of vessel No. 2 (according to Yu.Yu. Piotrovsky) with their adyghe names

цу (бык); **тхы** (позвоночник); **кэуэ** (удар в хвост); **ажэ/ажа** (козел/тур); **Тха-птиц** (боожественная птица адыг. и нарт. мифологии); **пицэпс** (шейная цепочка); **псыхэуэ** (цапля), **псынэкъуау** (журавль), **псыхау** (аист), **псылаклэ** (чайка), пеликан – **псым тесрэ бзыуихо пэклыхэуэ лэпкэ** (большая водоплавающая птица с длинным/массивным клювом и большим кожаным мешком под ним); **лэу** (нога); **ажа** (козел); **Тха** (бог). Из этих слов и в той же по-

следовательности извлекаются выделенные омонимы и слоги (рис. 3), озвучивающие предложение: *Тыгъэ/Дыгъэ бзый пицлэпс цлу тхыкIэуэ, гъажа Тхъэ пицлэпс псалъэжъ – Тха* – «Написанное в блеске лучей почтенного солнечного света/сияния, отчеканено священного, сияющего Тха (бога) старинное слово – Тха». Понятие *тхыкIэуэ* (стилем письма; писанием) может дублироваться выводимым адыг. *тхыпхъэуэ* (рис. 3) – «узором/орнаментом/знаком» (абаз.: *тхыпха* – «узор») с сохранением общего смысла: *Тыгъэ/Дыгъэ бзый пицлэпс цлу тхыпхъэуэ гъажа Тхъэ пицлэпс псалъэжъ – Тха* – «В блестящем узоре сияющих лучей почтенного Солнца отчеканено сияющего, священного Тха старинное слово – Тха». Бог *Тха* и диал. *Тыгъэ/Дыгъэ* (Солнце) обозначены главным символом в виде розетки, занимающей всю поверхность основания сосуда. Слово *бзый/бзий* (луч; языки пламени; узкий лист) выводится омонимом из *бзыу* (птица). *Пицлэпс* (почтенный свет/сияние) – выводится омонимом слова *пицэпс* (шейная цепочка), где *пицэ/пишэ* – «шея», *пицлэ* – «честь, почет» [13, с. 565], *пс* – «свет»; кроме того, с *пицэху* (ошейник) соотносится *пиэху* (рассеивающийся свет), с *пицэп(ы)ль* (висящий на шее) – *пицэпль* (заря). *Цлу* (блестящий, лоснящийся) – омоним слова *цу* (бык) [14, с. 307], абх.: – *ацэ* [15, с. 96]. Понятие *тхыкIэуэ* (написанием) образуется соединением слова *тхы* (позвоночник, спина), озвучивающего корень слова «писать» и *кIэуэ* (удар в хвост), где *кIэ* (хвост), *уэ* (удар) – показатель обстоятельства образа действия. Бык демонстрирует удар ногой в хвост (*кIэ уэ*), в заднюю часть (*пхэ уэ*) козла/тура (*ажа*), что «заставляет его бежать» – *гъажа* (омоним – «отчеканено» [13, с. 765]), где *гъа* – показатель каузатива к *жан* – «бежать», о чем свидетельствует и высоко поднятая передняя нога козла. Придавленный его хвост (рис. 2, 3) – последствие удара ногой, а не простое прикосновение. Понятие *Тха* (бог) выделено из составного теонима *Тха-птиц* – божественная, хищная птица древней адыгской и нартской мифологии (ср. *тхачэт* – «индейка» и др.). Она ассоциируется с образом Богини-матери на скульптурке из Чатал-Гуюк (Анатолия (VIII-VI тыс. до н.э.) – исторический регион хаттов), восседающей, словно на троне, между двумя тотемными, культовыми животными, и с аналогичными изображениями хурритской богини Хепат из Хеттского царства (II тыс. до н.э.). Эту птицу Г. Ф. Турчанинов обозначил многозначным в хатто-адыго-абхазском языке словом *ха* – синонимом *Тха* – «бог» [7, с. 76; 13, с. 283, 446; 16, с. 291]. Повторное *пицлэпс* (почтенный свет/сияние) выводится вышеприведенным способом. *Псалъэжъ* (древнее слово) озвучивается соединением префиксов *пса*, *лъэ*, *ажа*, вычлененных, соответственно, из адыг. названий упомянутых водоплавающих птиц, напр., цапли (*пс(ы)хэуэ*), приподнятой ноги (*лъэ/лъа*) козла и самого козла (*ажа*). Форма и размер клюва у изображенной птицы и у вышеназванных водоплавающих видов аналогичны (рис. 4). Теоним *Тха* (бог) озвучивает ключевая пиктограмма повторным прочтением в конце предложения.



Рис. 4. Форма и размеры клюва изображены характерными как для сидящей крупной водоплавающей птицы, так и стоящей утки

Fig. 4. The shape and size of the beak are depicted as characteristic of both a sitting large waterfowl and a standing duck

Текст считывается по ходу «шествия» животных, неразрывно связанных подобно звеньям одной замкнутой цепи, описывая окружность по периметру основной пиктограммы. В горизонтальной проекции сосуда это отражает круговорот, коловорот, цикличность и бесконечность космологических процессов. Такая «спаянность» предполагает чтение надписи с основной пиктограммы, с переходом к отдельно стоящей на поверхности птице – утке, которая приходится на разрыв, водораздел между началом и концом вереницы и чтения. Кроме того, в силу полисинтетических свойств языка [2, с. 241] такая связь может предполагать считывание надписи одним цельным словом в соответствующих интонациях. Этому способствует гибкость адыгского языка, в котором функцию союзов и предлогов могут выполнять аффиксы, послелогии.

Примечательно, что название хаттского божества *Aštan/Ištan* переводится с адыго-абхазских языков букв. как «горящее око бога/отца», а *Tabarna* – «око большого отца» [7, с. 76], указывая на божественные небесные светила как на неотъемлемую, органическую часть бога Тха/Та, его сияющий атрибут.

В свете компаративной мифологии и палеографического анализа второй вариант интерпретации исходит из того, что, ключевая пиктограмма символизирует *Тха*, лучезарность которого проявляется синкретически – в солнечно-лунном свете. В основе тезиса черкесских князей (как и их герба), утверждавших, что они солнечно-лунного происхождения, как считает Б. Х. Бгажноков, лежит солнечный круг. В продолжение этой мысли он констатирует: «В самом деле, такое же «солнечно-лунное» обоснование находит божественный титул и статус хеттских царей на широко известных рельефах Центральной Анатолии, где солнечный диск с лунной помещен в центре широко расправленных крыльев могучей птицы, скорее всего, орла с изображением луны и солнца вместо головы» [3, с. 7, 8]. В верованиях адыгов, как сообщает А. Т. Шортанов, Тха или Тхашхо (Великий Бог) создал не только землю, но и солнце и звезды; вместе с тем адыги «признавали Солнце братом, а Луну сестрой» [12, с. 25, 30]. Указывая на постоянное присутствие синкретизма в адыгской среде и традициях, С. Т. Чамокова со ссылкой на цитату А. Т. Шортанова поясняет: «В адыгейском языке существуют клятвы: Тхьэуэ мыр зи тыгъэ (клянусь богом, создателем этого Солнца), тхьэуэ мыр зи мазэ (клянусь богом, создателем этой Луны)» (17, с. 48, 50). Подобные клятвы широко встречаются не только у адыгов, абазин и абхазов, но и у ингушей, чеченцев (чеч.: «цу малхор» (клянусь солнцем), «цу баттор» (клянусь луной)), балкарцев, карачаевцев, осетин, а также аварцев, лакцев, даргинцев, лезгин, ногойцев, кумыков (Р. И. Сефербеков. 2007) и др.

Многочисленные штампованные золотые бляшки львов (символ солнца) икратно уступающие им по количеству серебряные бляшки и фигурки бычков (символ плодородия и луны) из кургана Ошад свидетельствуют о том, что представители майкопской культуры наряду с Солнцем чтит и Луну. В связи с этим Ю. Ю. Пиотровский пишет: «По мнению М. В. Андреевой, рисунки связаны с космологическими представлениями, о чем свидетельствуют сочетание процессии животных с розеткой на сосудах и изображение полумесяца на рогах у быков» [1]. Во фронтальном разрезе контуры сосуда очерчивают конфигурацию рогов быка с выпуклой розеткой в основании.

В архаичные времена древние шумеры, египтяне, ассирийцы, греки и др. дифференцировали верховного бога и небесные светила (солнце, луну). Например, божества др.-месопотамского пантеона представляли: Ашшур – главный бог; Син – бог Луны, отец бога Солнца – Шамаша; Адад – бог грозы и сильного ветра (ср. абх.: Адыд – «гром/гроза» [15, с. 293, 294]). Хотя в отдельных случаях Солнце сливалось с главным божеством, в большинстве древних артефактов образ солнца сочетается с луной или с бычьими рогами – символом плодородия и луны или в виде креста с полумесяцем (рис. 5).



Рис. 5. Солярно-лунная символика в артефактах: а) фрагмент Т-образной стелы святилищ Гёбекли-Тепе (Турция, X–VIII тыс. до н.э.); б) тарелка с «мальтийским» крестом. Халафская культура (VI тыс. до н.э.); в) тертерейская табличка культуры Винча (VI тыс. до н.э.) с изображением полумесяца и креста в нижнем левом секторе; г) сосуд Триполья (VI тыс. до н.э.); д) хаттский солнечный диск (V тыс. до н.э.); е) фигурка золотого бычка из кургана Ошад (IV тыс. до н.э.); ж) голова египетской богини Мехурт (II тыс. до н.э.); з) египетская богиня Хатхор (II тыс. до н.э.); и) божество на троне под небесными светилами. Касситский период (II тыс. до н.э.); к) перстень египетского фараона Тутанхамона (II тыс. до н.э.)

Fig. 5. Solar-lunar symbolism in artifacts: a) a fragment of the T-shaped stele of the Gobekli Tepe sanctuaries (Turkey, X–VIII millennium BC); b) a plate with a "Malaysian" cross. The Khalaf culture (VI millennium BC); v) the Terterian tablet of the Vinci culture (VI millennium BC) with the image of a crescent and a cross in the lower left sector; g) the vessel of Tripoli (VI millennium BC); d) the Hattian solar disk (V millennium BC); e) a figurine of a golden bull from the Oshad mound (IV thousand BC); zh) the head of the Egyptian goddess Mehurt (II BC); z) The Egyptian goddess Hathor (II thousand BC); i) a deity on a throne under the heavenly bodies. Kassite period (II BC); k) the ring of the Egyptian Pharaoh Tutankhamun (II BC)

Аналогично образу водоема на днище сосуда № 1, который расценивается как Черное, так и Каспийское море (по Б. В. Фармаковскому) или общий «мировой океан» (по С. Н. Кореневскому), пиктограмма в основании сосуда № 2 может синкретически отображать сияющего бога Тха в солнечно-лунном свете.

Методами иконографического и акрофонического сопоставлений обнаруживается графическая, фонетическая и семантическая взаимосвязь адыгского теонима Тха/Tha в названии ключевой пиктограммы с аналогичными символами, обозначенными как Th*/Tha в нижеперечисленных древних системах письма. На рис. 6 приведены соответствующие буквосочетанию Th* (Тх*) арх. латинские, греческие, финикийские, этрусские буквы в виде крестов и точек внутри круга; знак слогового письма Брахми в виде окружности с точкой в центре в значении Tha (Тха); др.-греческие аналоги под названием «тхета» – $\theta\eta\tau\alpha$ *thêta* [tʰɛːta]. При этом бог по др.-гречески назывался «тхеос» – $\theta\epsilon\acute{o}\varsigma$ *theos*.

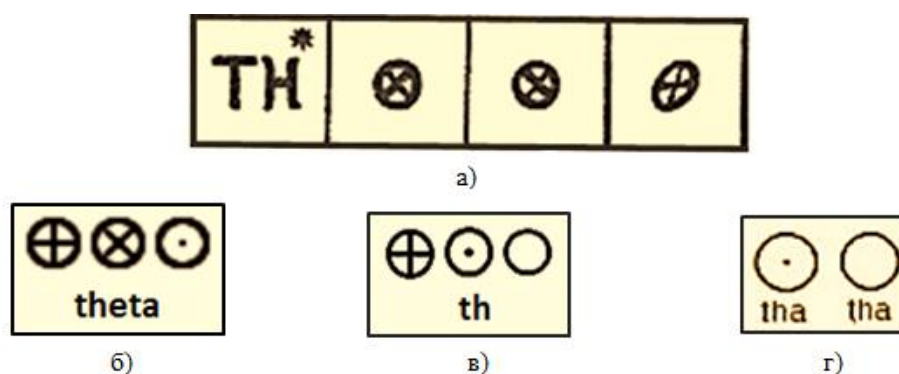


Рис. 6. Адыгские названия букв и слогов в соответствующих графемах/символах:
а) арх. латинского, греческого и финикийского алфавитов; б) др.-греческого алфавита;
в) этрусского алфавита; г) др.-индийского слогового письма Брахми

Fig. 6. Adyghe names of letters and syllables in the corresponding graphemes/symbols:
a) arch. Latin, Greek and Phoenician alphabets; b) other-the Greek alphabet;
c) the Etruscan alphabet; d) other-Indian syllabic Brahmi script

Второй – подробный, развернутый вариант гласит: *Тхаба бзый пиэпс пицлэ зицлэ ха-напаклэ, лъапкь лъаплацэ тхыцлэ тетхыкцлэуэ, цлу тхыкцлэ-тхыпхэуэ (кьы)гъажэ ажауэклэ: кьошын цлагьым бгьуэ, ору зиубгьу; кьошыны пицэм ди жын нэху нур пицлэ зицлэ пиэпс пиэклухьу дуней хьурейгьу кьиклухьу; (кьа)блэуэ дыгьэ-мазэ пицлэ зыхуацлэ пиэпс ханапаклэ, кац-хаба-дзасэ лъапкь лъаплацэ бзэ псалъэжэ жааклэ – Тха – «Тха могучего/вездесущего, множеством лучей, разливающегося сиянием в священном образе/лике, самое дорогое в народе писаное имя, скопированное в блеске узорного знака/письма, отчеканено выбиванием по серебру: на днище кувшина (крынки) широко стелящимися волнами; на шейке сосуда, нашим светлым джинном/духом, разливающимся сиянием священного ореола, движущегося (циркулирующего) вселенским круговоротом; в свете почтенного солнечно-лунного, разливающегося сиянием, лика (образа, иконы), самым дорогим, народным в касско-хабадзасском языке говоримым (употребляемым) старинным словом – Тха». В этой расширенной, исчерпывающей полноты версии привлекается ряд слов и понятий, которые предусмотрены древним автором и на равных началах могут считываться с образов как самостоятельно, так и чередуясь. Так, стоящая на земле «птица», адыг. – *бзыу/бзу* (шум. – *зу*), по всем признакам еще и утка *бабыц* (рис. 4); из них извлекаются омоним и слог, озвучивая в ряду со всеохватывающей пиктограммой *Тха*, словосочетание... *Тха ба бзый*... – «...Тха могучего/множества лучей... . Название *бабыц* (утка) обнаруживает сходство только у народов Северного Кавказа: адыг.: *бабыц*; абаз.: *бабыц*; чеч. – *бад*; осет.: *бабыз*; ингуш.: *боабаик*; карачаево-балк.: *бабуш*; ногой.:*

бапий; дарг.: *бятI*; кумык. – *бабиш* и др., что говорит о древности коренной основы и единой этимологии этого слова. Из *бабыш* (утка) извлекается префикс-слово *ба* в значении «много, масса, множество», как и у хаттов [13, с. 385; 7, с. 76], в коннотации «могучий, вездесущий, всеобъемлющий». Сложное слово *пицэпс* (шейная цепочка) генерирует не только созвучное понятие *пицIэпс* (почтенный свет), где *пицIэ* – «почет; уважение», абх. *ацшъа*, *ицшъоу* – «святой, священный», *пс(ы)* – «сияние/свет» или показатель превосходной степени, но и озвучивается омонимом *пишэпс* – «разливающийся, распространяющийся, рассеивающийся свет/сияние»; а вместе с очевидным *пицIэхэлъын* (быть надетым на шею), из которого выводится понятие *пицIэ зыхэлъ/зиIэ/зыхуащI* [13, с. 566] – «почтенный/священный», образует сочетание *пишэпс пицIэ зиIэ/зыхуащI* (разливающийся светом почтенный/святой). Замечено, что адыг. корень *пишэ/пиша* присутствует в слове *пишэн* (раздуваться; расползаться) и в названиях объектов и явлений природы с текучими – арх. *пиша/псы* (вода); рассеивающимися – *пишэ* (туча, облако), *пишагъуэ* (туман); сыпучими – *пишахъо* (песок); излучающими свет – *пишаплъ* (заря); распространяющимися – *пишапэ* (сумерки) и т.п. свойствами. Очевидное *ха напа*, *лъапкъ*, *лъапэ цэя* (хищника лицо, когти, лапа вытянутые) озвучивает сочетание: *ханана*, *лъапкъ лъапIащэ* – «икона/лик, в народе самое дорогое». Хатто-адыг. *ха (ha)* в слове *ханана/тханана* (*хъэнапэ* = *тхъэнапэ* [16, с. 291]) – «икона, образ», означает и голову, и собаку, и божество, являясь префиксом в названиях хищных животных (барса, леопарда и др.). В словоформе *хананапIэ* (ликом) твор. падеж озвучивает суффикс *кIэ* – «хвост» (быка), к которому притянута голова хищника; альтернатива – *тха/хананауэ*, где суффикс *уэ* озвучивает «толчок» (*уэ*) пастью хищника (рис. 1). Понятие *тхъэнапэ* (божий образ) часто связывают с христианством, но составляющие этого слова: *тхъэ* (бог) и *напэ* (лицо, лик) [18, с. 122] бытовали задолго до н.э. Наряду с *тхъэнапэуэ* или вместо него уместны выводимые омонимы: *нэ пIащэуэ* (большим оком) из *нэ п(I)э цэяуэ* (вытянутым лицом/носом/глазом/веком); *нэцэнэуэ* (символом) из *нэцэ нэуэ* (косым глазом). Одинаково выводится уместный в обоих сосудах омоним *лъапкъ* (род, племя, народ), извлекаемый из воссозданного слова *лъапкъ* (коготь), выдвинутых когтей хищников, по аналогии с *дзэпкъ* (клык), *жэпкъ* (подбородок) [2, с. 240]; возможно, что и арх. *папкъ/пакъу* означало «клюв», где *па* – «нос», *къ/къу/пкъ* – «твердыня, ручка, вырост» – общий компонент в названных словах, как и буква «к» в русс.: «клюв», «коготь», «клык» (ср. «кость» – *къутицхэ*; «кадык» – *къыдэк-Iа* – «горб», букв. выступающий; «копчик» – *кIэпкъ* и т.п.). *ЛъапIащэ/лъапIэщэ* (очень дорогой, священный, образуется от созвучных *лъэ пащэ*, *лъапэ цэ* (распрямленная передняя нога; вытянутая лапа), а также сочленением *лъэ* – «нога» (вытянутая у хищника) с *пащэ* (вытянутый нос) или полным омонимом *лъэ пIащэ* (крупная нога), где *цэ* означает «очень» (ср. русс. *дорогуша*, *силище*, *красотища*, *Любаша* и т.п.). Понятия *лъапIащэ*, *лъапкъ* и ряд других уместных по контексту слов в обоих сосудах воссоздаются по одним правилам, подтверждая верность трактовки методом перекрестных чтений. Слово *тхыцIэ* (писаное имя; *тхыбзэ* – «письменный язык») выводится полным омонимом из названий: «спина; позвоночник» – *тхыцIэ* [13, с. 685]. *ТетхыкIэуэ* – «списанное, скопированное» (имя) озвучивается соединением очевидных: *тет* (хатт.: *tet* [14, с. 309]) – «находится на..» [18, с. 124] (на спине быка), *тхы* (позвоночник) и *кIэуэ* (удар в хвост). С *тетхыкIэуэ* соотносится альтернативное *хэтхыкIэуэ* (выписанное, гравированное), где *хэт* означает «включенный в состав чего-л.» (спины быка) [14, с. 383.] или *бгъурытхауэ* (надписанное с боку, снаружи), где *бгъу* созвучно с синонимом быка – *б(ы)гъу*. Понятия *Цу тхыкIэ-тхыпхъэуэ* (в блеске узорного знака/письма) и *(къы)гъажа* – «(от)чеканено» выводятся прежними способами. *АжауэкIэ* – «выбиванием по серебру» (ср. абх.: *ажьыра* (кузница), *ажьахъа* (молоток) [15, с. 671, 779]), где *ажа* (серебро; син. – *дыжын*) воссоздается из *Iэжбыж* (устар. – комплект серебр. украшений на муж. поясе), где *Iэж* (*аж*) мо-

жет означать только «серебро», выводимое из созвучного *ажа* (козел), т.к. *быж* это – «пряжка» [2, с. 69], *уэ* – «ударяя; лягая» (высоко поднятая нога козла), *кІэ* – «хвост» (первого хищника) – показатель орудийного (твор.) падежа. Очевидное описание *кьошын ицлагъым бгъуэ ору (уэру) зиубгъу* (широко стелящимися волнами по днищу сосуда) согласуется и связано с адыг.: *кьошын лъащІабгъуэ* – «крынка» [13, с. 334], букв. «кувшин/сосуд с расширяющимся днищем»; *ору* – «волнами». Сочетание *кьошыны пцэм, ди жын нэху нур* (на шейке кувшина, наш светлый джинн/дух) выводится из очевидного и созвучного описания *кьошыны пцэм дыжын нэху нур*... – «на шейке сосуда серебряный свет...» (серебряный орнамент – идеограмма под горловиной). Продолжение *пцІэ зиІэ пшэпс пшэкІухъу* (разливаясь в сиянии священного ореола) выводится по аналогии с шейной цепочкой хищников из пиктограммы *пшэпс* (шейная цепочка/тесма), опоясывающей основание «шейки сосуда» – *кхъуэщыным и пцэ* (Х. З. Гяургиев, Х. Х. Сукунов. 1991), имитируя «ореол» сияющего Тха (нимб, венец, светлый ободок) – *пшэкІухъу* [13, с. 455]. Как отмечает А. С. Кук, «установлено, что изучение мифических образов уда и джынэ имеет существенное значение в изучении мифологии и нартского эпоса адыгов», из которых белые, добрые джинны позитивно настроены к людям [19, с. 171]. О джиннах Тха, а также Тха-птиц (божества птиц) упоминает и А. Т. Шортанов [12, с. 138]. Этот термин в схожих названиях распространен у абаз.: *джьы́н* (миф. дух), абх.: *аджныш*, карачаево-балк.: *жинле*, осет.: *зин*, дарг.: *жинд*, лак.: *джин*, лезг.: *жин* и др. В контексте с ним уместен Тха в важной функции раздавать души (*псэ*) и ведать ими [17, с. 173] – *Псэтхъэ* (Бог души), трансформированный из солнечного культа (по М. Е. Талпа. 1936). «У адыгов почти каждая стихия природы имела своего духа», – замечает Л. И. Лавров [20, с. 200]. В арх. (домусульманские) времена джиннам поклонялись как духу бога-покровителя. В свете оккультных представлений с этим понятием соотносится адыго-хуррито-шумер.: *аза/азу* – «жрец-прорицатель, целитель, лекарь, колдун и т.п.» (Вильгельм Гернот. 1997) и хатто-адыг.: *иду/уды/уд* – «волхв, заклинатель маг, колдун, ведьма» [18, с. 122].

На перманентность, цикличность и направленность кругового движения в замкнутой окружности как по орбите, так и вокруг своей оси, указывают стрелки этой пиктограммы, которая рассматривалась «колосковым штампом», «елочным» орнаментом, символом воды. По структуре она идентична изображениям рек (*псы*) на сосудах № 1, и вместе с тесьмой/цепочкой (*псы*) вокруг шеи хищников и с понятием «душа» (*псэ*) у них один корень – *пс*; в составе отдельных слов *псы/пс* означает «свет, сияние», например, *къепсын/къопс* (светиться, светить, излучать свет, обычно о солнце), *тыгъэпсы* (солнечный свет).

Очевидно, что здесь речь идет о бесконечном круговороте Вселенского Тха, что отражено в продолжении: *дуней хъуреягъу кыкІухъу* (ходящего/путешествующего (циркулирующего) вселенским круговоротом). «Доминанта замкнутого круга в адыгском орнаменте свидетельствует об определенном типе миропонимания. Адыги относятся к народам с циклическим мировосприятием, что отражено в многочисленных пословицах: «Дунейр шэрхъщи мэкІэрахъуэ» (Мир – колесо, и он вертится),...», – отмечает Л. А. Асланова [11, с. 40]. Множество золотых колец кургана (38 шт.) и кромлех могут символизировать различные аспекты космогонии. (*Къа*)*блэуэ* (горящим/светящимся) выводится омонимом (в дополнение) из едва уловимого силуэта «атакующей, жалящей, кусающей змеи» (*блэ уэ*), раскрытая пасть которой (рис. 7) приходится на лапы восседающей на хищнике птицы. (Все взятые в скобки префиксы (*къа*, *къы*) имеют примерно такое же значение, как приставка «рас» к слову «светает»). Наряду с Х. Х. Яхтаниговым Б. Х. Бгажноков полагает, что «за счет различных комбинаций солнечного диска и змей построено при ближайшем рассмотрении подавляющее большинство черкесских тамг» [3, с. 10]. В связи с этим не исключено, что понятие *блэуэ* (змеями) в этих знаках считается омонимом «светящее», соотносимым с индийским «kas – «сверкать, сиять» или kasih – «солнце, свет, сияние» и с этнонимом кас-

ка/кашка/каскайцы, связываемым с почитанием луны [3, с. 7]. Тогда «главный (базовый) фамильный знак (герб) черкесских князей» с «солнечным диском вверху и двумя змеями внизу», отображающий содержание «геральдических символов египетских и переднеазиатских царей» и божеств, можно толковать как «солнечное и лунное сияние», а с однокоренными *блэгъгъэ* (родство), *цлэблэ* (поколение) – «солнечно-лунного происхождения (родства)», какими они себя и считали [3, с. 10]. Изначально кобра на диадеме головного убора др.-египетских божеств и фараонов с названием «урей» могла символизировать свет и луч небесного светила в адыг. названии *блэуэ* (змеи; светящееся).



Рис. 7. Усматривается силуэт змеи с раскрытой пастью у лап птицы с большой округлой головой и клювом в форме полумесяца

Fig. 7. A silhouette of a snake with its mouth open at the paws of a bird with a large rounded head and a crescent-shaped beak is seen

С учетом того, что в подобных древних символах, где в крылья птицы вписан диск светила с парой лунных рожков и парой змей, имитирующих хвост или лапы (рис. 8), этноним *каш* с хатто-адыго-абхазских языков трактуется имплицитно как «сияющее солнечно-лунное орлиное родство», где хатт.: *ка* – «хищная птица» [18, с. 123] (возможно, воплощение солнечно-лунного тотемного начала), а формант *ш* – показатель родства [21, с. 17, 18].



Рис. 8. Египетское небесное, крылатое светило с парой змей и рогов

Fig. 8. Egyptian celestial, winged luminary with a pair of snakes and horns

По некоторым сведениям, в Древнем Египте глаза ястреба олицетворяли Луну и Солнце. Понятия *тыгъэ/дыгъэ* – «солнце» и *мазэ* – «луна, полумесяц» (абх.: *амза* [15, с. 716], абаз.: *амзы/амыз/мзы*; санскрит: *mās*) отражены в синтезированном образе довольно крупной и округлой головы птицы (рис. 7) с точкой в центре, имитирующей глаз/солнце, а огромный клюв в форме полумесяца – луну (подобно клюву ибиса у др.-егип. бога Тота). Продолжение *пцлэ зыхуацл пшэпс ханапаклэ* (в почтенном, разливающегося светом образе/иконе/лице) выводится ранее упомянутым способом. *Каш-хабадзасэ* (касско-хабадзасском) – вероятностная арх. форма этнонимов *каш/кас* и *абадзех*, выводятся повторными прочтениями. *Каш* – из *къашыргъэ* (ястреб/коршун – образ Тха-птиц; абх.: *а-къа* – «крупная порода ястребов» [18, с. 123], авар.: *хъарчигъа*); из конфигурации клюва, соотносимой с хатт. *Каšku*

(*Каику*) – «бог Луны» (абх.: *а-кашра* – «сильно греть, сверкать (о солнце)» [7, с. 78]); адyg. син. креста – *къащ*, вписанного в хвостовое оперенье (рис. 3, 7). Н. Я. Марр считал, что архетип *кас* присутствует в названии *Кабарда* (Н. Я. Марр. 1922); осетинское *кашкон/касдон* означает «кабардинец»; сванское *кашаг* – «черкес» и т.п. Арх. этноним *хабадзаса* выводится соединением хатто-адыго-абх. понятий: *ха* (голова), *ба* (массивная) и *дзасэ* – адыг. букв. «зуб-нож» (оскал показан только у второго хищника). Трактовка этого этнонима двоякая: а) «массивно-длинно-головые», где *ха* – «голова»; *ба* – «много, массивно», *дзаса* – «заостренная, вытянутая», словарное *ихъэдзасэ* – «длинноголовый, с остро-конечным черепом», *ихъаб* – «большеголовый», *хъэбэ/хаба* и хатт.: *ha-bu* – «голова». Такое толкование согласуется с результатами краниологических исследований черепов майкопской культуры по А. А. Казарницкому [22, с. 152.] и соотносится с самоназванием хронологически сопоставимых шумеров – «sag-gig-ga» (черноголовые). Впоследствии меото-аланы, видимо, следуя традициям и преданиям, искусственно придавали вытянутую форму черепам с детства; б) *хабадзаса* может означать и «головное, многочисленное кинжальное войско», где *ха* – «голова»; *ба* – «много, масса»; *дза* – «зуб», «войско»; *са* – «нож». На это указывают «сильная военизация и высокое насыщение захоронений предметами военно-охотничьего снаряжения» (С. Н. Кореневский. 2001), включая колюще-режущее оружие.

Подвески в форме коренного зуба – *ба дзэ* (массивный, большой зуб) и в виде стилизованного изображения мухи – *бадзэ* (рис. 9) или мошкары – *хъэдзэбадзэ* в своих названиях составляют основу арх. этнонима *хабадзаса*. При этом не исключено, что *бадзэ* могла

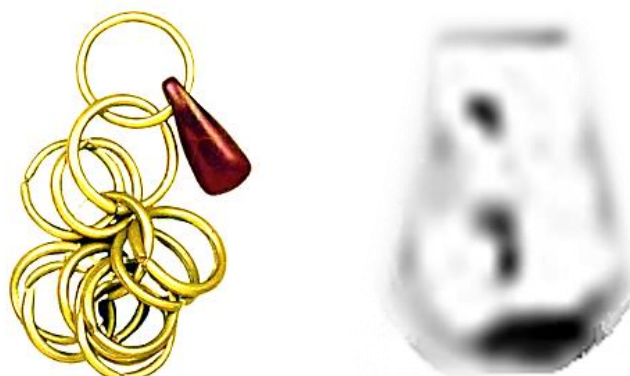


Рис. 9. Подвеска в виде стилизованного изображения мошкары или мухи на кольцах (слева) и подвеска в форме коренного зуба (справа). Майкопская культура (курган Ошад). Государственный Эрмитаж. Санкт-Петербург

Fig. 9. A pendant in the form of a stylized image of a midge or fly on rings (on the left) a pendant (on the right) in the shape of a molar. The Maikop culture (kurgan Oshad). The State Hermitage Museum. Saint-Petersburg

иметь арх. форму *хабадзэ*, где приставка *ха* (*хъэ*) выступает в роли артикля подобно букве *а* в абх. лексике. В адыг. словарях самый внушительный список составляют слова с префиксом *ха* (*хъэ*). На «логичную» связь майкопской культуры с «предками хаттов и касков-абешла» или адыго-абхазов указывает Л. С. Клейн (2007). Сочетание *лъэпкъ лъэпкъ* (самым дорогим в народе) выводится ранее упомянутым способом. В сочетании *бзэ псалъаж жаакIэ* (старинным в языке говоримым/употребляемым словом), *бзэ* (язык) выводится омонимом из созвучного названия «птица» – *бзу/бзыу*, которая сидит на спине второго хищника; *псалъэж* (старинное/древнее слово) выводится ранее упомянутым способом, а *жаакIэ* (говоримым) образуется звуковым повтором (дублированием) формантов *ж* и *а* от *ажа* (козел) с присоединением *кIэ* – «хвост» (хищника), озвучивающего

суффикс – показатель твор. падежа. Краткая альтернатива – *псалъэжкIэ* (старинным словом). *Тха* (бог) – название ключевой пиктограммы в начале надписи и уместное в конце.

Семантика и орфография этого сложного предложения не нарушаются при перестановках, если начальную пиктограмму считывать как *дыгъэ-мазэ* (солнечно-лунное) вместо *Тха* (Бог), а сидящую на спине птицу как *Тха* (Бог) вместо *дыгъэ-мазэ* (солнечно-лунное), аналогично и в первой версии (стр. 185).

Исключив все дополнения с пояснениями и оговорками сложного текста, лаконичный вариант в однозначных прочтениях пиктограмм и их фрагментов звучит так: *Тхаба лъапIащэ пшэпс цIу тхыпхэуэ, къыгъажэ дыгъэ-мазэ пшэпсу лъапIащэ псалъэж – Тха*. Перевод (в порядке адыг. слов): «Тха могучего, священного, разливающегося в свете блестящего узора/знака, отчеканено в солнечно-лунном разливающемся сиянии самое дорогое старинное слово – Тха».

Вариативные прочтения с разносторонними подходами и аргументацией подводят к одному семантическому ядру и языковой принадлежности надписи. Они реализуются благодаря профессиональным навыкам древних мастеров, сумевших отразить уникальные возможности языка в специфике пиктограмм. На лексическом, грамматическом и синтаксическом уровнях нарративы сосудов аутентично отражают адыгскую речь, которая встроена в пиктографические образы и беспрепятственно выводится из них. В частности, по общему правилу формируются хатто-адыгские падежи, а также форма прошедшего времени в текстах сосуда № 1 идентичная в кабардино-черкесском диалекте [23, с. 111].

Всю надпись можно представить одним цельным словом в виде цепочки, звенья (слова) которой перемещаются вокруг оси сосуда, в одном направлении с образами животных, птиц и стрелками венца, опоясывающего основание горловины, где слово Тха приходится на начало и на конец повествования.

Богу Тха посвящен и древнеадыгский ритуальный парный танец «удж» с обрядами репродуктивного характера, когда мужчины и женщины скрещивают руки или сплетают пальцы, передвигаясь по кругу. В обрядах, молениях и торжественных мероприятиях – *ТхалъэIу* – почитался важный атрибут традиционной религии адыгов – Т-образный крест, освещавший место религиозного культа бога Тха [2, с. 235], а также другие «джоры» (кресты), в т.ч. «шапсугский» с двумя развилками (З. Ж. Кудиева. 2008, Е. Б. Бесолова. 2023). Эти реалии перекликаются с традициями паломничества храмового комплекса Гёбекли-Тепе X–VIII тыс. до н.э., где Тха воплощают две Т-образные колонны в центре округлых святилищ [24, с. 53–64, 280–284]. Они, как считает М. И. Зильберман (2017, 2018), символизируют паритет между ипостасями единого бога, единство женского и мужского начала, «мать-отец» (один из концептов креста), включая эмблемы священного брака с элементами репродуктивного (фаллического) начала и плодovitости, а «движение» других колонн вокруг них, запечатленное в камне, – «ритуальный круговой танец» с вознесением моления к богу. По мнению ученого, теоним Тха в прошлом упоминался и в нахской мифологии.

В свете изложенного следует отметить, что прямой, диагональный и Т-образный кресты, которые были закреплены в протосинайском (консонантном), библском (слоговом), в др.-греческом (алфавитном) письменностях, в названиях *Ta*, *Ty*, *Tau*, *Txeta*, этимологически восходят к хатто-адыг. религиозным знакам, в т.ч. и к Т-образному символу в названии *Тхъэтиц/Тапиш*. Примечательно, что два графических отрезка (составляющие крестов) выражаются адыг. словами: *mIэy/mIo* (*tau/to*) – «дважды, два раза», *mIyauцIэ* (*tuаша*) – «двойной» и т.п. [24, с. 55–68, 281]. В свою очередь известно, что из словесно-слоговых систем выделились алфавитные буквы. Так, если в арх. символике знаки **Т** и **Х** порознь означали теоним *Тха*, то уже как буквы **Т** и **Ха** – слитно. «А» сегодня – первая буква алфа-

вита и была уже священной в др.-семитском названии «Алеф» (бык). Однако в более раннюю эпоху приоритетными символами были кресты в вариантах, глифах. Они обозначали главное сакральное слово – «Тха/Та» и одновременно первые знаки доисторических письмен, обусловив появление линейного письма, основанного на элементарном отрезке, и породив в огромном количестве и разнообразии родовые тамги (адыг.: *тамыгъэ/дамыгъэ*) [24, с. 49–52].

Храм Тхаба-Ерды (Ингушетия), датируемый VIII–IX вв. н.э. (рис. 10) и связываемый с христианством, возведен на руинах более древнего религиозного сооружения со множеством петроглифов в виде солнечно-лунной символики разнообразных крестов, в т.ч. репродуктивного (фаллического) содержания.



Рис. 10. Слева внутри храма Тхаба-Ерды (Ингушетия) постамент в виде полумесяца, на котором лежит каменный крест. Справа оконные проемы с разветвленным оформлением колонны; сбоку на камне вырезан Тау-символ

Fig. 10. On the left, inside the temple of Thaba-Yerdy (Ingushetia), there is a crescent-shaped pedestal on which lies a stone cross. On the right are window openings with a branched column design; The Tau symbol is carved on the side of the stone

Таким образом, ключевая пиктограмма в нижней части сосуда символизирует бога Тха сферическим сегментом шарообразной Вселенной, из центра которой крестом расходятся лучи и световые волны. Очевидно, что по степени и интенсивности освещения, как источник тепла, благодатности и плодотворности на первом плане центральным объектом поклонения из всех светил выступало солнце, что предположило концепцию и этап солнцепоклонничества. Идея солнцепоклонничества возобладала в силу доминирования солнца, затмив, поглотив и вобрав в себя культы других небесных светил, включая луну. Эти реалии находят отражение и в экспозиции предметов кургана Ошад, где со значительным перевесом преобладают золотые штампованные фигурки львов (68 шт.) над серебряными фигурками быков (19 шт.); при этом в мифологии Древнего мира и адыгов золотой цвет соотносится с солнцем, а серебряный – с луной. Верхнюю же часть сосуда опоясывает пиктограмма, отражающая динамику бесконечно циклического движения всемогущего, си-

яющего ореолом Тха – источника света и бытия как в основании, так и на вершине, как в малом, так и в великом. В представлениях адыгов «Тха вездесущ», он «везде и во всем», он «не имеет ни начала, ни конца», он «начало всех начал» – подчеркивает А.Т. Шортанов [12, с. 21]. Вне сомнения, круг с крестом в ряде артефактов меотской и кобано-колхидской культур традиционно символизировал бога Тха.

Наряду с фамилиями и именами на «хат» самый внушительный список составляют адыг. антропонимы на «Тха»: *Тхагъэлыдж*, *Тхабысым*, *Тхагъэпсэу/Тхагъэпсо*, *Тхагъэн*, *Тхагъу*, *Тхагъуиш*, *Тхадж*, *Тхазэл*, *Тхазэпл*, *Тхаицъыф*, *Тхайишгау*, *Тхакъуахъуэ*, *Тхаклумаиц*, *Тхаклумэжъ*, *Тхагъэпс*, *Тхагупс*, *Тхазэ-кълужъ*, *Тхазэплъыж*, *Тхазыфэшлы*, *Тхаркьо*, *Тхаигъуэт*, *Тхалыиш* и многие др. В большом разнообразии и адыго-абх. фамилии на *Каиш/Кас*, *Аб/Абаз/Ба*.

Глоттохронологическими сопоставлениями в данной дешифровке выявлены хатто-адыго-абхазские слова, восходящие по меньшей мере к IV–II тыс. до н.э., в значительном числе аналогичные в хаттском (в т.ч. установленные билингвами А.П. Тихоновой) и других языках древности: *Тха/Та* (бог), *цха/ха/ хъа/ах* (голова, глава, божество), *хаба/ha-bi* (голова), *на/на* (глаз), *на/ре* (нос), *напа/пара* (лицо, фасад), *мазэ/амза/мзы/тāс* (луна, полумесяц), *нэху/нэфы* (свет), *ажэ* (козел), *бэ(ба)/ба* (обильно, много, масса и т.п.), *псалъ/псалъэ* (слово, речь), *бзу/бзы/зу* (птица), *тет/tet* (стоять на чем-л.), *Каšķи* (*Каику*) – «бог луны», *ка/а-къа* – «хищная птица»/«крупная порода ястребов», *а-кашра* (сильно греть, сверкать), адыго-шум. *нур/ниги* – «свет» и др. Многие слова и их составные элементы идентичны в обоих сосудах и выводятся одинаковыми способами, что является одним из критериев их достоверности и авторства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С точки зрения современного литературоведения и языкознания надписи предстают полноценными текстами и поддаются рифмовке в традициях адыгского поэтико-фольклорного жанра (Л. Б. Хавжокова. 2023). Очевидно, хатто-адыгский язык был достаточно развитым и распространенным в Древнем мире. Примечательно, что и множество клинописных текстов ближневосточных цивилизаций III–I тыс. до н.э. дешифровано с адыгского языка Т. М. Шомаховой и Х. М. Пхитиковым (Хатты в древних языках и культурах. 2015). Согласно современным научным данным, на индоевропейские, семитские, тюркские и др. этносы и их лексику оказал влияние хатто-хурритский (протокавказский) лингвистический, антропологический и палеогенетический субстрат.

По всей видимости, главное, сакральное слово, которое произнес древний предок, когда едва выделился из дикой, агрессивной природы и возвысился над миром фауны и флоры, как человек разумный, мыслящее создание с первыми задатками духовно-философских воззрений первобытного религиозного сознания, это было – *Тха/Та* [24, с. 60, 61]. Предковая цивилизация предопределила символику (крест, полумесяц и др.), основные сакральные архетипические концепты и воззрения в священных писаниях, культовых действиях и обрядах, в сознании глобальной религиозной мысли и морали различных конфессий последующих эпох. Примечательно, что и книга Священного Писания, сборник молитв в названии *Псалтырь* (адаптированного в греч. языке) переводится с адыг. языка букв.: «речь, слово, душу дающий, содержащий», где *пса* – «душа», *псалъ* – «слово, речь», *тыр* – «дающий», *итыр* – «содержащий». В истории человечества, в его поступательном развитии культ Тха сыграл поистине созидательную и консолидирующую роль на огромных просторах Ойкумены. В этом аспекте представляется, что уже в глубокой древности спонтанно складывались предпосылки и перспектива «устойчивого развития» глобальных интеграционных процессов грядущего мироустройства (П. М. Иванов. 2024). В наши дни, с высот научных знаний, адыги – носители того же языка древних культов и догм –

расценивают уже как стихийные явления природы все то, что в анимистических представлениях и в архаичной теологии их предков во главе с верховным божеством Тха считалось одухотворенным. Однако и сегодня они в честь Тха и от его имени продолжают совершать ритуалы, обряды и празднества с молениями и прошениями – *Тхьэлъэлу/Тхьатлеу* и воздают гимном *хьохъу* (хох) благопожелания, здравицы и тосты с обращением к богу Тха.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В двух серебряных сосудах кургана Ошад выстраивается не простая череда и набор рисунков, а основанное на пиктографии, глубоко осмысленное и продуманное, в соответствующей технике исполнения, письмо. Об этом свидетельствует и отсутствие образа собаки – древнейшего и неизменного спутника человечества; он был не востребова и не уместен в освещении святыни из-за двойственного отношения издревле к самому этому понятию, альтернативу которому составили крупные птицы и хищники, считавшиеся священными. Хотя собака имела культовое значение, Л. И. Лавров не допускает, что она у адыгов была «своего рода тотемом» [20, с. 205]. Кроме того, повторение в одной веренице одних и тех же видов хищников и травоядных, особенности их взаиморасположения, передача образов нетривиальными конфигурациями, демонстрация приподнятой у всех животных только правой ноги и т.п. в корне развеивают представления о том, что это рядовая ландшафтная композиция или пейзаж.

2. В эпоху, которую традиционно (условно) принято называть солнцепоклонничеством, в мифологических воззрениях древних переплетаются солярно-лунные мотивы: солнце и луна почитались, как световая составляющая Бога. (Для сравнения: понятие «мореходство» подразумевает не только плавание по морям, но и по океанам). Значительно более древние петроглифы Т-образных колонн Гёбекли-Тепе изображают парные объекты, в т.ч. солнце и луну (рис. 5), отражающие представления о дуальной природе бытия, мира [24, с. 332].

3. Надпись сосуда № 2 переводится с адыгского языка. Она всецело посвящена феномену бога Тха солнечного/солнечно-лунного сияния. В религиозном контексте мифологии адыгов, со слов А. Т. Шортанова, «солнце, луна и небо – творение Тха, но и сами они выступают божествами...» [12, с. 25].

4. Современная нумерация сосудов условна. В приоритете у древних мог быть сосуд № 2, где в рамках одного предложения с особым пиететом освещается сакральный образ Тха, будучи одновременно наглядным образцом, проясняющим и предписывающим способы, облегчающие считывание сообщений, заложенных авторами в более сложных полисемантических текстах сосуда № 1.

5. Письмо обоих сосудов не принадлежит к какой-то определенной из известных систем; оно носит синкретический, нерасчлененный характер завершающей стадии рисуночного письма, предвзя в зачаточном состоянии логосиллабическое, идеографическое и алфавитное письмо.

В тематическом аспекте результаты исследования надписей сосудов реминисцентно перекликаются с положениями и выводами ряда социальных и гуманитарных научных дисциплин, а также с мифологией и фольклором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пиотровский Ю. Ю.* Заметки о сосудах с изображениями из Майкопского кургана (Ошад) // Памятники древнего и средневекового искусства. Сб. статей в память проф. В. И. Равдоникаса. Проблемы археологии. 1994. Вып. 3. СПб: СПбГУ. С. 85–92.

2. *Вороков А. К.* К интерпретации надписей сосуда № 1 из кургана Ошад майкопской культуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 230–250. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-230-250
3. *Бгажноков Б. Х.* Самоидентификация черкесских князей и их место в системе геральдических символов Евразии // Вестник КБИГИ. 2019. № 2(41). С. 7–12. DOI: 10.31007/2306-5826-2019-2-41-7-12
4. *Шазо А. М.* Глава нарттов Орзмэдж и бог Древнего Египта Осирис как корреляты // Вестник АГУ. Серия 1: регионоведение: философия, история, социология, юриспруденция, политология, культурология. 2022. Вып. 2(299). С. 88–100. DOI: 10.53598/2410-3691-2022-2-299-88-100
5. *Сивер А. В.* Вопросы раннего этногенеза адыгов // Теория и практика общественного развития. 2014. № 16. С. 246–250. EDN: SYZJCV
6. *Лавров Л. И.* О происхождении народов Северо-Западного Кавказа // Сборник статей по истории Кабарды. Нальчик: Кабполиграфиздат, 1954. Вып. III. С. 193–207.
7. *Тихонова А. П.* Теонимия хаттского языка: сравнительно-исторический и типологический аспекты // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 2: филология и искусствоведение. 2014. Вып. 4(149). С. 74–79. EDN: TNJKWV
8. *Марр Н. Я.* О языке и истории абхазов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 439 с.
9. *Турчанинов Г. Ф.* Открытие и дешифровка древнейшей письменности Кавказа. М., 1999. 263 с.
10. *Истрин В. А.* Развитие письма. М.: Издательство Академии наук, СССР, 1961. 395 с.
11. *Асланова Л. А.* Истоки культовой символики в традиционном орнаментальном искусстве адыгов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. 2009. № 3. С. 38–42. EDN: KVXQVX
12. *Шортанов А. Т.* Адыгская мифология. Нальчик: Эльбрус. 1982. 194 с.
13. Большой русско-кабардино-черкесский словарь. Сост.: Б. Ч. Бижоев, Х. Ч. Желетежев, Д. М. Кумыкова, Х. Т. Тимижев. Нальчик: Фрегат, 2021. 792 с.
14. *Шаов Ж. А., Меретуков К. Х., Водождоков Х. Д. и др.* Адыгейско-русский словарь. Адыгейск; Майкоп, 1975. 440 с.
15. *Касландзи В. А., Джонуа Б. Г.* Памяти славного сына Кабарды и верного друга Апсны Султана Сосналиева посвящаем. Русско-абхазский словарь. В трех томах. Том первый. А–М /Сухум: Дом печати, 2016. 800 с.
16. *БиццIo Б. Ч.* Адыгэбзэм и псалъэгъэнахуэ. Налшык: Эльбрус, 2015. 376 с.
17. *Чамокова С. Т.* Трансформация религиозных взглядов адыгов на примере основных адыгских космогонических божеств // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2015. Вып. 3. С. 48–53. EDN: VAUJOZ
18. *Тихонова А. П.* Хаттско-абхазо-адыгские лексические параллели: история и современность // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 2: филология и искусствоведение. 2017. Вып. 2(197). С. 119–125. EDN: ZEVMST
19. *Куёк А. С.* Мифические образы уда и джынэ в адыгском нартском эпосе // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 2: филология и искусствоведение. 2015. Вып. 2(153). С. 171–176. EDN: UDULJL
20. *Лавров Л. И.* Доисламские верования адыгейцев и кабардинцев: монография. 1959. С. 193–236.
21. *Бгажноков Б. Х.* Кассито-хатто-каскайские историко-культурные и лексические параллели // Вестник КБИГИ. 2019. № 3(42). С. 15–22. DOI: 10.31007/2306-5826-2019-3-42-15-22
22. *Казарницкий А. А.* Краниология населения майкопской культуры: «новые» старые материалы // Археология, этнография и антропология Евразии. 2010. № 1(41). С. 148–155. EDN: LBDKIB

23. Тихонова А. П. Времена и наклонения в хаттском и абхазо-адыгских языках // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 2: Филология и искусствоведение. 2017. Выпуск 1(192). С. 108–114. EDN: YPCHSJ
24. Вороков А. К. Феномен Тха. Нальчик: Принт-Центр, 2020. 388 с.

REFERENCES

1. Piotrovsky Yu.Yu. Notes on vessels with images from Maikops kurgan (Osh). *Monuments of ancient and medieval art. Collection of articles in memory of Prof. V.I. Ravdonikas. Problems of Archeology*. St. Petersburg: St. Petersburg State University. 1994. Vol. 3. Pp. 85–92. (In Russian)
2. Vorokov A.K. On the interpretation of inscriptions of vessel No. 1 from the Oshad mound of the Maikop culture. *News of the Kabardino-Balkaria Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 230–250. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-230-250. (In Russian)
3. Bgazhnokov B.Kh. Self-identification of Circassian princes and their place in the system of heraldic symbols of Eurasia. *Bulletin of KBIGI*. 2019. No. 2(41). Pp. 7–12. DOI: 10.31007/2306-5826-2019-2-41-7-12. (In Russian)
4. Shazo A.M. The head of the narts Orzamedj and the god of Ancient Egypt Osiris as correlates. *Bulletin of the Adyghe State University. Series: Regional Studies: Philosophy, History, Sociology, Jurisprudence, Political Science, Culturology*. 2022. No. 2(299). Pp. 88–100. DOI: 10.53598/2410-3691-2022-2-299-88-100. (In Russian)
5. Siver A.V. Issues of early ethnogenesis of the Adygs. Theory and practice of social development. Krasnodar. 2014. No. 16. Pp. 246–250. EDN: SYZJCV. (In Russian)
6. Lavrov L.I. On the origin of the peoples of the North-Western Caucasus. *Collection of articles on the history of Kabarda*. Nalchik: Kabpoligrafizdat, 1954. No. III. Pp. 193–207. (In Russian)
7. Tikhonova A.P. The Theonymy of the Khatt language: comparative historical and typological aspects. *Bulletin of Adyghe State University, Ser.: "Philology and Art Criticisms"*. 2014. No. 4(149). 2014. Pp. 74–79. EDN: TNJKWV. (In Russian)
8. Marr N.Ya. On the language and history of the Abkhazians. Moscow; Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1938. 439 p.
9. Turchaninov G.F. Discovery and deciphering of the most ancient writing of the Caucasus. Moscow, 1999. 263 p. (In Russian)
10. Istrin V.A. Development of writing. Moscow: Academy Publishing House Sciences, USSR, 1961. 395 p. (In Russian)
11. Aslanova L.A. The origins of cult symbolism in the traditional ornamental art of the Adygs. *Bulletin of Higher Education Institutes. Northern-Caucasus Region. Social Sciences*. 2009. No. 3. Pp. 38–42. EDN: K VXQVX. (In Russian)
12. Shortanov A.T. Adyghe mythology. Nalchik: Elbrus, 1982. 194 p. (In Russian)
13. The Great Russian-Kabardino-Circassian Dictionary. Comp.: B.Ch. Bizhiov, H.Ch. Zheletezhev, D.M. Kumykova, H.T. Timizhev. Nalchik: Frigate, 2021. 792 p. (In Russian, Kabard., Circassian)
14. Shaov Zh.A., Meretukov K.Kh., Vodozhokov Kh.D., Tharkakho Yu.A. et al. The Adyghe-Russian dictionary. Adygheisk Research Institute. Maikop. 1975. 440 p. (In Russian, Adyg.)
15. Kaslandzi V.A., Jonua B.G. We dedicate Sultan Sosnaliev to the memory of the glorious son of Kabarda and a faithful friend of Apsna. Russian-Abkhazdictionary. In 3 volumes. Vol. 1. A–M /Sukhum: House of Printing, 2016. 800 p. (In Russian, Abkhaz.)
16. Bischio B.C. Adygebzem and psalegenahue. Nalshyk: Elbrus, 2015. 376 p. (Kabard.)

17. Chamokova S.T. Transformation of the religious views of the Adygs on the example of the main Adyghe cosmogonic deities. *Bulletin of the Maikop State Technological University*. 2015. No. 3. Pp. 48–53. EDN: VAUJOZ. (In Russian)
18. Tikhonova A.P. Khatt-Abkhaz-Adyghe lexical parallels: history and modernity. *Bulletin of Adyghe State University, Ser.: "Philology and Art Criticisms"*. 2017. No. 2(197). Pp. 119–125. EDN: ZEVMST. (In Russian)
19. Kuek A.S. Mythical images of uda and djyne in the Adyghe Nart epic. *Bulletin of Adyghe State University, Ser.: "Philology and Art Criticisms"*. 2015. No. 2(153). Pp. 171–176. EDN: UDULJL. (In Russian)
20. Lavrov L.I. Pre-Islamic beliefs of the Adyghe and Kabardians: monograph. 1959. Pp. 193–236. (In Russian)
21. Bgazhnokov B.Kh. Cassette-khato-kaskey historical, cultural and lexical parallels. *Bulletin of KBIGI*. 2019. No. 3(42). Pp. 15–22. DOI: 10.31007/2306-5826-2019-3-42-15-22. (In Russian)
22. Kazarnitsky A.A. Craniology of the population of the Maikop culture: "New" old materials. *Arkheologiya, Etnografiya i Antropologiya Evrazii*. 2010. No. 1(41). Pp. 148–155. EDN: LBDKIB. (In Russian)
23. Tikhonova A.P. Tenses and moods in the Khatt and Abkhaz-Adyghe languages. *Bulletin of the Adygeya State University. Series 2: Philology and Art Criticism*. 2017. No. 1(192). Pp. 108–114. EDN: YPCHCJ. (In Russian)
24. Vorokov A.K. The phenomenon of Tha. Nalchik: Print Center, 2020. 388 p. (In Russian)

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed with no external funding.

Информация об авторе

Вороков Анзор Кушумзукович, мл. науч. сотр. лаборатории «Цифровая палеография» научно-инновационного центра «Естественно-научные методы в археологии, антропологии и археографии», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

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

legatto777@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-9087-5665>, SPIN-код: 5021-3219

Information about the author

Anzor K. Vorokov, Junior Researcher of the laboratory "Digital paleography" of the scientific and innovative center "Natural scientific methods in archeology, anthropology and archeography" of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

legatto777@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-9087-5665>, SPIN-code: 5021-3219

Валерию Васильевичу Кузьминову – 75 лет



В июне 2025 г. Валерий Васильевич Кузьминов, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории низкофоновых исследований филиала Баксанская нейтринная обсерватория Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований (ИЯИ) Российской академии наук отмечает свой 75-летний юбилей.

Трудовой стаж – 52 года. С 1973 по 1977 г. работал инженером, а затем до 1980 г. – старшим инженером Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ АН СССР. В 1980–1982 гг. был младшим научным сотрудником БНО. С 1982 по 1986 г. заведовал Группой пропорциональных счетчиков Баксанской нейтринной обсерватории. В 1986–1999 гг. являлся старшим научным сотрудником. До 2008 г. исполнял обязанности заведующего, а в 2016–2020 гг. был

заведующим Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. В настоящее время является главным научным сотрудником лаборатории низкофоновых исследований Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН.

Валерий Васильевич Кузьминов родился 12 июня 1950 года в г. Ставрополе. В 1967 году окончил среднюю школу № 2 в г. Пятигорске и поступил на физико-механический факультет ордена Ленина Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина. В 1973 году окончил институт, получив квалификацию «инженер-физик» по специальности «физика дозиметрии и защиты», и начал работать в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. Область научных интересов – исследование редких процессов в низкофоновых условиях (малые активности, двойной бета-распад, двойной К-захват, поиск WIMP, сцинтилляционные детекторы, ионизационные камеры, пропорциональные счетчики).

В 1985 году В. В. Кузьминов защитил кандидатскую диссертацию «Содержание космогенного изотопа K⁻⁸¹ в атмосфере и интенсивность космических лучей в прошлом», в 2010 г. – докторскую диссертацию «Исследование редких реакций и распадов низкофоновыми газовыми детекторами в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН». При его непосредственном участии разработана и реализована методика измерения содержания радона в воздухе с помощью воздушных ионных ионизационных камер, отличающаяся наилучшей в мире чувствительностью по сравнению с другими методами.

Валерий Васильевич имеет более 230 публикаций, из них 145 в научных рецензируемых журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus или Ядре РИНЦ. Неоднократно занимал призовые места в конкурсах научных работ ИЯИ РАН. В течение всего периода пребывания в обсерватории активно участвовал в общественной работе. Являлся председателем Ученого совета обсерватории и членом Ученого совета ИЯИ РАН. Неоднократно награждался институтскими грамотами и премиями. Награжден Грамотой совета профсоюза работников РАН и президиума РАН в честь 275-летия РАН, Грамотой КБР в честь 20-летия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, в 2017 году получил Благодарность Правительства КБР.

Уважаемый Валерий Васильевич! Коллектив КБНЦ РАН от всей души поздравляет Вас с 75-летним юбилеем! Желаем крепкого здоровья, кавказского долголетия, счастья и благополучия, дальнейших творческих успехов на благо российской науки!

Александр Николаевичу Сёмину – 70 лет



Александр Николаевич Сёмин родился 12.06.1955 г. в с. Ушаково (Сасовский р-н Рязанской обл.). Окончил Свердловский сельскохозяйственный институт (1978), Российский государственный аграрный заочный университет (2004). Доктор экономических наук (1994, тема диссертации: «Развитие форм хозяйствования в условиях многообразия видов собственности»), профессор (1996).

А. Н. Сёмин – российский ученый в области экономики и организации сельскохозяйственного производства, член-корр. РАСХН (15.02.2007), член-корр. РАН (27.06.2014, Отделение сельскохозяйственных наук; экономика и управление сельским хозяйством), академик РАН (28.10.2016, Отделение сельскохозяйственных наук; экономика и управление сельским хозяйством).

Александр Николаевич работал в Свердловском областном объединении по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства, пройдя путь от старшего инженера, начальника отдела новой техники и научно-технической информации до начальника управления восстановления изношенных деталей (1978–1985). Заведующий отделом производственно-массовой работы и заработной платы, заместитель председателя по защите экономических прав и законных интересов трудящихся Свердловского областного комитета профсоюза работников АПК (1985–1995). Доцент (с 1992 г.), профессор (с 1995 г.) Уральского государственного экономического университета. Ректор Уральской государственной сельскохозяйственной академии (1995–2010), зав. кафедрой менеджмента и маркетинга (1995–2012). Директор института менеджмента и экономической безопасности Российского государственного профессионально-педагогического университета (2012–2013). Директор института мировой экономики Уральского государственного горного университета (2013–2019). С 2020 г. – главный научный сотрудник Института экономики УрО РАН, зав. кафедрой стратегического и производственного менеджмента Уральского государственного горного университета.

Основные работы А. Н. Сёмина выполнены в области методологии, методики и практики региональной аграрной экономики и разработки региональной агропродовольственной политики. Он один из первых в стране разработал научные основы адаптации сельхозтоваропроизводителей к рыночным условиям хозяйствования, а также концепцию формирования высокоэффективного организационно-экономического механизма АПК, адекватного новой парадигме развития экономики государства. Научные изыскания ученого преимущественно относятся к экономике аграрного рынка, исследованию воспроизводственных процессов, формированию эффективных организационно-экономических механизмов, государственному регулированию и государственной поддержке сельскохозяйственных товаропроизводителей. Он выявил многовариантность и многокомпонентность экономических механизмов АПК, основы формирования и взаимодействия его элементов и компонентов. Разработал концептуальные модели многоблочных полиэлементных эко-

номических механизмов хозяйствования на основе применения методов оценки эффективности функционирования организационно-экономического механизма – как на уровне субъекта Федерации, так и в конкретной сельхозорганизации. Александр Николаевич разработал основы типологии существующего многообразия теоретических и практических концепций для агропромышленного комплекса. Участвовал в разработке: Концепции совершенствования системы государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей; Концепции формирования экономического механизма обновления технической базы сельского хозяйства; Концепции модернизации системы непрерывного сельскохозяйственного образования и кадрового обеспечения агропромышленного производства; Концепции продовольственного обеспечения индустриально развитой территории и других. Разработал и организовал реализацию долгосрочных целевых программ: «Упаковочный комплекс Урала», «Развитие свиноводства в АПК Среднего Урала», «Развитие птицеводства Свердловской области», «Кадровое обеспечение АПК», «Уральская деревня» и др. (утверждены постановлениями Правительства Свердловской области и коллегией Минсельхозпрода Свердловской области).

А. Н. Сёмин разработал методики, модели, научно обоснованные концепции и научно-практические рекомендации: «Методика оценки эффективности экономического механизма хозяйствования», «Методика стратегического планирования и оценки экономической эффективности сельскохозяйственного производства в условиях формирующейся системы агромаркетинга», «Методические рекомендации по моделированию крестьянских (фермерских) хозяйств», «Методика оценки финансового состояния и финансового оздоровления предприятий АПК в условиях осуществления реструктуризации просроченной задолженности», «Развитие интеграционных процессов в АПК и методические подходы финансового оздоровления сельскохозяйственных предприятий», «Методика оценки экономической эффективности способов приобретения сельскохозяйственной техники и оборудования». Является соавтором разработанной совместно с учеными УралНИИСХОЗа РАСХН «Среднеуральской системы ведения сельского хозяйства». Научный руководитель группы разработчиков концепции и программы «Уральская деревня», впоследствии одобренной Президентом РФ, а также закона «О государственной поддержке юридических и физических лиц, осуществляющих производство сельскохозяйственной продукции и (или) закупку сельскохозяйственной продукции и пищевых местных ресурсов в Свердловской области». При разработке концепции продовольственной безопасности индустриально-развитой территории и ряда региональных законопроектов («О государственном регулировании сельскохозяйственного производства», «О лизинге», «О социальном развитии села») А. Н. Сёминым были определены методологические основы формирования продовольственных ресурсов, решения социальных проблем, совершенствования межрегиональных связей.

Он один из организаторов первого на Урале межвузовского НИИ «Уралпромсертификат», объединившего ученых Уральского государственного экономического университета и Уральской государственной сельскохозяйственной академии. В 2010 г. при участии Уральского государственного аграрного университета на базе Уральского государственного экономического университета организовал Институт экономической и продовольственной безопасности в составе шести секторов и стал его руководителем. Является инициатором, разработчиком и создателем на Среднем Урале учебно-научно-производственных комплексов (г. Артемовский, г. Екатеринбург), научно-образовательных центров, агротехнопарков: «Алюм-Агро», «Уральский фермер», «Южноуральский».

А. Н. Сёмин – автор более 800 научных работ, в том числе: 127 монографий (из них 32 написаны индивидуально), 41 научно-практической, научно-методической рекомендации, 11 теоретических и практических концепций, 32 учебных и учебно-методических пособий,

11 учебников. Он обладатель более 40 патентов на изобретения и полезные модели. Главный редактор журнала «Агропродовольственная политика России». Член редколлегии журналов: «Теория и практика мировой науки», «Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий», «Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера», «Известия высших учебных заведений. Горный журнал», «Садоводство России».

Александр Николаевич Сёмин – председатель, зам. председателя диссертационного совета (Д 220.067.01) по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальности 08.00.05 – экономика и управление народным хозяйством (маркетинг; экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами – АПК и сельское хозяйство) (с 2001 г.), создатель научной школы, им подготовлено 74 кандидата и 19 докторов экономических наук.

Вице-президент Уральского отделения Вольного экономического общества России. Почетный член ВОИР. Член объединенного Ученого совета по сельскохозяйственным наукам при Президиуме УрО РАН. Член Экологического совета при главе Екатеринбурга. Член ученого совета Института экономики УрО РАН. Эксперт РАН.

Он заслуженный деятель науки РФ (2010), заслуженный экономист РФ (2001), почетный работник науки и техники РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный член Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов.

А. Н. Сёмин является лауреатом национальной премии им. П. А. Столыпина (2010), премии им. И. И. Ползунова. Награжден золотой медалью им. А. В. Чаянова, медалями Н. И. Вавилова, Петра I, М. А. Шолохова, ВДНХ и ВВЦ, зарубежными наградами Великобритании, Вьетнама, ЕС. Удостоен почетных грамот Министерства сельского хозяйства РФ, Председателя Правительства Свердловской области, Минсельхозпрода Свердловской области.

Уважаемый Александр Николаевич! Коллектив КБНЦ РАН от всей души поздравляет Вас с 70-летним юбилеем! Желаем крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов на благо российской науки!

Анатолию Фоадовичу Шевхужеву – 70 лет



Анатолий Фоадович Шевхужев, доктор с.-х. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, академик РАЕН.

Родился 25.05.1955 г. в а. Баралки Адыге-Хабльского района Карачаево-Черкесской Республики. В 1972 году окончил Эрсаконскую среднюю школу. С 1972 по 1973 год работал скотником в колхозе имени Кирова Адыге-Хабльского района Карачаево-Черкесской республики. С 1973 по 1975 год служил в рядах СА.

В 1975 году поступил, а в 1981 году окончил с отличием Ставропольский сельскохозяйственный институт по специальности «зоотехния».

После окончания вуза А. Ф. Шевхужев был направлен на работу в мясосовхоз «Новопавловский» Кировского района Ставропольского края, где работал старшим, а затем главным зоотехником до 1983 года.

С 1983 по 1986 год Анатолий Фоадович обучался в очной аспирантуре Всесоюзного научно-исследовательского института животноводства (ВИЖ) по специальности «частная зоотехния; технология производства продуктов животноводства» и в апреле 1987 года защитил кандидатскую диссертацию «Мясная продуктивность молодняка черно-пестрой породы при разной интенсивности выращивания и откорма».

После окончания аспирантуры А. Ф. Шевхужев был направлен в Ставропольский сельскохозяйственный институт, где проработал преподавателем, ассистентом, старшим преподавателем, доцентом кафедры крупного животноводства до 1993 года.

С 1993 по 1996 год обучался в очной докторантуре Всесоюзного научно-исследовательского института животноводства по специальности «частная зоотехния; технология производства продуктов животноводства» и в июне 1996 года защитил докторскую диссертацию «Пути увеличения производства говядины и создания мясного скотоводства в предгорных и горных районах Северного Кавказа».

С 1996 по 2015 год А. Ф. Шевхужев работал в Северо-Кавказской государственной академии (СевКавГА). Послужной список в данном вузе: профессор кафедры, зав. аграрной кафедрой, декан аграрного факультета, директор аграрного института.

Анатолий Фоадович являлся председателем Совета по защите диссертации на соискание ученой степени доктора наук по специальностям 06.02.08 и 06.02.10 с 2003 по 2013 год при Северо-Кавказской государственной академии.

С 2015 по 2017 год работал в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете, был директором института, проректором по научной работе и по совместительству зав. кафедрой крупного животноводства.

С 2017 года А. Ф. Шевхужев являлся зам. председателя комитета Народного собрания (Парламента) Карачаево-Черкесской Республики по аграрной политике. Одновременно по совместительству главным научным сотрудником ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр».

С 1 февраля 2021 года Анатолий Фoaдович – главный научный сотрудник и по совместительству руководитель научного направления «Совершенствование существующих и создание новых конкурентноспособных генотипов крупного рогатого скота» ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр».

Общий стаж работы А. Ф. Шевхужева – 52 года, в том числе научно-педагогический – 42. За период научно-педагогической деятельности им опубликовано 563 печатные работы, в том числе: 24 монографии, 4 учебника, 21 учебное пособие, из них 9 с грифом УМО Российской Федерации, 12 рекомендаций производству, 79 учебно-методических работ, 6 патентов. Число публикаций на elibrary.ru – 529, число цитирования из публикаций, входящих на elibrary.ru, – 3346, число цитирования из публикаций, входящих в РИНЦ, – 2979, число цитирования из публикаций, входящих в ядро РИНЦ, – 491, индекс Хирша – 32, международных статей в изданиях Scopus и Web of Science – 17.

Под руководством А. Ф. Шевхужева подготовлено и защищено более 200 дипломных работ, 24 кандидатские и 7 докторских диссертаций. Он руководит научными работами 2 аспирантов. Является членом докторского совета при ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» и ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова», членом редколлегий 4 журналов из перечня ВАК: «Известия Оренбургского ГАУ», «Вестник Рязанского ГАУ», «Известия Кабардино-Балкарского ГАУ» и «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН», членом научно-технического совета департамента животноводства МСХ РФ.

А. Ф. Шевхужев – участник различных международных, всероссийских научно-практических и научно-методических конференций, семинаров, где обсуждаются вопросы технологических приемов по увеличению производства сельскохозяйственной продукции.

Неоднократно награжден дипломами Министерства сельского хозяйства РФ за участие и организацию Международной агропромышленной выставки-ярмарки «Агрорусь». За многолетний добросовестный труд и значительный вклад в дело высшего профессионального образования и воспитания подрастающего поколения Анатолий Фoaдович награжден Почетной грамотой Народного Собрания (Парламента) Карачаево-Черкесской Республики (постановление № 353 от 26.12.2019 г.), юбилейной медалью «100-летие образования Карачаево-Черкесской Республики», нагрудным знаком «Почетный наставник» за эффективное и долговременное осуществление наставничества (приказ Минобрнауки России № 247 к/н от 8 апреля 2024 г.)

Глубокоуважаемый Анатолий Фoaдович, коллектив Кабардино-Балкарского научного центра РАН и редколлегия журнала «Известия КБНЦ РАН» сердечно поздравляют Вас с замечательным юбилеем! Желаем крепкого здоровья, кавказского долголетия, благополучия, дальнейших творческих 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 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. 1358):

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?jmid=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. 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 полноразличное слово с прописной буквы.

Библиографические описания публикаций в References составляют в следующей последовательности:

журнальная статья

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Zaglavie jurnala* [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. ... Pp. ...-... DOI (In Russian);

в случае, если у журнала есть официальное название на английском языке, источник оформляется в таком виде:

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of article. *Title of Journal*. Year. Vol. ... No. ...iss. ... Pp. ...-... DOI (In Russian);

монография, книга, глава из книги, препринт

Author A.A., Author B.B., Author C.C. *Nazvanie* [Title of book]. Gorod: Izdanie. Year. Pages p. (In Russian);

статья в материалах конференции

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie konferensii*. Gorod, Organizacia. Year. Pages p. (In Russian);

статья в электронном издании

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie zhurnala*, Year, Pages p., available at: <http://...> (accessed Data Year).

На сайте <http://translit-online.ru/> можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста в латиницу.

10. Требования к электронному носителю:

- к статье прилагается электронный вариант в формате Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10;

- статья должна быть набрана в формате 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.

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 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. 1358):

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 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 konferensii* [Title of the conference]. Gorod [City], Organizacia [Organization]. Year. Pages p. (In Russian);

article in electronic edition

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Title of paper. *Nazvanie zhurnala*, Year, Pages p., available at: <http://...> (accessed Data Year).

On the site <http://translit-online.ru/> you can use the program of transliteration of the Russian text into the Latin alphabet for free.

10. Requirements for electronic media:

- an electronic version in the format of Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10 is attached to the article;
- the article should be typed in A4 format with margins: top and bottom – 2.0 cm; left – 2.5 cm; right – 2 cm, the article should be typed in Times New Roman, size 14, one and a half spacing;
- editable tables, algorithms, figures, diagrams, etc. must be in A4 format, portrait orientation;
- Equations must be typed using the MathType program and equations that are referenced in the text should be numbered.

11. The decision to publish or reject author(s) materials is made by the editorial board in accordance with the rules for reviewing articles. Leading experts in the main scientific directions (headings) of the journal are involved in the expert assessment of the articles.

12. The editorial office does not enter into discussions with the authors of the rejected materials.

13. As a rule no more than one article by one and the same author is published in an issue. The decision to publish more than one material is made by the editorial board and the chief editor of the journal.

14. Articles violating these formatting rules are not considered.

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

Том 27 № 3 2025

Сквозной номер выпуска – 125

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 20.06.2025 г. Дата выхода в свет: 30.06.2025 г.

Формат бумаги 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 26,04. 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