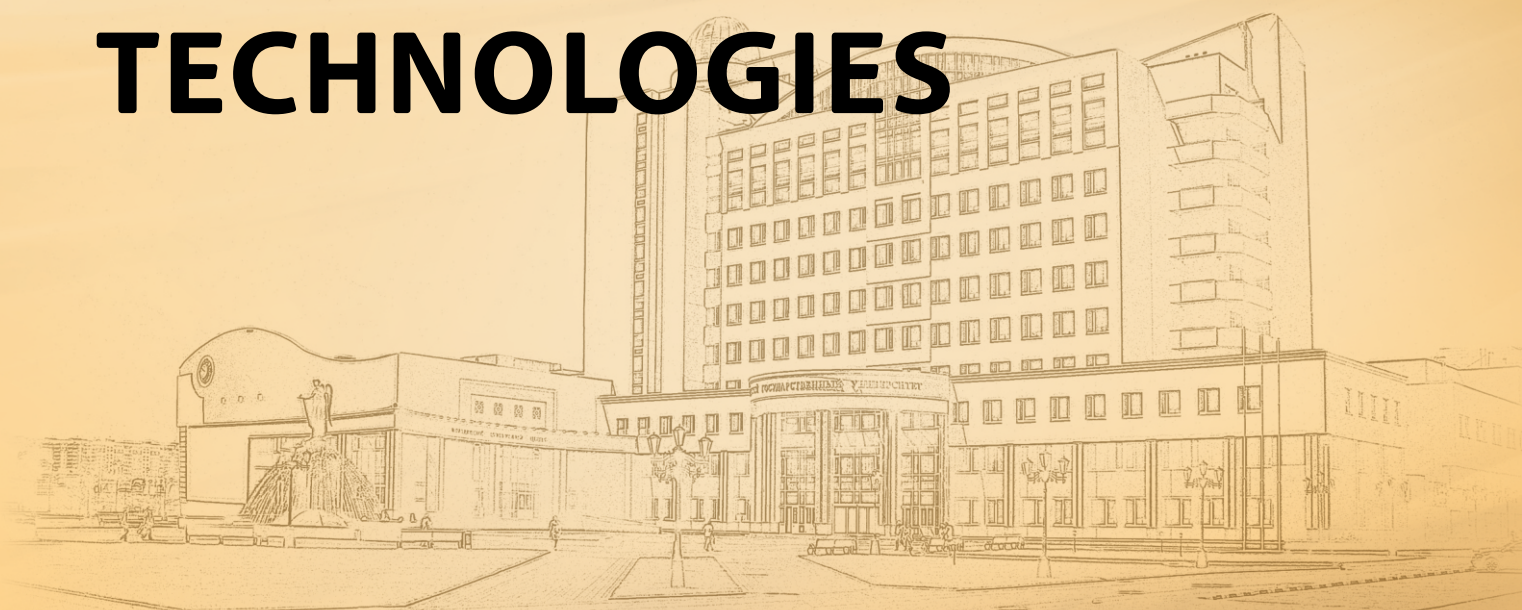


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2025. Том 52, № 4



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2025. Том 52, № 4

До 2020 г. журнал издавался под названием «Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика».

Основан в 1995 г.

Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами; 2.3.4. Управление в организационных системах; 2.3.8. Информатика и информационные процессы; 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика; 5.2.4. Финансы; 5.2.6. Менеджмент). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

Е.Г. Жилков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Заместитель главного редактора

Е.А. Стрякова, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой прикладной экономики и экономической безопасности института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ответственные секретари

Ю.В. Лыщикова, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Е.В. Болгова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Члены редколлегии:

А.В. Богомолов, доктор технических наук, профессор (Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Минобороны России, Москва, Россия)

О.В. Ваганова, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой инновационной экономики и финансов института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

М.В. Владыка, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, заместитель директора по научной работе института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

В.П. Волчков, доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия)

В.П. Воронин, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры торгового дела и товароведения (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия)

В.С. Голиков, доктор технических наук, профессор (Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Мексика)

О.А. Иваишук, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных и робототехнических систем (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

А.В. Коськин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и цифровых технологий (Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

Н.А. Кулагина, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры государственного управления, экономической и информационной безопасности, директор инженерно-экономического института (Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия)

А.С. Молчан, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры бизнес-аналитики (Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия)

Т.В. Никитина, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры банков, финансовых рынков и страхования, директор Международного Центра исследований финансовых рынков (Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия)

А.А. Сирота, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий обработки и защиты информации (Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия)

В.Б. Сулимов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия)

В.М. Тумин, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента (Московский политехнический университет, Москва, Россия)

Т.Л. Тен, доктор технических наук, профессор, проректор по цифровым технологиям и инновациям (Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан)

А.А. Черноморец, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

ISSN 2687-0932

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-77834 от 31.01.2020.

Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Мишенина. Корректур, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Мишенина. Редактор англоязычных текстов Е.С. Данилова. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 25,4. Дата выхода 30.12.2025. Оригинальный макет подготовлен центром полиграфического производства НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 749 **Петрова Е.А., Войнов Н.Д.**
Цифровая трансформация Волгоградской области: анализ результатов реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации»
- 761 **Селезнев П.С., Вуйменков С.А., Богатырева М.И., Алексеенко Д.А.**
Методика оценки и взаимосвязи основных показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 773 **Матвеев В.В., Богачёв Е.А.**
Экосистемный подход в условиях цифровизации: роль государства и пространственные диспропорции
- 785 **Осыченко Е.В.**
Концепция сбалансированной инновационной политики предприятия в контексте национальных и рыночных приоритетов

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 798 **Авилова В.В., Владыка М.В.**
О формировании новых точек роста в промышленности страны
- 806 **Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П.**
Логистика морских контейнерных перевозок в России: вызовы и факторы роста
- 818 **Тхориков Б.А., Герасименко О.А.**
Адаптивная ERP-архитектура для промышленных и транспортных компаний: моделирование и маркетинговые эффекты

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 825 **Антонова М.В.**
Оценка уровня финансовой грамотности населения: разработка и апробация авторской методики
- 837 **Карловская Е.А., Мельникова Н.С., Быканова Н.И., Суворова Э.А.**
Прогнозирование и моделирование объемов вкладов населения в коммерческие банки РФ в современных условиях экономического развития
- 851 **Санникова И.Н., Краюшкин М.Г.**
Прогнозирование вероятности банкротства организаций с применением no-code/low-code платформы для автоматизации ETL-процессов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 861 **Балабанова Т.Н., Дементьева Е.И., Лозовая С.Ю.**
Методы глубокого обучения в задаче обнаружения рака молочной железы
- 873 **Борисенко А.В., Акапьев В.Л., Ковалева Е.Г., Новикова Е.А.**
Эмуляция программного модуля имитации атаки на беспроводную сеть
- 887 **Леонов М.В., Брычкина М.С.**
ИИ-ассистент для моделирования арбитражных стратегий в финансах: архитектура, математическая модель и дидактический потенциал
- 897 **Арсёнов А.В., Моракс В.Д., Донская А.Р., Ломакин А.С.**
Обзор методов машинного обучения в протезировании

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 928 **Логинов И.В., Щербин А.А.**
Методика извлечения типовых требований из описания вакансий методами графо-семантического анализа
- 946 **Акапьев В.Л., Савотченко С.Е.**
Проектирование структуры базы данных аналитическо-информационной системы учреждения образования

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 956 **Наумов М.А., Карповский А.Ю., Курносов В.Г., Андрусенко С.Н.**
Влияние мощности передатчика на расстояние передачи данных по беспроводной связи LoRa
- 967 **Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Кукушкин Л.С., Олейник И.И.**
Разработка инновационных методов и технологий повышения помехоустойчивости в космических телекоммуникационных системах управления и передачи данных
- 976 **Орищук С.Г., Олейник И.И., Урсол Д.В., Федоров П.А., Орищук Г.С.**
Требования к разработке разрешающего правила обнаружения сигналов в радиолокационных системах полного поляризационного зондирования с субполосной обработкой многочастотных ортогональных когерентных сигналов

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2025. Volume 52, No. 4

Until 2020, the journal was published with the name "Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies".

Founded in 1995

The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be (1.2.2. Mathematical Modeling Numerical Methods and Program Complexes; 2.3.1. The System Analysis, Management and Information Processing; 2.3.3. Automation and Control of Operating Processes and Manufacturing; 2.3.4. Control in Operational Systems; 2.3.8. Informatics and Information Processes; 5.2.3. Regional and sectoral economy; 5.2.4. Finance; 5.2.6. Management). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (RSCI).

Founder: Federal state autonomous educational institution of higher education "Belgorod State National Research University".

Publisher: Belgorod National Research University «BelSU». Address of publisher: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia.

EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL

Editor-in-Chief

E.G. Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

E.A. Stryapkova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

Editorial Assistants:

Y.V. Lyshchikova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

E.V. Bolgova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

Members of the Editorial Board:

A.V. Bogomolov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia)

O.V. Vaganova, doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Innovative Economy and Finance of the Institute of Economics (BSU, Belgorod, Russia)

M.V. Vladika, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Deputy Director for Research of the Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

V.P. Volchikov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia)

V.P. Voronin, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Trade and Commodity Science (Voronezh State University of Engineering Technology, Voronezh, Russia)

V.S. Golikov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Mexico)

O.A. Ivashchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Robotic Systems (BSU, Belgorod, Russia)

A.V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies (Oryol State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia)

N.A. Kulagina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of public administration, economic and information security, Director of the Engineering and Economic Institute (Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia)

A.S. Molchan, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Business Analytics (Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia)

T.V. Nikitina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of banks and financial markets and insurance, Director of the International Center for Financial Market Research (Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia)

A.A. Sirota, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Processing and Protection of Information (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

V.B. Sulimov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, (Lomonosov Moscow State University, Research Computer Center, Moscow, Russia)

V.M. Tumin, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of management (Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia)

T.L. Ten, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Digital Technologies and Innovations (Karaganda Economic University of Kazpotreboysuz, Karaganda, Kazakhstan)

A.A. Chernomorets, Doctor of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

ISSN 2687-0932

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭЛ № ФС 77-77834 dd 31.01.2020.

Publication frequency: 4 times per year

Commissioning Editor Y.V. Misherina. Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Misherina. English text editor E.S. Danilova. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 25.4. Date of publishing 30.12.2025. Dummy layout has been prepared by Belgorod National Research University Centre of Polygraphic Production. Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

- 749 **Petrova E.A., Voynov N.D.**
Digital Transformation of the Volgograd Region: Analyzing the Results of the "Digital Economy of the Russian Federation" National Project
- 761 **Seleznev P.S., Vuimenkov S.A., Bogatyreva M.I., Alekseenko D.A.**
Methodology for Assessing and Interrelating the Main Indicators of Target and Inertial Scenarios for the Development of Towns

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 773 **Matveev V.V., Bogachev E.A.**
The Ecosystem Approach in the Context of Digitalization: The Role of the State and Spatial Disproportions
- 785 **Osychenko E.V.**
The Concept of a Balanced Innovation Policy of an Enterprise in the Context of National and Market Priorities

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 798 **Avilova V.V., Vladyka M.V.**
On the Formation of New Growth Points in the Country's Industry
- 806 **Selyukov M.V., Tsevenkova E.O., Shalygina N.P.**
Sea Container Logistics in Russia: Challenges and Growth Factors
- 818 **Tkhorikov B.A., Gerasimenko O.A.**
Adaptive ERP Architecture for Industrial and Transport Companies: Simulation and Marketing Effects

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

- 825 **Antonova M.V.**
Assessing the Financial Literacy of the Population: Development and Testing of the Author's Methodology
- 837 **Karlovskaia E.A., Melnikova N.S., Bykanova N.I., Suvorova E.A.**
Forecasting and Modeling the Volume of Deposits of the Population in Commercial Banks of the Russian Federation in Modern Conditions of Economic Development
- 851 **Sannikova I.N., Krayushkin M.G.**
Forecasting the Probability of Bankruptcy of Organizations Using the No-Code/Low-Code Platform for ETL Process Automation

COMPUTER SIMULATION

- 861 **Balabanova T.N., Dementeva E.I., Lozovaya S.Yu.**
Deep Learning Methods in the Problem of Breast Cancer Detection
- 873 **Borisenko A.V., Akapyev V.L., Kovaleva E.G., Novikova E.A.**
Emulation of the Attack Simulation Software Module to a Wireless Network
- 887 **Leonov M.V., Brychkina M.S.**
AI Assistant for Simulating Arbitrage Strategies in Finance: Architecture, Mathematical Model, and Didactic Potential
- 897 **Arsenov A.V., Moraks V.D., Donsckaia A.R., Lomakin A.S.**
Overview of Machine Learning Methods in Prosthetics

SYSTEM ANALYSIS AND MANAGEMENT

- 928 **Loginov I.V., Shcherbin A.A.**
The Method of Extracting Typical Requirements from Job Descriptions by Grapho-Semantic Analysis
- 946 **Akapyev V.L., Savotchenko S.E.**
Designing the Structure of the Analytical Information System Database for an Educational Institution

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 956 **Naumov M.A., Karpovsky A.Yu., Kurnosov V.G., Andrusenko S.N.**
Effect of the Transmitter Power on the Data Transmission Distance over the LoRa Wireless Connection
- 967 **Shiryaev A.A., Kukushkin S.S., Kukushkin L.S., Oleynik I.I.**
Development of Innovative Methods and Technologies for Improving Noise Immunity in Space-Based Telecommunication Control and Data Transmission Systems
- 976 **Orishchuk S.G., Oleynik I.I., Ursol D.V., Fedorov P.A., Orishchuk G.S.**
Requirements for the Development of an Allow Rule for Signal Detection in Full-Polarization Sounding Radar Systems with Subband Processing of Multi-Frequency Orthogonal Coherent Signals

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 338.2

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-749-760

EDN AIPHJU

Цифровая трансформация Волгоградской области: анализ результатов реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации»

Петрова Е.А., Войнов Н.Д.

Волгоградский государственный университет
Россия, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100
ea_petrova@mail.ru, nikvoynov111@gmail.com

Аннотация. В статье исследуются результаты реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации» на федеральном и региональном уровнях. Региональный аспект реализации национальной программы показан на примере Волгоградской области. Актуальность работы обусловлена завершением программы и переходом к новому этапу цифровой трансформации – национальному проекту «Экономика данных и цифровая трансформация государства». В работе проанализированы ключевые направления программы, включая нормативное регулирование, подготовку кадров и развитие инфраструктуры, а также дана оценка достижению количественных показателей на федеральном и региональном уровнях. На основе открытых данных представлены бюджетные ассигнования, статистические показатели и результаты поддержки ИТ-компаний через гранты и акселерационные программы. Дополнительно были выявлены проблемы, связанные с противоречивостью официальных данных, их достоверностью и открытостью.

Ключевые слова: национальные проекты, цифровая экономика, Волгоградская область, цифровая трансформация, информационные технологии, экономическое развитие

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FZUU-2023-0002).

Для цитирования: Петрова Е.А., Войнов Н.Д. 2025. Цифровая трансформация Волгоградской области: анализ результатов реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации». *Экономика. Информатика*, 52(4): 749–760. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-749-760; EDN AIPHJU

Digital Transformation of the Volgograd Region: Analyzing the Results of the “Digital Economy of the Russian Federation” National Project

Elena A. Petrova, Nikita D. Voynov

Volgograd State University
100 Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russia
ea_petrova@mail.ru, nikvoynov111@gmail.com

Abstract. The article examines the results of the implementation of the national project “Digital Economy of the Russian Federation” at the federal and regional levels. The regional aspect of the national program

© Петрова Е.А., Войнов Н.Д., 2025



implementation is discussed at the example of the Volgograd region. The relevance of the work is determined by the completion of the program and the transition to a new stage of digital transformation – the national project “Data Economy and Digital Transformation of the Government”. The paper analyzes the key areas of the program, including legal regulation, personnel training, and infrastructure development, and evaluates the achievement of quantitative indicators at the federal and regional levels. Based on open sources, the authors present data on budget allocations, statistical indicators and results of support for IT companies through grants and some acceleration programs. Additionally, some problems related to the inconsistency of official data, their reliability and openness have been identified.

Keywords: national projects, digital economy, Volgograd region, digital transformation, information technology, economic development

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FZUU-2023-0002).

For citation: Petrova E.A., Voynov N.D. 2025. Digital Transformation of the Volgograd Region: Analyzing the Results of the “Digital Economy of the Russian Federation” National Project. *Economics. Information Technologies*, 52(4): 749–760 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-749-760; EDN AIPHJU

Введение

В современном мире цифровые технологии являются одним из ключевых факторов развития экономики государства [Vershitsky и др., 2024], которое становится невозможным без применения новых технологий и знаний, появления и развития инноваций [Кравченко, Панков, 2020]. Новой стадией стала цифровая экономика как деятельность, где ключевым фактором производства выступают данные в цифровом виде [Указ Президента РФ от 09.05.2017 ...].

Программа «Цифровая экономика РФ» (ЦЭ) учитывала и дополняла цели и задачи, реализуемые в рамках Стратегии научно-технологического развития РФ и Стратегии развития информационного общества в РФ на 2017–2030 годы. В рамках программы было определено пять базовых направлений развития цифровой экономики – нормативное регулирование, кадры и образование, формирование исследовательских компетенций и технологических заделов, информационная инфраструктура и информационная безопасность [Распоряжение Правительства ...].

Кроме того, в изложенном выше указе говорится о том, что цифровая экономика пронизывает все сферы и все отрасли, и что именно с ее помощью необходимо провести преобразование приоритетных отраслей экономики и социальной сферы путем внедрения цифровых технологий [Указ Президента РФ от 07 мая 2018 года ...].

Волгоградская область успешно обеспечивает реализацию задач, поставленных Президентом РФ. В регионе отмечается стабильно высокий уровень разработки инициатив, в числе которых – реализация программы ЦЭ [Войнов, 2023].

На сегодняшний день всё более глобально ставятся задачи использования цифровых технологий. От цифровизации экономики происходит переход к трансформации на основе данных, что подтверждается введением нового национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства» (ЭД) [Экономика данных ...].

В связи с завершением реализации программы ЦЭ и началом действия национального проекта ЭД [Леднева, Сидорова, 2025] актуальным становится вопрос подведения статистических и аналитических итогов, а также оценки результативности реализации программы в субъектах РФ.

Объекты и методы исследования

Национальный проект ЦЭ действовал с 2019 по 2024 год и включал в себя 9 инициатив (изменяющихся по мере реализации проекта) [Коокуева, 2020], которые реализовывались в регионах при помощи региональных проектов (рис. 1).

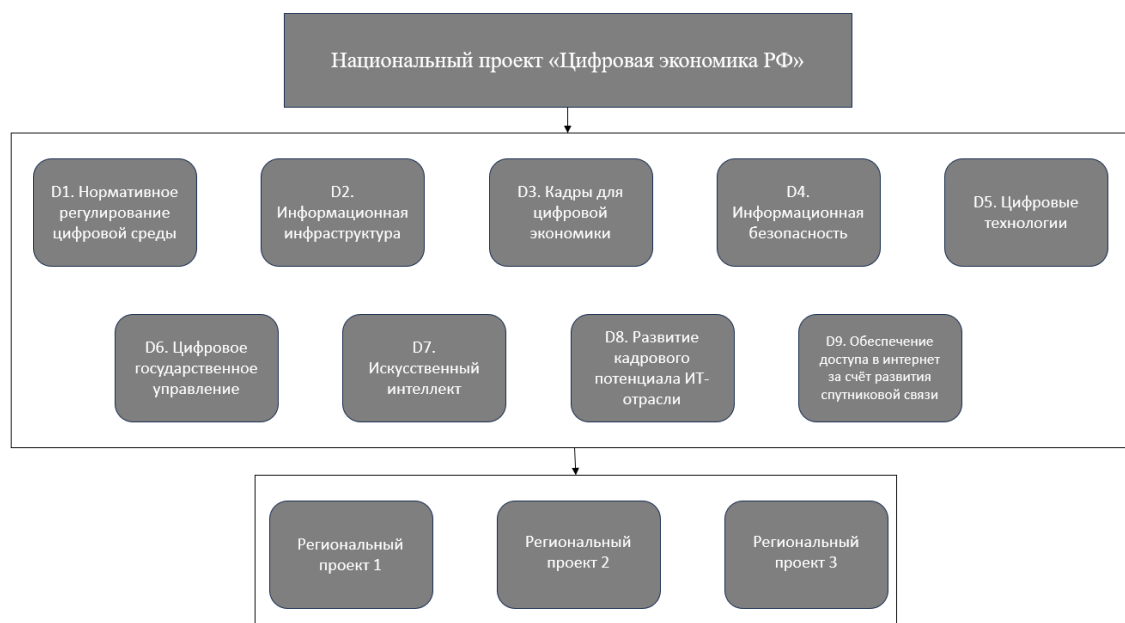


Рис. 1. Схема реализации национального проекта «Цифровая экономика РФ» в субъектах РФ
Fig. 1. Scheme of implementation of the “Digital Economy of the Russian Federation” national project in the subjects of the Russian Federation

Примечание. Составлено авторами по нормативному документу «Паспорт национального проекта "Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации"».

Инициативы реализации региональных проектов исходили от субъектов РФ, согласовывались с руководителями федеральных проектов и заверялись на основании соглашений о реализации на территории субъекта РФ регионального проекта [Макагонов, 2023].

Важно отметить, что федеральный проект «Искусственный интеллект» был включен в состав национальной программы в 2021 году (его реализация продолжается в составе нового национального проекта ЭД), а федеральные проекты «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли» и «Обеспечение доступа в Интернет за счёт развития спутниковой связи» были добавлены в состав национальной программы в 2022 году [Национальная программа ...].

Обобщенную цель реализации мероприятий в сфере цифровой экономики можно представить следующим образом: создание условий получения и извлечения благ любым гражданином в максимально короткие сроки и с минимальным количеством привлекаемых ресурсов [Палагин, Носков, 2019]. Для достижения представленной цели используются количественные показатели, представим открытую актуальную информацию о них в формате таблицы (табл. 1).

В приведенной выше таблице были указаны значения только тех показателей, о которых в открытых источниках доступна информация за декабрь 2024 года.

Согласно информации, размещенной на едином портале бюджетной системы РФ, по состоянию на 19.03.2025 на национальный проект ЦЭ было затрачено 1848,66 млрд руб. [Национальные проекты ...], что можно считать финальной суммой затрат в связи с окончанием реализации данной программы. Приведем суммы утвержденных бюджетных ассигнований в разрезе федеральных проектов данной национальной программы (табл. 2).

Подробные затраты и бюджетные ассигнования по иным федеральным проектам не представлены на едином портале бюджетной системы РФ.

По словам министра цифрового развития и связи РФ, озвученным на расширенном заседании Комитета по информационной политике, информационным технологиям и связи 19.03.2024, главным результатом исполнения национального проекта является оценка населения [Эфир Минцифры ...]. Однако Минцифры России также представило часть количественных результатов реализации проекта (табл. 3).



Таблица 1
 Table 1

Значения количественных показателей национальной программы ЦЭ
 Values of quantitative indicators of the
 “Digital Economy of the Russian Federation” national program

Код показателя в ЕМИСС	Значение	Единица измерения
1	2	3
2.12.D.2. (Уровень удовлетворенности качеством предоставления госуслуг)	4,4	балл
2.12.D.3. (Доля социально значимых объектов, имеющих доступ к сети «Интернет»)	100	процент
2.12.D.4. (Доля образовательных организаций (за исключением высших учебных заведений), подключённых к единой сети передачи данных)	100	процент
2.12.D.9. (Количество разработанных решений с внедрёнными механизмами криптографической защиты)	5	шт.
2.12.D.11. (Протяженность создаваемых российских квантовых сетей связи)	7 012	км.
2.12.D.14. (Количество программных продуктов в реестре российских программ)	24 301	ед.
2.12.D.15. (Количество видов сведений, предоставляемых в режиме онлайн органами государственной власти)	292	усл. ед.
2.12.D.17. (Объем радиочастотного спектра, доступного для использования)	810	мегагерц
2.12.D.20. (Публикации российских специалистов на конференциях в области искусственного интеллекта уровня А)	590	ед.
2.12.D.22. (Количество специалистов в области искусственного интеллекта, подготовленных в рамках программ высшего образования)	23 139	чел.
2.12.D.23. (Количество человек, получивших дополнительное профессиональное образование в области искусственного интеллекта)	6 254	чел.
2.12.D.24. (Количество нормативных правовых актов, принятых в рамках цифровой трансформации законодательства)	25	ед.
2.12.D.25. (Количество школьников 8–11 классов, прошедших дополнительный 2-летний курс обучения современным языкам программирования)	100 821	тыс. чел.
2.12.D.26. (Количество созданных и запущенных на геостационарную и высокоэллиптические орбиты космических аппаратов)	0	шт.
2.12.D.28. (Доля госуслуг, оказываемых онлайн)	69,9	процент
2.12.D.29. (Количество зарегистрированных пользователей портала государственных услуг)	129 907 367	чел.
2.12.D.31. (Доля юридически значимых уведомлений, направляемых госорганами исключительно в электронном виде)	100	процент
2.12.D.6.18. (Доля судебных дел в арбитражных судах, рассматриваемых в электронном виде)	0	процент

Окончание табл. 1
End of Table 1

1	2	3
2.12.D6.2. (Доля активных пользователей ЕПГУ, использующих электронную подпись)	30,7	процент
2.12.D6.2. (Доля государственных информационных систем, интегрированных с ЕПГУ)	62,48	процент
2.12.D6.2. (Доля услуг по оформлению справок, социальных льгот и пособий, оказываемых онлайн)	87,88	процент
2.12.D6.2. (Количество видов сведений, доступных в рамках цифрового профиля гражданина)	100	ед.
2.12.D6.2. (Количество пользователей сервиса биометрической идентификации)	75 909 867	чел.
2.12.D6.2. (Количество услуг, возможность получения которых обеспечивается без очных визитов)	203	ед.
2.12.D6.2. (Регламентное время, затрачиваемое на идентификацию гражданина)	26,74	сек.

Примечание. Составлено авторами на базе информации, размещенной в единой межведомственной информационно-статистической системе.

Таблица 2
Table 2

Утвержденные бюджетные ассигнования в разрезе федеральных проектов
национальной программы ЦЭ
Approved budget allocations in the context of federal projects of the
“Digital Economy of the Russian Federation” national program

Федеральный проект	Утвержденные бюджетные ассигнования, тыс. руб.
Информационная инфраструктура	8 231 158,1
Кадры для цифровой экономики	98 383,9
Информационная безопасность	1 476 533,3
Цифровые технологии	67 236,7
Цифровое государственное управление	6 568 620,4

Примечание. Составлено авторами по данным оперативного исполнения бюджета по расходам на 30.12.2024, размещенным на едином портале бюджетной системы РФ.

Таблица 3
Table 3

Количественные результаты реализации национального проекта,
представленные Минцифры России
Quantitative results of the national project implementation presented by the Ministry
of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation

Наименование результата	Уровень достижения	Эффекты от реализации
1	2	3
Доступ в интернет	100 %	– создание сети спутников для высокоскоростного интернет-доступа; – улучшение и расширение LTE-сетей; – внедрение интернет-инфраструктуры при возведении новых жилых комплексов.

Окончание табл. 3
End of Table 3

1	2	3
Цифровой профиль гражданина	97,5 %	– 100 видов сведений доступны в цифровом профиле гражданина; – 50 видов документов возможно получить и предъявить при помощи мобильного приложения «Госуслуги»; – 39 нормативно-правовых документов принято для работы с биометрическими данными.
Госуслуги онлайн	100 %	– утверждены план обеспечения предоставления онлайн госуслуг, а также перечень таких услуг; – 203 услуги обеспечены возможностью получения без очных визитов.
Электронный документооборот	100 %	– более 17 млн граждан страны воспользовались приложением «Госключ»; – все юридически значимые уведомления отправляются в электронном формате; – 60,39 % документооборота юрлиц осуществляется через обмен электронными данными; – все документы обязательной отчетности собираются и хранятся в электронном виде.
Подготовка кадров для ИТ	100 %	– реализованы проекты «Код будущего» и «Цифровые кафедры».

Примечание. Составлено авторами по информации о национальной программе ЦЭ, представленной на официальном сайте Минцифры России.

Результаты реализации программы также можно отследить на сайтах операторов мер поддержки. Набор новых мер поддержки, которые предусмотрены национальной программой, достаточно разнообразен и учитывает специфику цифровых технологий [Bakharev, 2020; Варнавский, Юдников, 2021].

В части финансовой поддержки были реализованы грантовые конкурсы от Российского фонда развития информационных технологий (РФРИТ), фонда «Сколково», а также Фонда содействия инновациям (ФСИ).

Фонд «Сколково» осуществлял грантовую поддержку в рамках федеральных проектов «Цифровые технологии» и «Искусственный интеллект» и поддержал более 80 проектов на сумму более чем 7 млрд руб. [Промежуточные итоги ...]. РФРИТ за период с 2022 по 2024 в рамках 4 конкурсов выделил более 9 млрд руб. на поддержку особо значимых проектов и возмещение расходов на рекламу отечественных ИТ-компаний [Объем грантовой поддержки, РФРИТ в 2023 году ...]. ФСИ в рамках грантов, реализуемых в части национального проекта ЦЭ, поддержал более 120 проектов на общую сумму более 707,2 млн руб. [Конкурсы ...].

Нефинансовые меры поддержки осуществлялись Фондом развития интернет-инициатив (ФРИИ) посредством акселерационных программ «Спринт» и «Драйвер».

Акселератор «Спринт» – программа, предназначенная для повышения показателей ИТ-бизнеса. Выпускниками акселератора стали 528 компаний, что позволило им привлечь 246 тыс. клиентов и 797 млн руб. выручки [Ускорим рост продаж ...]. В настоящее время в рамках национальной программы ЭД реализуется обновленный акселератор «Спринт 2.0».

Акселератор «Драйвер» имел направленность на технологические компании. За период реализации программы 40 компаний стали выпускниками акселератора, а 24 компании выступили перед инвесторами на демо-дне [Ускорим развитие вашего ...].

Помимо изложенного выше, для поддержки проектов отечественных ИТ-компаний в рамках национальной программы 1500 ИТ-компаний были выданы льготные кредиты на сумму более 125 млрд рублей [Нацпроект «Цифровая экономика» ...].

Результаты страны и конкретных её регионов в достижении целей национального проекта ЦЭ также показывает рейтинг руководителей цифровой трансформации (как федерального, так и регионального уровня). Показатели рейтинга ежегодно обновляются для актуальной оценки ведомств и субъектов РФ в части достижений в цифровой трансформации и оценки выполнения приоритетных задач в цифровой сфере. По итогам 2024 года 39 регионов РФ набрали более 70 % от максимально доступной в ранжировании оценки [Высокий темп цифровизации ...].

Волгоградская область реализует принципы цифровой экономики и цифровой трансформации посредством комплекса программ и мероприятий в различных сферах деятельности. Ряд реализованных проектов подтверждает эффективность цифровой трансформации.

Результаты и их обсуждение

В официальной статистической информации, представленной Федеральной службой государственной статистики, в части, касающейся Волгоградской области, имеются данные об исполнении трех показателей национальной программы (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Значения количественных показателей национальной программы ЦЭ
в Волгоградской области
Values of quantitative indicators of the
“Digital Economy of the Russian Federation” national program in the Volgograd region

Код показателя в ЕМИСС	Значение	Единица измерения
2.12.D.2.	4,41	балл
2.12.D.3.	100	процент
2.12.D.15.	4	условная единица

Примечание. Составлено авторами на базе информации, размещенной в ЕМИСС.

Информация, представленная в вышеизложенной таблице, не в полной мере отражает действительные итоги исполнения национальной программы. Однако ряд уже реализованных проектов подтверждает эффективность цифровой трансформации.

Так, предоставление населению возможности удаленной записи через Интернет на прием к врачу, а также использование искусственного интеллекта при звонках в многофункциональные центры позволяет снизить конфликтность в данной сфере. А внедрение системы видеоаналитики улично-дорожной сети и программно-аппаратного комплекса «Паук Трафик» позволило повысить дисциплину водителей, снизить количество дорожно-транспортных происшествий [Статистика ДТП ...], увеличить пропускную способность перекрестков.

Еще одним примером является использование технологий в сфере сельского хозяйства. В регионе проведено пилотирование технологии выявления неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения по космическим снимкам. В случае принятия решения о внедрении интеллектуальной системы ожидается повышение налогооблагаемой базы по имущественным налогам, а также эффективная информационная поддержка принятия решений в финансово-экономическом блоке управления муниципальными районами за счет регулярного получения актуальной информации.

В направлении здравоохранения цифровая трансформация обеспечивается развитием региональной информационной системы в сфере здравоохранения Волгоградской области и внедрением технологий искусственного интеллекта. По результатам реализации мероприятий у каждого врача появилась возможность использования телемедицинских технологий, внедрены технологии автоматического распознавания нарративной медицинской лексики, а



также системы поддержки принятия врачебных решений. Ведется работа по внедрению интеллектуальных голосовых роботов для записи населения региона на прием к врачу [Белошапкина и др., 2025].

Помимо вышеизложенного в Волгоградской области действует экосистема подготовки ИТ-кадров, включающая мероприятия по популяризации ИТ-технологий, ранней профориентации детей, повышению квалификаций и компетенций специалистов и граждан.

Мероприятия по повышению квалификации и компетенций государственных служащих в сфере ИТ были включены в государственную программу Волгоградской области «Развитие информационного общества» в рамках обеспечения реализации регионального проекта «Кадры для цифровой экономики (Волгоградская область)». Более 10 тыс. сотрудников органов местного самоуправления и подведомственных учреждений региона повысили свои компетенции.

Мероприятия, проводимые для школьников региона, в том числе реализуются в рамках национального проекта ЦЭ, что подтверждается проведением таких регулярных мероприятий как «Урок цифры» и «День цифры». За 2021–2024 гг. проведено в общей сложности 43 мероприятия в очном и дистанционном форматах с общим охватом слушателей более 1300 человек в возрасте до 18 лет. Проведено 5 комплексных обучающих семинаров для школьников с общим охватом более 1000 человек. Также более 60 слушателей старше 55 лет получили первоочередные навыки по работе с персональным компьютером в очном формате, более 200 человек – в дистанционном формате [Новости ...].

Помимо вышеизложенного, осуществляются иные мероприятия по цифровизации региона. Уровень цифровизации региона, измеряемый через индекс «цифровой зрелости», достиг значения 82,16 %, что превышает установленный плановый показатель на 8,66 процентных пункта [Волгоградская область ...].

В части, касающейся оценки деятельности руководителя цифровой трансформации региона, по итогам 2024 года Волгоградская область не вошла в топ 39 регионов [Почти половина российских ...], что сохраняет тенденции прошлых лет (в октябре 2023 года Волгоградская область занимала 49 место среди 88 субъектов РФ) [Войнов, 2024, с. 27].

По состоянию на 30.12.2024 утвержденные бюджетные ассигнования Волгоградской области на реализацию представленной программы были равны 239 580,1 тыс. руб. (по состоянию на 19.03.2025 исполнены на 100 %). Приведем суммы, доступные в официальных открытых источниках, в разрезе федеральных проектов данной национальной программы по Волгоградской области (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Утвержденные бюджетные ассигнования в разрезе федеральных проектов
 национальной программы ЦЭ в Волгоградской области

Approved budget allocations in the context of federal projects of the
 “Digital Economy of the Russian Federation” national program in the Volgograd region

Федеральный проект	Утвержденные бюджетные ассигнования, тыс. руб.
Информационная безопасность	11 920,8
Цифровое государственное управление	227 659,3

Примечание. Составлено авторами по данным оперативного исполнения бюджета по расходам на 30.12.2024, размещенным на едином портале бюджетной системы РФ.

В части грантовой и нефинансовой поддержки компании региона являлись получателями государственной поддержки в рамках реализации своих проектов.

В связи с тем, что данные о победителях грантовых конкурсов от РФРИТ являются закрытыми, а информация о победителях, представленная Фондом «Сколково», не имеет привязки к субъектам РФ – представим информацию о региональных победителях конкурсных программ от ФСИ и ФРИИ (табл. 6).

Таблица 6

Table 6

Компании Волгоградской области, являющиеся победителями конкурсных программ
от операторов мер поддержки
Volgograd Region companies that are winners of competitions organized
by operators of support measures

Наименование компании	Мера поддержки	Наименование конкурсной программы	Наименование оператора меры поддержки
ООО «Крестьянское хозяйство Нива»	20 млн руб.	Цифровизация-ЦТ	ФСИ
ООО «Импорт-Сервис»	5 млн руб.	Цифровизация-ЦТ	ФСИ
ООО «Волгасофт-проект»	20 млн руб.	Экспорт-ЦТ	ФСИ
ИП Ситчихин Е.Ю.	4 млн руб.	Старт-ЦТ-1	ФСИ
ИП Шаронова О.А.	4 млн руб.	Старт-ЦТ-1	ФСИ
ООО «Горизонт»	20 млн руб.	Развитие-ЦТ	ФСИ
ООО «ПО «Шеврет»	10 млн руб.	Развитие-ЦТ	ФСИ
ООО «ОТК»	15 млн руб.	Развитие-ЦТ	ФСИ
ООО «Инлайн»	Акселерация	Акселератор «Спринт» (2 отбор)	ФРИИ
ООО «АЙ ЭМ ИН»	Акселерация	Акселератор «Спринт» (4 отбор)	ФРИИ

Примечание. Составлено авторами на основе открытых данных о победителях конкурсов на оказание мер поддержки в рамках национальной программы ЦЭ.

Стоит отметить, что представленная таблица может не отражать итоги поддержки региональных компаний в полной мере, т. к. часть данных о победителях грантовых конкурсов не представлена в открытом доступе.

В представленных данных по исполнению показателей национальной программы ЦЭ для Волгоградской области просматривается динамичное развитие и внедрение принципов цифровой трансформации. Несмотря на то, что статистические и аналитические показатели демонстрируют успешную реализацию отдельных задач, невозможно оценить итоги реализации национальной программы полностью из-за отсутствия части данных по показателям.

Заключение

Таким образом, реализация национального проекта ЦЭ стала важным этапом в цифровой трансформации страны, заложив основы для дальнейшего развития данных и технологий. Анализ результатов реализации программы в Волгоградской области показал, что регион достиг значительных успехов в цифровизации ключевых сфер экономики. Внедрение искусственного интеллекта, телемедицины, систем видеоаналитики и мер поддержки ИТ-компаний способствовало повышению эффективности услуг и созданию цифровой экосистемы.

Однако во время работы над настоящим материалом была выявлена проблема противоречивости данных, указанных в официальных источниках [Черняков, 2022]. Информация о результатах реализации национальной программы, представленная на официальном сайте национальныхпроекты.рф, едином портале бюджетной системы РФ и в единой межведомственной информационно-статистической системе разнится, в связи с чем не ясны действительные актуальные данные по части показателей программы, что осложняет возможности подведения итогов её реализации.

Помимо этого, выделяется проблема открытости данных об исполнении показателей национальных проектов, а также проблема привязки деятельности, реализуемой вне рамок

национальных проектов, к исполнению их целей и задач при размещении пресс-релизов исполнительными органами власти регионов.

Переход к новому национальному проекту ЭД открывает дополнительные возможности для регионов, но требует учета накопленного опыта и устранения выявленных недостатков. Перспективы дальнейших исследований связаны с углубленным анализом эффективности новых инициатив в рамках ЭД, а также с разработкой методик оценки цифровой трансформации с учетом региональной специфики.

Список источников

- Волгоградская область: ключевые достижения и приоритеты развития на 2025 год // DRUSSIA. URL: <https://clck.ru/3Lk3AV> (дата обращения: 01.05.2025).
- Высокий темп цифровизации в Камчатском крае отмечен на федеральном уровне // Министерство цифрового развития Камчатского края. URL: <https://clck.ru/3Lk38M> (дата обращения: 29.04.2025).
- Конкурсы // Фонд содействия инновациям. URL: https://fasie.ru/competitions/?PROGRAM_ID=952 (дата обращения: 30.04.2025).
- Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. URL: <https://clck.ru/3Lk3Ct> (дата обращения: 02.05.2025).
- Национальные проекты // Единый портал бюджетной системы Российской Федерации. URL: <https://clck.ru/3Lk35L> (дата обращения: 02.05.2025).
- Нацпроект «Цифровая экономика»: результаты за 6 лет // Национальные проекты.рф. URL: <https://clck.ru/3Lk3Fb> (дата обращения: 02.05.2025).
- Новости // Комитет информационных технологий Волгоградской области. URL: <https://kit.volgograd.ru/current-activity/cooperation/news/> (дата обращения: 02.05.2025).
- Объем грантовой поддержки IT-решений от РФРИТ составил в 2022 году более 3,6 млрд рублей // ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/16717869> (дата обращения: 02.05.2025).
- Оперативное исполнение бюджета // Единый портал бюджетной системы Российской Федерации. URL: <https://clck.ru/3Lk3Nk> (дата обращения: 03.05.2025).
- Почти половина российских регионов вошла в топ рейтинга РЦТ за 2024 год // DRUSSIA. URL: <https://clck.ru/3Lk3Qh> (дата обращения: 03.05.2025).
- Промежуточные итоги конкурсного отбора пилотных проектов апробации технологий искусственного интеллекта в приоритетных отраслях в рамках реализации федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» на 28.02.2024 // Фонд «Сколково». URL: <https://dtech.sk.ru/files/78/itogi-otborov-16-01-0.pdf> (дата обращения: 27.02.2025).
- Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении программы "Цифровая экономика Российской Федерации"» от 28.07.2017 № 1632-р // КонсультантПлюс. 2017 г.
- РФРИТ в 2023 году поддержал девять значимых проектов на сумму 5,3 млрд рублей // ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/19435931> (дата обращения: 27.02.2025).
- Статистика ДТП по Волгоградской области // RusDTP.ru. URL: <https://clck.ru/3Ltnmh> (дата обращения: 27.02.2025).
- Указ Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 07.05.2018 № 204 // КонсультантПлюс. 2018 г.
- Указ Президента РФ «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» от 09.05.2017 № 203 // КонсультантПлюс. 2017 г.
- Ускорим развитие вашего продукта // Акселератор «Драйвер». URL: <https://driver.iidf.ru/> (дата обращения: 05.05.2025).
- Ускорим рост продаж вашего продукта // Акселератор «Спринт». URL: <https://sprint.iidf.ru/> (дата обращения: 05.05.2025).
- Экономика данных // Национальные проекты.рф. URL: <https://clck.ru/3Lk3Vg> (дата обращения: 05.05.2025).
- Эфир Минцифры // Telegram. URL: https://t.me/mintsifry_online/906 (дата обращения: 05.05.2025).

Список литературы

- Белошапкина П.А., Косинова Н.Н., Кутовая В.А. 2025. Анализ современного состояния цифровизации здравоохранения Волгоградской области. *Актуальные проблемы социально-экономического развития современного общества*: 494–498.
- Варнавский Н.С., Юдников В.В. 2021. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: предварительные итоги. *Актуальные проблемы юриспруденции*, 12 (52): 99–102.
- Войнов Н.Д. 2023. Анализ мер поддержки отрасли информационных технологий, реализуемых в Волгоградской области в условиях санкционного давления со стороны иностранных государств. XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области: Тезисы докладов: 213–217.
- Войнов Н.Д. 2024. Рейтинговые технологии в анализе результатов развития цифровой трансформации в регионах РФ и Волгоградской области. *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*, 2: 25–28.
- Коокуева В.В. 2020 Проблемы реализации и финансового обеспечения национальной программы «Цифровая экономика РФ» в инновационном развитии. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 16, 6(387): 1029–1049. DOI 10.24891/ni.16.6.1029.
- Кравченко Л.А., Панков Д.А. 2020. Цифровая экономика – промежуточные итоги и дальнейшие перспективы. *Цифровая экономика и финансы*: 40–43.
- Леднева О.В., Сидорова О.Е. 2025. Анализ результатов выполнения национального проекта «цифровая экономика» в Российской Федерации. *Информатизация в цифровой экономике*, 6(2): 197–214. DOI 10.18334/ide.6.2.123311.
- Макагонов С.Н. 2023. Национальные проекты и их реализация на региональном уровне. *Естественно-гуманитарные исследования*, 6(50): 304–307.
- Палагин Н.В., Носков В.А. 2019. Обзор национального проекта «Цифровая экономика»: цели и задачи. *Проблемы развития предприятий: теория и практика*, 1(1): 182–184.
- Черняков В. М. 2022. Проблемы оценки эффективности реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации». *Оценка программ и политик в условиях нового государственного управления*: 181–186.
- Bakharev R. 2020. Digitalization and development of the digital economy in Russia. *Актуальные вопросы России и мира*: 36–39.
- Vershitsky A., Samokhina A., Pereladov A. 2024. Analysis of Digital Transformation Programs in Regional and Municipal Economic Systems of the Russian Federation. II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023): Conference Proceedings, Porto, Portugal: 2260–2271.

References

- Beloshapkina P.A., Kosinova N.N., Kutovaya V.A. 2025. Analiz sovremennogo sostoyaniya cifrovizacii zdavoohraneniya Volgogradskoj oblasti [Analysis of the current state of healthcare digitalization in the Volgograd Region]. *Aktual'nye problemy social'no-ekonomicheskogo razvitiya sovremennogo obshchestva* [Current Issues in the Socioeconomic Development of Modern Society]: 494–498.
- Varnavskij N.S., Yudnikov V.V. 2021. Nacional'naya programma "Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii": predvaritel'nye itogi [National Program "Digital Economy of the Russian Federation": preliminary results]. *Aktual'nye problemy yurisprudencii* [Actual problems of jurisprudence], 12(52): 99–102.
- Voynov N.D. 2023. Analiz mer podderzhki otrasli informacionnyh tekhnologij, realizuemyh v Volgogradskoj oblasti v usloviyah sankcionnogo davleniya so storony inostrannyh gosudarstv [Analysis of measures to support the information technology industry in the Volgograd Region under the conditions of sanctions imposed by foreign countries]. XXVII Regional'naya konferenciya molodyh uchenyh i issledovatelej Volgogradskoj oblasti: Tezisy dokladov [XXVII Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd Region: Abstracts of Papers]: 213–217.
- Voynov N.D. 2024. Rejtingovye tekhnologii v analize rezul'tatov razvitiya cifrovoj transformacii v regionah RF i Volgogradskoj oblasti [Rating technologies in the analysis of the results of digital transformation development in the Russian Federation and the Volgograd Region]. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii* [Competitiveness in the Global World: Economics, Science, and Technology], 2: 25–28.
- Kookueva V.V. 2020 Problemy realizacii i finansovogo obespecheniya nacional'noj programmy "Cifrovaya ekonomika RF" v innovacionnom razvitii [Problems of implementation and financial support of the



- national program "Digital Economy of the Russian Federation" in innovative development]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National interests: priorities and security], 16, 6(387): 1029–1049. DOI 10.24891/ni.16.6.1029.
- Kravchenko L.A., Pankov D.A. 2020. Cifrovaya ekonomika - promezhutochnye itogi i dal'nejshie perspektivy [Digital Economy: Intermediate Results and Future Prospects]. *Cifrovaya ekonomika i finansy* [Digital economy and finance]: 40–43.
- Ledneva O.V., Sidorova O.E. 2025. Analiz rezul'tatov vypolneniya nacional'nogo proekta «cifrovaya ekonomika» v Rossijskoj Federacii [Analysis of the results of the Digital Economy national project implementation in the Russian Federation]. *Informatizaciya v cifrovoj ekonomike* [Informatization in the digital economy], 6(2): 197–214. DOI 10.18334/ide.6.2.123311.
- Makagonov S.N. 2023. Nacional'nye proekty i ih realizaciya na regional'nom urovne [National projects and their implementation at the regional level]. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya* [Natural Sciences and humanities research], 6(50): 304–307.
- Palagin N.V., Noskov V.A. 2019. Obzor nacional'nogo proekta "Cifrovaya ekonomika": celi i zadachi [Overview of the Digital Economy National Project: Goals and Objectives]. *Problemy razvitiya predpriyatij: teoriya i praktika* [Problems of enterprise development: theory and practice], 1(1): 182–184.
- Chernyakov V.M. 2022. Problemy ocenki effektivnosti realizacii nacional'nogo proekta "Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii" [Problems with Assessing the Effectiveness of the Digital Economy National Project in the Russian Federation]. *Ocenka programm i politik v usloviyah novogo gosudarstvennogo upravleniya* [Evaluation of programs and policies in the context of new public administration]: 181–186.
- Bakharev R. 2020. Digitalization and development of the digital economy in Russia. *Aktual'nye voprosy Rossii i mira* [Current issues of Russia and the world]: 36–39.
- Vershitsky A., Samokhina A., Pereladov A. 2024. Analysis of Digital Transformation Programs in Regional and Municipal Economic Systems of the Russian Federation. II International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2023): Conference Proceedings, Porto, Portugal: 2260–2271.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 06.05.2025

Поступила после рецензирования 02.09.2025

Принята к публикации 03.10.2025

Received May 06, 2025

Revised September 02, 2025

Accepted October 03, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петрова Елена Александровна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики и математических методов в экономике, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

Войнов Никита Дмитриевич, аспирант кафедры прикладной информатики и математических методов в экономике, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Petrova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics, Volgograd State University, Volgograd, Russia

Nikita D. Voynov, Postgraduate Student of the Department of Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics, Volgograd State University, Volgograd, Russia

УДК 332.146
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-761-772
EDN CGHCGC

Методика оценки и взаимосвязи основных показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов

Селезнев П.С., Вуйменков С.А., Богатырева М.И., Алексеенко Д.А.

Финансовый университет при Правительстве РФ
Россия, 125167, г. Москва, пр-т Ленинградский, д. 49/2
PSeleznev@fa.ru, s.9999@mail.ru, mibogatyreva@fa.ru, daalekseenko@fa.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке методики, необходимой для мониторинга хода и результативности реализации планов стратегий развития малых городов в условиях острой необходимости преодоления их социально-экономического отставания от среднего уровня. С помощью методов научной абстракции, операционализации, композиционного анализа сформирована система показателей оценки целевого и инерционного сценариев развития малых городов и определены их связи друг с другом. Предлагаемая комплексная многокритериальная методика увязывает проблемы развития малых городов с метриками достижения плановых сценариев в рамках территориальных стратегий, предусматривает получение и обработку эмпирического материала о параметрах муниципальной социально-экономической системы, явлений, тенденций изменений. Интерпретация результатов оценки локализует и синхронизирует значения основных показателей сценариев развития малых городов, которые подлежат соотношению с пороговыми (критериальными) уровнями.

Ключевые слова: развитие малых городов, оценка развития, сценарий развития, показатели оценки развития городов, методика оценки развития городов, малые города

Благодарности: статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансовому университету при Правительстве РФ.

Для цитирования: Селезнев П.С., Вуйменков С.А., Богатырева М.И., Алексеенко Д.А. 2025. Методика оценки и взаимосвязи основных показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов. *Экономика. Информатика*, 52(4): 761–772. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-761-772; EDN CGHCGC

Methodology for Assessing and Interrelating the Main Indicators of Target and Inertial Scenarios for the Development of Towns

Pavel S. Seleznev, Semyon A. Vuimenkov, Madinat I. Bogatyreva, Danil A. Alekseenko

Financial University under the Government of the Russian Federation
49/2 Leningradsky Ave., Moscow 125167, Russia
PSeleznev@fa.ru, s.9999@mail.ru, mibogatyreva@fa.ru, daalekseenko@fa.ru

Abstract. The article is devoted to the development of the methodology necessary for monitoring the progress and effectiveness of the implementation of plans for town development strategies in the context of the urgent need to overcome their socio-economic lag behind the average level. Using the methods of scientific abstraction, operationalization, and compositional analysis, we have formed a system of indicators for assessing the target and inertial scenarios for the development of towns and determined their relationships with each other. The proposed comprehensive multi-criteria methodology links the problems of town development to the metrics of achieving planned scenarios within the framework of territorial strategies and provides for obtaining and processing empirical material on the parameters of the municipal socio-economic system, phenomena, and the change trends. Interpretation of the assessment results localizes and synchronizes the values of the main indicators of small town development scenarios, which are subject to correlation with threshold (criteria) levels.

Keywords: development of towns, development assessment, development scenario, indicators for assessing town development, methodology for assessing town development, towns

Acknowledgements: the article is based on the results of research carried out at the expense of budget funds under the state assignment to the Financial University under the Government of the Russian Federation.

For citation: Seleznev P.S., Vuimenkov S.A., Bogatyreva M.I., Alekseenko D.A. 2025. Methodology for Assessing and Interrelating the Main Indicators of Target and Inertial Scenarios for the Development of Towns. *Economics. Information technologies*, 52(4): 761–772 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-761-772; EDN CGHCGC

Введение

По мнению многих представителей экспертно-аналитического сообщества, малые города весьма важны для позитивного экономического развития страны, они выступают ключевым элементом пространственной структуры; поставщиками услуг, занятости, жилья и т. д.; способны стать новыми платформами стимулирования промышленной трансформации и модернизации; являются первоочередными объектами стратегирования [Оборин, Митрофанова, 2023; Смолева, Косыгина, 2024].

В условиях необходимости поддержания конкурентоспособных темпов инновационной активности и технологической трансформации отраслей требуется активизация резервов и решение проблем социально-экономического развития малых городов, а также разработка и обоснование сценариев их будущих преобразований.

Планирование городского развития является процессом разработки долгосрочной политики в отношении будущего города, учитывающей технические, политические, социальные и экологические аспекты [Смолева, 2023]. Необходимость учета вышеупомянутых аспектов привела к более широкому использованию многокритериальных подходов. Одной из самых распространенных проблем градостроительного планирования является проектирование сценариев и контроль итогов реализации соответствующих проектов [Nikoloudis, Aravossis, Strantzali, Chrysanthopoulos, 2020].

Управляемое развитие небольших населенных пунктов подлежит анализу результатов трансформации, что, в свою очередь, требует оценки показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов. Сценарное проектирование как высокопотенциальный элемент стратегического планирования и развития будет эффективным только в случае использования рациональной методики контроля достижения запланированных параметров [Parvathy, Manonmani, 2025]. Следовательно, необходимость ускорения темпов развития малых городов России повышает востребованность проведения мониторинга эффективности соответствующих корректирующих и поддерживающих мер, что актуализирует научную проблему формирования методики оценки показателей происходящих преобразований с учетом рисков и альтернативных сценариев.

Несмотря на значительное количество показателей и подходов оценки развития малых городов, методика измерения и контроля метрик степени выполнения сценариев в рамках модернизационной политики не нашла достаточного отражения в прикладных и фундаментальных исследованиях. Данный факт предопределил цель, задачи и предметную область работы.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступили малые города России как перспективные территории и источники экономического роста.

Научная абстракция применена для выбора показателей методики измерения степени достижения запланированных целей и эффективности управленческих решений в рамках трансформации городских систем.

Подход операционализации позволил осуществить перевод теоретических ориентиров городского развития в измеримые переменные для включения их в методику.

Методом композиционного анализа сформирована система показателей оценки целевого и инерционного сценариев развития малых городов и определены их связи друг с другом.

Результаты и их обсуждение

Развитие территориальных образований с численностью населения до 50 тыс. жителей происходит в соответствии с городскими концепциями, местными особенностями. Малые города часто обладают уникальным природным наследием, этническими культурами и местными промыслами, демонстрируя значительный потенциал в сохранении местного характера и самобытности [Гао, Тургель, 2025]. Эти особенности, национальные цели и приоритеты пространственного развития могут составить базу для определения стратегических ориентиров развития небольших населенных пунктов, лечь в основу управляемых преобразований.

Одним их наиболее действенных и распространенных инструментов политики муниципального планирования и комплексного развития является сценарирование изменений малых городов [Petrov, Shahumyan, Williams, Convery, 2011]. Основная причина этого заключается в том, что будущее непредсказуемо, а сценарии позволяют заинтересованным сторонам оценить всю сложность ситуации, достичь консенсуса между ключевыми местными задачами [Mahmud, 2011].

Метод сценарного планирования является инструментом прогнозирования и описания альтернативного будущего городов, важным элементом стратегий развития.

Сценарии развития небольших территориальных образований разрабатываются для решения основных экономических, социальных, управленческих, промышленных, политических, пространственных, экологических, инновационно-технологических проблем для достижения высокого качества положения и сбалансированности муниципальной системы.

Сценарии развития малых городов являются описанием будущего результата состояния муниципального комплекса по итогам реализации трансформационных и преобразующих стратегий на основе драйверов роста и инновационно-технологических приоритетов.

Сценарии городского будущего представляют собой попытки предположить и проинформировать заинтересованных лиц об альтернативных вариантах физико-пространственного развития [Khakee, 1991].

Риски и неопределенность среды могут послужить преградой для полноценной реализации намеченных стратегических планов развития малых городов, поэтому в них предусматриваются не только целевой (оптимальный, благоприятный), но и инерционный (замедленный) сценарии. Другими словами, целевой и инерционный сценарии являются формулировками предпочтительного видения будущего населенных пунктов после реализации ряда корректирующих и развивающих управленческих мер с учетом текущих трендов и факторов неопределенности. Такое видение для малых городов России заключается в высочайшем уровне их социально-экономического и инновационно-технологического развития.

Сценарии развития территориальных образований аккумулируют в себе приоритеты, направления, мероприятия и меры управленческого воздействия, которые требуют аналитической оценки с позиции достигнутых результатов.

Ученые, исследователи и специалисты по городскому планированию единодушны в отношении высокой значимости показателей мониторинга улучшений и оценки прогресса в достижении поставленных целей и реализации политики, поскольку индикаторы развития отражают ключевые тенденции территориальной социально-экономической системы [Калюгина, Мухорьянова, Фурсов, 2024; Никоноров, Кривичев, Насонов, Цветков, 2024; Munier, 2011].

По нашему мнению, методика оценки целевого и инерционного сценариев развития малых городов может составлять 25 основных показателей, взаимосвязь между которыми обусловлена их способностью отражать степень решения экономических, социальных, управленческих, промышленных, политических, пространственных, экологических, инновационно-технологических проблем.

Параметры методики оценки и взаимосвязи основных показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов представлены в табл. 1.

Таблица 1
 Table 1

Параметры методики оценки и взаимосвязи основных показателей
 целевого и инерционного сценариев развития малых городов
 Parameters of the methodology for assessing and interrelating the main indicators
 of the target and inertial scenarios for the development of towns

Группа проблем	Проблемы	Решения	Показатели оценки результативности решения проблем
1	2	3	4
Экономические	Отсутствие или низкие темпы экономического роста	Стимулирование собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами	Э1. Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами
	Затрудненный доступ к инвестиционным ресурсам, низкий уровень инвестиционной активности	Повышение инвестиционной привлекательности и активности	Э2. Объем инвестиций (в основной капитал) за счет всех источников финансирования
	Отставание по уровню доходов населения (низкая заработная плата)	Стимулирование роста доходов населения	Э3. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций
	Риск снижения продовольственной безопасности	Обеспечение населения сельскохозяйственной продукцией	Э4. Объем производства сельского хозяйства
	Отстающая инфраструктура, слабая промышленная база	Строительство новых объектов	Э5. Объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство»
	Недостаточный уровень развития предпринимательского сектора	Меры поддержки малого и среднего предпринимательства	Э6. Оборот малых и средних предприятий
Социальные	Сложная демографическая ситуация (отток населения, высокая естественная убыль, низкая рождаемость)	Стабилизация и повышение численности населения	С1. Среднегодовая численность населения
		Повышение рождаемости и миграционного притока	С2. Коэффициент рождаемости
			С3. Миграционный прирост
Управленческие	Низкая бюджетная обеспеченность	Стимулирование роста доходов бюджета, повышение бюджетной обеспеченности	У1. Собственные доходы бюджета города
			У2. Расходы бюджета города
			У3. Бюджетная обеспеченность населения средствами местного бюджета (по расходам), тыс. рублей / чел.

Окончание табл. 1
End of Table 1

1	2	3	4
Промышленные	Недостаточная эффективность деятельности промышленных предприятий	Совершенствование технологий, повышение квалификации сотрудников	Пром1. Производительность труда
	Высокий износ промышленного оборудования	Обновление оборудования и технологических линий	Пром2. Уровень износа производственного оборудования
	Нехватка квалифицированных кадров	Привлечение и подготовка кадров	Пром3. Среднесписочная численность работников организаций
Политические	Неэффективность приоритетов при реализации политических решений, отсутствие учета интересов всех сторон местного сообщества при реализации политики	Повышение качества и эффективности политических решений	П1. Рациональность выбора приоритетов развития малого города
		Отсутствие бренда города	П2. Наличие бренда города
Пространственно-инфраструктурные	Снижение плотности населения	Меры демографической политики	Пр1. Плотность населения
	Недостаточная обеспеченность населения жильем, проблемы развития городской среды (недостаточное благоустройство жилищного сектора, публичных пространств и др.)	Строительство современного жилья, благоустройство территории	Пр2. Ввод в эксплуатацию жилых домов
	Нехватка и высокий износ инженерной инфраструктуры	Обновление и сооружение инженерной инфраструктуры	Пр3. Уровень газификации Пр4. Уровень износа объектов коммунальной инфраструктуры
Экологические	Загрязнение воздуха, почвы, воды от деятельности промышленных объектов	Стимулирование сокращения выбросов в окружающую среду	Эк1. Индекс загрязнения воздуха
			Эк2. Индекс загрязнения воды
Инновационно-технологические	Незначительная доля инновационной продукции в производимых товарах местными предприятиями. Низкий уровень инновационной активности предпринимателей и расходов на НИОКР	Повышение инновационной активности предпринимателей и расходов на НИОКР	ИТ1. Уровень инновационной активности предпринимателей
			ИТ2. Расходы на НИОКР

Составлено авторами

Исходя из выявленного комплекса проблем, требующих решения для преодоления социально-экономического и научно-технологического отставания малых городов от более крупных и развитых населенных пунктов, сформирован комплекс показателей оценки результативности плановых сценариев в рамках территориальных стратегий. Предложенные индикаторы составляют многокритериальную методику познания для целостного представления и фиксации фактов о происходящих управляемых изменениях в населенных пунктах.

Показатели методики оценки целевого и инерционного сценариев развития малых городов позволяют комплексно характеризовать финансовые результаты, производственный комплекс, уровень доходов, социальную стабильность, продовольственную безопасность, экономическую эффективность, ресурсобеспеченность, качество жизни и окружающей среды, годность инфраструктуры, инвестиционную и инновационную активность и учитывать их индивидуальности.

Использование методического подхода предполагает интерпретацию значений основных показателей малых городов для характеристики степени достижения плановых метрик целевого и инерционного сценариев развития. Соответствующие критерии представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Критерии для интерпретации результатов оценки основных показателей
целевого и инерционного сценариев развития малых городов
Criteria for interpreting the results of assessing the main indicators
of the target and inertial scenarios for the development of towns

Показатели оценки	Ед. измерения	Критерии достижения сценарных метрик	
		целевого сценария	инерционного сценария
1	2	3	4
Экономические			
Э1. Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 115 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %
Э2. Объем инвестиций (в основной капитал) за счет всех источников финансирования	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 105 %
Э3. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций	руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее темпа инфляции, увеличенного на 5 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее темпа инфляции
Э4. Объем производства сельского хозяйства	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 108 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 105 %
Э5. Объем работ, выполненных по виду деятельности «Строительство»	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 101 %
Э6. Оборот малых и средних предприятий	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %

Продолжение табл. 2
Continuation of Table 2

1	2	3	4
Социальные			
С1. Среднегодовая численность населения	чел.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 102 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %
С2. Коэффициент рождаемости	родившихся на 1000 чел. населения	1,6	1,5
С3. Миграционный прирост	чел.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 101 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %
Управленческие			
У1. Собственные доходы бюджета города	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 107 %
У2. Расходы бюджета города	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %
У3. Бюджетная обеспеченность населения средствами местного бюджета (по расходам), тыс. рублей /чел.	млн руб./чел.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 105 %
Промышленные			
Пром1. Производительность труда	млн руб./чел.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 115 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 108 %
Пром2. Уровень износа производственного оборудования	%	Индекс показателя к предыдущему году составляет не более 80 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не более 100 %
Пром3. Среднесписочная численность работников организаций	чел.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 104 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %
Политические			
П1. Рациональность выбора приоритетов развития малого города	экспертная оценка	высокая рациональность	средняя рациональность
П2. Наличие бренда города	экспертная оценка	узнаваемый бренд города	неявный собственный бренд города
Пространственные			
Пр1. Плотность населения	чел. / км2	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 101 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %

Окончание табл. 2
End of Table 2

1	2	3	4
Пр2. Ввод в эксплуатацию жилых домов	%	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 107 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %
Пр3. Уровень газификации	%	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 108 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 100 %
Пр4. Уровень износа объектов коммунальной инфраструктуры	%	Индекс показателя к предыдущему году составляет не более 80 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не более 100 %
Экологические			
Эк1. Индекс загрязнения воздуха	кол-во загрязняющего вещества	Хороший уровень	Умеренный уровень
Эк2. Индекс загрязнения воды	кол-во загрязняющего вещества в единице объема воды	Хороший уровень	Умеренный уровень
Инновационно-технологические			
ИТ1. Уровень инновационной активности предпринимателей	%	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 110 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 105 %
ИТ2. Расходы на НИОКР	млн руб.	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 115 %	Индекс показателя к предыдущему году составляет не менее 108 %

Составлено авторами

Предложенные критерии позволяют в процессе процедурных действий контролировать результативность направлений, задач и мероприятий стратегии развития с идентификацией соответствия одному из двух сценариев. Следовательно, интерпретация результатов оценки локализирует и синхронизирует значения основных показателей сценариев развития малых городов, которые подлежат соотношению с пороговыми (критериальными) уровнями.

Таким образом, методика оценки основных показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов предусматривает получение и обработку эмпирического материала о параметрах муниципальной социально-экономической системы, явлений, тенденций изменений. Она может стать техническим инструментом управления комплексным социально-экономическим и пространственным развитием населенных пунктов в цифровой платформе, формируемой в рамках Стратегии пространственного развития РФ до 2030 года с прогнозом до 2036 года.

Апробация предложенного алгоритма оценивания основных показателей целевого и инерционного сценариев развития малых городов на основе метрик реализуемых в 2019–2023 гг. стратегий социально-экономической трансформации позволила выявить тенденции изменений и степень достижения намеченных результатов (табл. 3).

В 29 малых населенных пунктах ЦФО в 2019–2023 гг. были достигнуты значения целевых сценариев стратегий развития, что означает высокую степень результативности

реализуемых мер и прогресс социально-экономического развития территориальных образований. Выполнение параметров инерционного сценария и сохранение тенденций предыдущих периодов зафиксировано в 114 малых городах ЦФО. Отсутствие положительных результатов от мер стратегического планирования выявлено в 20 малых городах ЦФО, что свидетельствует об ухудшении положения данных пространств.

Таблица 3
Table 3

Кластеризация малых городов ЦФО по критерию достижения
основных показателей целевого и инерционного сценариев развития в период 2019–2023 гг.
Clustering of towns within the Central Federal District based on the criterion of achieving
the main indicators of the target and inertial development scenarios in the period 2019–2023

Соответствие сценарию развития	Значения критериев достижения сценарных метрик	Малые города ЦФО
Достигнуты значения целевого сценария	Большая часть значений критериев достижения соответствует целевому сценарию	Волгореченск, Гаврилов Посад, Ефремов, Задонск, Калязин, Касимов, Кашира, Киреевск, Козельск, Кораблино, Котовск, Кохма, Малоярославец, Можайск, Мосальск, Нововоронеж, Павловск, Почеп, Рассказово, Руза, Солнечногорск, Спас-Деменск, Сураж, Сухиничи, Таруса, Углич, Унеча, Шатура
Достигнуты значения инерционного сценария	Большая часть значений критериев достижения соответствует инерционному сценарию	Алексеевка, Бежецк, Белый, Бобров, Богучар, Бологое, Болхов, Боровск, Бутурлиновка, Валуйки, Волоколамск, Вышний Волочек, Вязники, Гаврилов-Ям, Гагарин, Галич, Гороховец, Гусь-Хрустальный, Данилов, Демидов, Десногорск, Дмитровск, Дорогобуж, Духовщина, Дятьково, Ельня, Жердевка, Жуков, Жуковка, Заволжск, Западная Двина, Зарайск, Калач, Карачев, Кимры, Киржач, Киров, Кирсанов, Кольчугино, Комсомольск, Конаково, Короча, Краснознаменск, Красный Холм, Кувшиново, Курчатов, Ливны, Лихославль, Луховицы, Макарьев, Малоархангельск, Мантурово, Мглин, Медынь, Меленки, Мещовск, Михайлов, Моршанск, Мценск, Мышкин, Нелидово, Нерехта, Нея, Новозыбков, Новосиль, Новохопёрск, Новый Оскол, Обоянь, Острогожск, Переславль-Залесский, Поворино, Пошехонье, Приволжск, Пучеж, Радужный, Родники, Ростов, Рудня, Рыбное, Рыльск, Ряжск, Сасово, Сафоново, Скопин, Солигалич, Спас-Клепики, Спасск-Рязанский, Старица, Стародуб, Строитель, Суздаль, Сычёвка, Талдом, Тейково, Торжок, Торопец, Трубчевск, Тутаев, Уварово, Удомля, Узловая, Усмань, Фатеж, Фурманов, Чаплыгин, Черноголовка, Чухлома, Шацк, Щигры, Юрьев-Польский, Южа, Юрьеvec, Юхнов, Ярцево
Не достигнуты значения сценариев	Большая часть значений критериев не соответствует сценариям	Андреаполь, Грайворон, Грязи, Вичуга, Данков, Дмитриев, Злынский, Зубцов, Камешково, Кашин, Кологрив, Лыгов, Осташков, Севск, Суджа, Починок, Рославль, Родники, Шебекино, Эртиль

Заключение

В настоящее время значительные усилия прилагаются к выбору траекторий развития и разработке инструментария преодоления социально-экономического отставания малых городов. Стратегические направления их преобразования определяют параметры, условия и предпосылки их развития до уровня, достигнутого в других территориальных образованиях. При этом особое значение имеют количественные характеристики конкретных сценариев как образов будущих состояний населенных пунктов.

Стратегическое видение социально-экономического развития малых городов России может формироваться с учетом национальных целей и приоритетов, отечественных и мировых трендов уровня и качества жизни, ресурсных и конкурентных возможностей.

Применение сценарного подхода в рамках реализации процесса принятия решений признано полезным инструментом для решения сложных задач проектирования траекторий и выбора вариантов городского развития.

Для измерения степени достижения намеченных целей и ориентиров развития предложена методика, включающая двадцать пять показателей, призванных оценить эффективность управленческих решений экономических, социальных, управленческих, промышленных, политических, пространственных, экологических, инновационно-технологических проблем. Архитектура комплекса показателей оценки соответствует систематической структуре и обеспечивает целостность измерительных процедур и результата с точки зрения определения степени достижения параметров целевого или инерционного сценариев. Применение методики как измерительной оценочной системы позволило выявить уровень достижения сценарных метрик и сгруппировать малые города Центрального федерального округа в три блока.

Методика может быть применена для обоснования мероприятий по совершенствованию системы управления пространственным развитием, а также как оценочный инструмент цифровой платформы пространственного развития.

Список литературы

- Гао Т., Тургель И.Д. 2025. Проекты государственно-частного партнерства как инструмент развития старопромышленных регионов: опыт провинций Северо-Восточного Китая. *Экономика, предпринимательство и право*, 15 (3): 2207–2224. DOI: 10.18334/epp.15.3.122632.
- Калюгина С.Н., Мухорьянова О.А., Фурсов В.А. 2024. Оценка асимметрии социально-экономического развития муниципальных образований на региональном уровне. *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика*, 26 (1): 31–44. DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2024.1.3.
- Никоноров С.М., Кривичев А.И., Насонов А.Н., Цветков И.В. 2024. Методика оценки и ранжирования социально-экономического развития моногородов на основе многофакторного анализа фрактальных показателей. *Регионоведение*, 32-2(127): 326–344. DOI: 10.15507/2413-1407.127.032.202402.326-344.
- Оборин М.С., Митрофанова И.В. 2023. Особенности применения инструментов развития депрессивных регионов. *Региональная экономика. Юг России*, 11(3): 106–115. DOI: 10.15688/re.volsu.2023.3.11.
- Смолева Е.О., Косыгина К.Е. 2024. Развитие малых городов: от индивидуальных траекторий к стратегическому планированию. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*, 17(5): 169–183. DOI: 10.15838/esc.2024.5.95.9.
- Смолева Е.О. 2023. Социальные противоречия малых территорий Вологодской области: методика оценки. *Society and Security Insights*, 6(4): 91–107. DOI: 10.14258/SSI(2023)4-06.
- Khakee A. 1991. Scenario construction for urban planning. *Omega*, 19(5): 459–469.
- Mahmud J. 2011. City foresight and development planning case study: Implementation of scenario planning in formulation of the Bulungan development plan. *Futures*, 43(7): 697–706. DOI: 10.1016/j.futures.2011.05.011
- Munier N. 2011. Methodology to select a set of urban sustainability indicators to measure the state of the city, and performance assessment. *Ecological Indicators*, 11(5): 1020–1026.

- Nikoloudis C., Aravossis K., Strantzali E., Chrysanthopoulos N. 2020. A novel multicriteria methodology for evaluating urban development proposals. *Journal of Cleaner Production*, 263: 120796. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120796.
- Parvathy M.R., Manonmani I.K. 2025. Assessing Urban Liveability: A Case Study of Madurai City Using the Indian Liveability Index. *GeoJournal*, 90(46). DOI: 10.1007/s10708-025-11286-9
- Petrov L.O., Shahumyan H., Williams B., Convery S. 2011. Scenarios and Indicators Supporting Urban Regional Planning. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 21: 243–252. DOI: 10.1016/j.sbspro.2011.07.012.

References

- Gao T., Turgel I.D. 2025. Public-Private Partnership Projects as a Tool for the Development of Old Industrial Regions: The Experience of the Provinces of Northeast China. *Economics, Entrepreneurship, and Law*, 15(3): 2207–2224 (in Russian). DOI: 10.18334/epp.15.3.122632.
- Kalyugina S.N., Mukhoryanova O.A., Fursov V.A. 2024. Assessment of the Asymmetry of Social and Economic Development of Municipalities at the Regional Level. *Bulletin of Volgograd State University. Economics*, 26(1): 31–44 (in Russian). DOI: 10.15688/ek.jvolsu.2024.1.3.
- Oborin M.S., Mitrofanova I.V. 2023. Features of Applying Development Tools in Depressed Regions. *Regional Economics. South of Russia*, 11(3): 106–115 (in Russian). DOI: 10.15688/re.volsu.2023.3.11.
- Smoleva E.O., Kosygina K.E. 2024. Development of Small Cities: From Individual Trajectories to Strategic Planning. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 17(5): 169–183 (in Russian). DOI: 10.15838/esc.2024.5.95.9.
- Smoleva E.O. 2023. Social Contradictions in Small Territories of the Vologda Region: Assessment Methodology. *Society and Security Insights*, 6(4): 91–107 (in Russian). DOI: 10.14258/SSI(2023)4-06.
- Khakee A. 1991. Scenario construction for urban planning. *Omega*, 19(5): 459–469.
- Mahmud J. 2011. City foresight and development planning case study: Implementation of scenario planning in formulation of the Bulungan development plan. *Futures*, 43(7): 697–706. DOI: 10.1016/j.futures.2011.05.011
- Munier N. 2011. Methodology to select a set of urban sustainability indicators to measure the state of the city, and performance assessment. *Ecological Indicators*, 11(5): 1020–1026.
- Nikoloudis C., Aravossis K., Strantzali E., Chrysanthopoulos N. 2020. A novel multicriteria methodology for evaluating urban development proposals. *Journal of Cleaner Production*, 263: 120796. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120796.
- Parvathy M.R., Manonmani I.K. 2025. Assessing Urban Liveability: A Case Study of Madurai City Using the Indian Liveability Index. *GeoJournal*, 90(46). DOI: 10.1007/s10708-025-11286-9
- Petrov L.O., Shahumyan H., Williams B., Convery S. 2011. Scenarios and Indicators Supporting Urban Regional Planning. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 21: 243–252. DOI: 10.1016/j.sbspro.2011.07.012.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 03.09.2025

Поступила после рецензирования 02.10.2025

Принята к публикации 24.11.2025

Received September 03, 2025

Revised October 02, 2025

Accepted November 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Селезнев Павел Сергеевич, доктор политических наук, доцент, декан факультета международных экономических отношений, профессор департамента политологии факультета социальных наук и массовых коммуникаций, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavel S. Seleznev, Doctor of Political Science, Associate Professor, Dean of the Faculty of International Economic Relations, Professor of the Department of Political Science, Faculty of Social Sciences and Mass Communications, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia



Вуйменков Семен Алексеевич, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник Института глобальных исследований факультета международных экономических отношений, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

Semyon A. Vuimenkov, Candidate of Economic Sciences, Leading researcher at the Institute of Global Studies, Faculty of International Economic Relations, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Богатырева Мадина Исмаевна, младший научный сотрудник Института глобальных исследований факультета международных экономических отношений, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

Madinat I. Bogatyreva, Junior Research Assistant at the Institute of Global Studies, Faculty of International Economic Relations, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Алексеев Данил Алексеевич, стажер-исследователь Института глобальных исследований факультета международных экономических отношений, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

Danil A. Alekseenko, Research Intern at the Institute of Global Studies, Faculty of International Economic Relations, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 332.05

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-773-784

EDN CYOSFL

Экосистемный подход в условиях цифровизации: роль государства и пространственные диспропорции

Матвеев В.В., Богачёв Е.А.

Удмуртский филиал Института экономики УрО РАН
Россия, 4260004 г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4
matveev.vv@uiec.ru, vilizari@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы формирования и развития региональных экосистем в условиях цифровизации. Отмечается, что в условиях сложной социально-экономической и политической ситуации, в которой оказалась Россия, особую значимость приобретает проблема обеспечения конкурентоспособности национальной экономики и экономики регионов. Одним из возможных вариантов решения этой трудной задачи является развитие региональных экосистем, что, в свою очередь, предполагает активное использование цифровых технологий. Возникновение и развитие цифровой экономики привело к принципиальным изменениям в способах ведения бизнеса и организации повседневной жизни населения. Одна из главных проблем в управлении социально-экономическими системами заключается в больших трудностях точного прогнозирования возможных трендов развития ситуации. Региональные социально-экономические системы изменяются намного быстрее, чем могут быть заново смоделированы и просчитаны прогнозные модели развития ситуации. Важнейшим фактором развития инновационных экосистем на мезоуровне является эффективное взаимодействие всех акторов данных процессов: бизнес, вузы, научно-исследовательские организации, органы управления. В силу многих причин в России процессы экономического и технологического развития в значительной степени определяются участием в них государства, которое зачастую выступало не только в качестве координатора, но и организатора данных процессов. Это вынуждает российское государство регулировать процесс цифрового развития экосистем еще в течение достаточно длительного периода времени.

Ключевые слова: четвертая промышленная революция, цифровизация, экосистема, инновации, технология, мезоэкономика, конкуренция, бизнес

Для цитирования: Матвеев В.В., Богачёв Е.А. 2025. Экосистемный подход в условиях цифровизации: роль государства и пространственные диспропорции. *Экономика. Информатика*, 52(4): 773–784. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-773-784; EDN CYOSFL

The Ecosystem Approach in the Context of Digitalization: The Role of the State and Spatial Disproportions

Vladimir V. Matveev, Egor A. Bogachev

Udmurt branch of the Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
4 Lomonosov St., Izhevsk 426004, Russia
matveev.vv@uiec.ru, vilizari@mail.ru

Abstract. The article considers the problems of formation and development of regional ecosystems in terms of digitalization. It is noted that in the context of the complex socio-economic and political situation Russia faces today, the problem of ensuring the competitiveness of the national economy and the economies of the

© Матвеев В.В., Богачёв Е.А., 2025

regions is of particular importance. One of the possible solutions to this difficult task is the development of regional ecosystems, which, in turn, involves an active use of digital technologies. The emergence and development of the digital economy has led to fundamental changes in the ways of doing business and organizing the daily life of the population. One of the main problems in the management of socio-ecological systems is the difficulty of accurately predicting possible trends in the development of the situation. Regional economic systems are changing much faster than models for predicting the situation development can be re-modeled and calculated. The most important factor in the development of innovative ecosystems at the meso level is the effective interaction of all actors in these processes: business, universities, research organizations, governing bodies. For many reasons, the processes of economic and technological development in Russia are largely determined by the participation of the state, which often acted not only as a coordinator, but also as an organizer of these processes. This forces the Russian state to regulate the process of digital development of ecosystems for a fairly long period of time.

Keywords: fourth industrial revolution, digitalization, ecosystem, innovation, technology, mesoeconomics, competition, business

For citation: Matveev V. V., Bogachev E. A. 2025. The Ecosystem Approach in the Context of Digitalization: The Role of the State and Spatial Disproportions. *Economics. Information technologies*, 52(4): 773–784 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-773-784; EDN CYOSFL

Введение

Современное состояние экономики России является достаточно сложным, что требует принятия и реализации комплекса стратегических решений, конечная цель которых – создание современной конкурентоспособной национальной экономики.

Накопившиеся проблемы оказывают сильное негативное влияние на обеспечение устойчивого экономического роста, от которого напрямую зависит эффективное решение проблемы улучшения качественных и количественных показателей жизни населения.

Одним из важнейших факторов решения данных проблем является цифровизация экономики, которая в современных условиях выступает в качестве базиса для обеспечения качественных изменений в национальной экономике.

К. Шваб определяет современный этап экономического развития как четвертую промышленную революцию, которая предполагает сквозную цифровую трансформацию активов предприятий и их объединение в рамках единой экосистемы [Шваб, 2016].

В.А. Лаптев определяет экосистему цифровой экономики как: «систему (пространство) взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов среды, обеспечивающих на базе информационных технологий качественно новые способы и механизмы хозяйствования, включающие в себя электронное взаимодействие участников гражданского и торгового оборота, единое цифровое пространство, а также взаимопроникновение цифровой культуры, сознания и ценностей в современном цифровом обществе» [Лаптев, 2022].

Ознакомление с работами российских и зарубежных ученых-экономистов, изучающих вопросы формирования и развития цифровой экономики, свидетельствует, что данная проблема является одной из самых актуальных и дискуссионных на современном этапе.

Интернет кардинально изменил способ ведения бизнеса и повседневную жизнь, предоставив людям и фирмам беспрецедентные услуги и удобства. С. Ватанабэ и соавторы отмечают: «Резкое развитие Интернета привело к возникновению и развитию цифровой экономики, что привело к принципиальным изменениям в способах ведения бизнеса и повседневной жизни людей. Дальнейшее инновационное развитие цифровых технологий: облачные сервисы, мобильные сервисы, искусственный интеллект, спровоцировало усиление этих изменений» [Watanabe, Yu, Neittaanmäki, 2018, с. 2].

В то же время необходимо отметить тот факт, что общепринятой трактовки понятия «цифровая экономика» до сих пор не существует. Это можно объяснить тем, что в экономических исследованиях всегда имеют место жаркие дискуссии. Более того, наличие взаимоисключающих друг друга концепций в гуманитарных науках – это абсолютно заурядное явление.

Объекты и методы исследования

Цель статьи – это обоснование стратегической необходимости развития региональных экосистем России в условиях цифровизации, что необходимо для повышения конкурентоспособности национальной экономики в ситуации необходимости осуществления политики импортозамещения.

В качестве методологической базы данного исследования выступают теоретический, исторический и системный подходы. Для достижения целей исследования были использованы научные работы отечественных и зарубежных ученых, в которых рассматриваются причины появления и факторы развития региональных экосистем в условиях цифровизации.

Обзор источников и полученные результаты

С начала 1990-х гг. концепции устойчивого развития становятся всё более популярными и интегрируются в глобальные дискуссии об экономическом развитии. Необходимо отметить, что две эти концепции имеют множество различных толкований в науке и практической экономической политике. В рамках данной статьи устойчивость подразумевается как поддержание современного и эффективного варианта развития экосистемы, что, в конечном итоге, позволяет не только достичь желаемых результатов в форме развития национальной экономики и экономики ее регионов, но и позволит обеспечить положительную динамику показателей качества жизни населения.

Главная проблема в управлении социально-экономическими системами для достижения долгосрочных устойчивых результатов заключается в значительных трудностях прогнозирования. Общепринятые статистические методы не могут правильно оценить значение фактора неопределенности. Действительно, социально-экономические системы изменяются намного быстрее, чем могут быть заново созданы и просчитаны прогнозные модели развития ситуации. Особенно часто это случается в период бифуркации, когда резко возрастает потребность в достаточно точных прогнозах.

В настоящее время экосистемный подход в экономике тесно связан с цифровизацией.

Термин «экосистема» впервые был озвучен и использован социологом А. Хоули, который определил это понятие как систему взаимозависимостей в популяции, посредством которой она функционирует как единое целое и тем самым поддерживает жизнеспособные экологические отношения [Hawley, 1986].

Коллектив авторов из разных стран подчеркивают: «В самом абстрактном смысле экосистема – это биотическое сообщество, охватывающее свою физическую среду и все возможные взаимодействия в комплексе живых и неживых компонентов» [Acs, Stam, Audretsch, O'Connor, 2017, с. 1].

По отношению к экономике этот термин впервые использовал Дж.Ф. Мур, который отметил, что ошибочно рассматривать фирмы в качестве хозяйствующих субъектов, функционирующих только в одной отрасли. Эти фирмы являются членами бизнес-экосистемы, которая включает в свой состав хозяйствующие субъекты из различных отраслей. Бизнес-экосистемы, как и биологические экосистемы, могут развиваться, что очень важно для их участников по вопросам инноваций, сотрудничества и конкуренции [Moore, 1993]. С тех пор было выдвинуто множество определений экосистемы, которые характеризуются различными трактовками их качественных характеристик. Причем эти определения могут существенно отличаться друг от друга.

Концепция бизнес-экосистемы отличается от других теорий подобной тематики по следующим признакам:

- это единственный термин, применяемый для охвата как восходящей (производственная сторона), так и нисходящей (потребительская сторона) деятельности, что отражает первоначальное значение термина «экосистема»;

- она отличается от парадигм цепочки создания стоимости и цепочки поставок из-за своего нелинейного аспекта и включает как вертикальные, так и горизонтальные отношения между участниками;

– она отличается от ориентированных на создание стоимости систем своей ориентацией на создание ценности;

– фокусирует внимание на эволюции сетей взаимосвязанных субъектов.

Термин «инновационные экосистемы» получил широкое признание, когда речь идет об оценке разнообразных взаимодействий и отношений, создающих ценность, между взаимосвязанными фирмами и организациями. Данный термин подчеркивает важность плюрализма среди различных акторов, связанных друг с другом участием в разработке инноваций.

По нашему мнению, экосистема – это система сложных взаимоотношений, которые формируются между экономическими субъектами, чья функциональная цель заключается в обеспечении развития технологий и инноваций. Экосистемы включают в свой состав материальные ресурсы и человеческий капитал (студенты, преподаватели, научные сотрудники, управленцы). Кроме того, нельзя забывать об акторах, которые образуют институциональные организации, участвующие в экосистеме: университеты, технические вузы, НИИ, государственные и/или местные организации экономического развития и помощи бизнесу.

Инновационная экосистема включает в себя две отдельные, но в значительной степени разделенные системы: исследовательскую экономику, движимую фундаментальными исследованиями, и коммерческую экономику, движимую рынком.

Иначе говоря, экосистема включает в свой состав определенный набор участников, которые вносят собственный вклад в предложение товаров или услуг для пользователей.

Р. Аднер и Р. Капур отмечают по этому поводу: «вклад участников может быть связан с самим фокусным предложением (например, электромобиль), предложениями компонентов верхнего уровня (например, аккумуляторы, электроника, двигатели), которые интегрированы в фокусное предложение, и предложениями дополнительных компонентов нижнего уровня (зарядные станции, гаражи), которые интегрированы с фокусным предложением пользователем» [Adner, Karoor, 2010, с. 313].

Основной теоретической предпосылкой для изучения экосистем является одновременное наличие взаимодополняемости и взаимозависимости между субъектами. Взаимодополняемость между субъектами определяется тем, что они участвуют в процессе создания ценностей для потребителей. Взаимозависимость между субъектами экосистемы определяется их функционированием в рамках одной системы.

М. Портер еще в 1985 году обосновал концепцию цепочки создания стоимости для оценки источников конкурентных преимуществ фирмы: «Конкурентное преимущество невозможно понять, рассматривая фирму в целом. Оно проистекает из множества отдельных видов деятельности, которые фирма выполняет при проектировании, производстве, маркетинге, доставке и поддержке своего продукта. Каждый из этих видов деятельности может способствовать относительной позиции фирмы по издержкам» [Porter, 1985, с. 145].

Каждая фирма представляет собой совокупность различных видов деятельности: проектирование, производство, маркетинг, доставка, послепродажное обслуживание. Все вместе они представляют цепочки создания стоимости. Необходимо отметить, что конечные результаты каждой такой цепочки сосредоточены в центральной фирме, которую следует рассматривать как совокупность отдельных видов деятельности.

Например, создание iPhone фирмой Apple является одним из самых больших успехов эпохи Интернета. Apple получила явное конкурентное преимущество, основанное на дифференциации (а не на стоимости), которое стало возможным благодаря организации различных процессов: проектирование, НИОКР, маркетинг, производство, дистрибуция. Apple использовала глобальную цепочку поставок оборудования для разработки новых поколений iPhone и согласования предложения со спросом. При этом успехи Apple – это наглядный пример эффективного функционирования экосистемы, где конечный результат зависел от разработчиков приложений, производителей аксессуаров и других участников производственной цепочки [Adner, 2017].

Изучение промышленных экосистем позволяет определить причины концентрации конкретных отраслей в определенных регионах, организационную динамику самих предприятий и преимущества для фирм и населения, которые располагаются в регионах. Сейчас можно утверждать, что успех региона и его конкурентоспособность по отношению к другим регионам определяется следующими факторами:

- во-первых, стратегии фирм и взаимодействие фирм друг с другом;
- во-вторых, особенности регионального рынка, которые напрямую влияют на качество производимых товаров и услуг;
- в-третьих, количество и качество факторов производства (природные ресурсы, рабочая сила, капитал и инфраструктура);
- в-четвертых, уровень развития смежных отраслей, которые необходимы для базовых отраслей.

Для региональной экономики характерны два варианта организации:

- урбанизация, наличие стратегических для региона городов, где сконцентрировано большинство предприятий различных отраслей, современная инфраструктура и квалифицированная рабочая сила;
- локализация в форме промышленных кластеров, которая имеет место в регионах, где доминируют компании одной отрасли или нескольких тесно связанных отраслей.

Как правило, в чистом виде оба этих варианта организации экономики региона не встречаются.

Другие различия в организации региональной экономики определяются размерами предприятий и взаимоотношениями между фирмами. А. Маркусен выделяет три типа подобных организаций:

- модель, которую можно обозначить как ступица, колеса и спицы. В регионе имеется одна или несколько крупных, конкурентоспособных на мировом уровне фирм, которые формируют его «ступицу». Средние и мелкие фирмы снабжают основные предприятия комплектующими деталями;
- модель со звездообразной архитектурой, где основным субъектом выступает государственная организация, например, резиденция правительства или военная база;
- модель «округ-спутник», где размещаются дочерние компании транснациональных корпораций [Markusen, 1999].

Российские авторы не обошли своим вниманием проблемы развития экосистем в ситуации цифровизации экономики [Акбердина, Василенко, 2023; Кульба, Меденников, 2023; Писарев, Бывшев, Пантелеева, Парфентьева, 2022; Хоменко, Ватутина, Злобина, 2022].

Мировой опыт позволяет утверждать, что возникновение экосистем носит незапланированный и спонтанный порядок, который напрямую связан с использованием инноваций. Экосистемы выражают децентрализованные принципы организации, что помогает выживать в условиях жесткой конкурентной борьбы.

Формирование и развитие экосистем предполагает особый тип мышления, который соответствует основным требованиям экосистемного подхода. Он должен соответствовать конкретным реалиям, в которых функционирует промышленное предприятие. В современных условиях это означает разработку и использование различных инновационных моделей, в основе которых – новейшие технологии, соответствующие Индустрии 4.0.

В современных российских условиях стратегическую важность получает изучение вопросов стимулирования инновационной деятельности субъектов экономики, где особо важная роль принадлежит экономике регионов. Важнейшим фактором развития инновационных систем мезоуровня является эффективное взаимодействие всех акторов инновационных процессов: обмен информацией, кооперация, сотрудничество. Только в этом случае можно добиться решения сложной задачи экосистемной трансформации на мезоуровне. При этом следует помнить, что процессы формирования инновационной экосистемы занимают достаточно много времени, а гарантий получения ожидаемого результата нет в принципе.

Достаточно интересное определение предпринимательской экосистемы мы нашли в статье А.В. Овчинниковой и С.Д. Зимина: «Предпринимательская экосистема – сложная адаптивная система, включающая совокупность активных субъектов, кооперационных связей между ними и средовых факторов (в том числе институциональных, инфраструктурных, культурно-социальных), обеспечивающих более эффективное использование трудовых, финансовых и интеллектуальных ресурсов в рамках региона с целью эффективного использования ресурсов экосистемы в процессе производства товаров и услуг и удовлетворения общественных потребностей» [Овчинникова, Зимин, 2021, с. 1507].

Однако нельзя утверждать, что использование экосистемного подхода и цифровых технологий является залогом обязательного конечного успеха. В качестве неудачного примера деятельности фирмы можно назвать решение о разработке и производстве самого большого для того времени широкофюзеляжного двухпалубного четырёхмоторного турбореактивного пассажирского самолёта А-380. Фирма Airbus приступила к разработке самолёта в начале 1990-х годов. Предполагалось, что это позволит лишить американскую фирму Boeing господствующего положения в данном сегменте рынка, которое она занимала, начиная с 1970-х годов после начала производства самолёта Boeing-747.

Первоначальный расчет фирмы Airbus базировался на использовании классической хабовой модели: дальние магистральные перевозки осуществляются между крупными узловыми аэропортами (хабами). Пассажиры добираются до хабов при помощи фидерных авиакомпаний. Примерный вариант такой схемы: пассажир из Дюссельдорфа для полета в Чикаго сначала на самолетах местных авиалиний добирается до Франкфурта, где он делает пересадку на А-380 и далее летит до Нью-Йорка. Там – новая пересадка и полёт до места назначения.

Однако появление экономичных двухмоторных дальне-магистральных широкофюзеляжных самолетов (например, Boeing 787, Airbus 350XWB) привело к диверсификации маршрутов и возможности осуществления перевозок по модели point-to-point. В результате сравнительно второстепенные аэропорты были связаны друг с другом напрямую без пересадок. При этом максимальная вместимость Airbus 350XWB составляет 550 пассажиров, что практически равно стандартной вместимости А380.

Программа А380 предусматривала производство не менее 420 лайнеров, а оптимистичный план предусматривал реализацию 1,5 тыс. самолетов. Общая стоимость проекта оценивалась в 11 млрд евро. Однако на момент завершения производства в 2021 году был произведен только 251 самолет. Проблемы, которые в конечном итоге предопределили печальный финал самых больших пассажирских лайнеров, были связаны с изменением ситуации на рынке авиаперевозок в связи с появлением новых моделей, что привело к принципиальным изменениям в логистике воздушных путешествий [Сивашенков, 2019].

Следует упомянуть большие проблемы, которые имеют место с производством гражданских самолётов в России. После начала СВО было запланировано обновление парка гражданских самолётов. Об этом шла речь в статьях [Брагин, 2023; Майоров, Булатников, Борисоглебская, Дудина, 2023].

Однако эти примеры не опровергают истинности того положения, что именно цифровые экосистемы представляют собой наиболее перспективный вариант ведения бизнеса в современной экономической ситуации, которая характеризуется высокой степенью различных принципиальных изменений. С помощью цифровых экосистем возможно более оперативно и эффективно использовать инновационные технологии, что, в свою очередь, открывает хорошие перспективы по созданию инновационных товаров и завоеванию дополнительных рынков сбыта.

В качестве основного вывода можно сказать, что фирмы, принимающие участие в создании и развитии экосистем, широко используют различные формы кооперации. Это необходимо не только для стимулирования инноваций, но и широкого использования цифровых технологий. Здесь можно упомянуть новые цифровые технологии: искусственный интеллект (ИИ), интернет вещей и блокчейн. Это требует дальнейших исследований кооперации в инновационных экосистемах с использованием цифровых технологий.

В силу многих причин в России процессы экономического и технологического развития в значительной степени определяются участием в них государства, которое зачастую выступало не только в качестве координатора этих процессов, а их организатора. Данная ситуация целиком относится к современным процессам цифровизации национальной экономики и экономики регионов. К сожалению, сами промышленные предприятия не в состоянии только за счет собственных ресурсов решить проблему цифровой трансформации и приступить к производству продукции, которая будет конкурентоспособной на мировых рынках. В то же время цифровизация является залогом экономической и политической безопасности страны.

В целях настоящего исследования представляется необходимым развести и логически увязать используемые в литературе и практике термины, связанные с экосистемным подходом. В широком смысле «экосистема» описывает совокупность акторов и отношений между ними, в рамках которой осуществляется совместное создание и распределение ценности. При этом исходной единицей анализа является не отдельная фирма или отрасль, а сеть взаимосвязанных субъектов, включающая как производителей, так и потребителей, а также инфраструктурные и институциональные элементы. Такое понимание экосистемы задаёт общий методологический каркас для интерпретации разнообразных «частных» экосистемных конструкций, используемых в современной экономической литературе.

Предпринимательская экосистема делает акцент на формировании вокруг ведущих компаний устойчивых сетей поставщиков и потребителей, а также создании условий для возникновения и роста новых компаний: доступности ресурсов, плотности формальных и неформальных связей и культурной среде региона.

Инновационная экосистема связывает воедино исследовательскую и коммерческую «подсистемы» экономики, объединяя университеты, НИИ, технологические компании, инфраструктуру коммерциализации и государственные институты поддержки. Её ключевой отличительный признак – ориентация на генерацию, распространение и внедрение новых знаний и технологий, а не только на обеспечение текущего производства.

При этом промышленная экосистема описывает конфигурацию преимущественно производственных предприятий и смежных отраслей, локализованных на определённой территории и связанных устойчивыми производственными, логистическими и кооперационными связями. В промышленной экосистеме доминируют материальные активы и физическая инфраструктура.

Цифровая экосистема задаёт ещё одно измерение экосистемного подхода. В данном случае на первый план выходят цифровые платформы, данные и алгоритмы, а также институты, которые регулируют их использование. Для цифровой экосистемы характерны сильные сетевые эффекты (чем больше участников и данных, тем выше ценность для каждого), зависимость результатов от объёма и качества обрабатываемых данных и способность относительно быстро менять способы взаимодействия между участниками за счёт перенастройки цифровой инфраструктуры. При этом цифровая экосистема не отменяет предпринимательскую, инновационную или промышленную экосистемы, а накладывается на них, трансформируя механизмы координации и распределения ценности.

В логике настоящей работы региональная цифровая экосистема рассматривается как результирующая конструкция, интегрирующая перечисленные типы экосистем на мезоуровне. Под региональной цифровой экосистемой мы понимаем совокупность хозяйствующих субъектов, научно-образовательных организаций, институтов развития и органов власти, действующих в границах региона и связанных между собой через цифровую инфраструктуру, платформенные решения и потоки данных. Такая экосистема одновременно выполняет функции:

- предпринимательской экосистемы (за счёт формирования вокруг ведущих компаний устойчивых сетей поставщиков и потребителей);
- инновационной экосистемы (через создание условий для появления и масштабирования новых технологических компаний);
- промышленной экосистемы (поскольку цифровая трансформация всё более охватывает традиционные отрасли промышленности, изменяя их производственные и логистические контуры).

Переходя от теоретического анализа к эмпирическому, важно подчеркнуть, что региональная цифровая экосистема не сводится к наличию набора цифровых сервисов или разрозненных проектов внедрения ИКТ. С точки зрения экосистемного подхода она должна обладать, по крайней мере, двумя ключевыми характеристиками:

- 1) критической массой цифровых инвестиций и инфраструктуры, обеспечивающих технологическую базу для взаимодействия участников;
- 2) институциональными и поведенческими условиями, стимулирующими акторов к включению в цифровые цепочки создания ценности.

На макро- и мезоуровне динамика и структура затрат на внедрение и использование цифровых технологий может служить косвенным индикатором интенсивности формирования региональных цифровых экосистем. Высокая концентрация таких затрат в отдельных территориях указывает на формирование «узловых» регионов, где сосредоточены ядра цифровых и промышленных экосистем. Напротив, низкие значения расходов на цифровизацию в большинстве субъектов Российской Федерации сигнализируют о риске закрепления цифрового разрыва и формировании периферийных регионов, слабо интегрированных в общенациональные цифровые платформы и цепочки создания стоимости.

В этой связи данные, представленные на рис. 1, используются для выявления пространственной конфигурации зарождающихся региональных цифровых экосистем. Наибольший уровень затрат на внедрение цифровых технологий наблюдается в городе федерального значения Москва – 62,6 %, в городе федерального значения Санкт-Петербург – 7,0 %, в Московской области – 2,5 %, в Республике Татарстан – 1,8 %, в Тюменской области – 2,1 %, что способствует формированию в них цифровых экосистем (рис. 1). Территориальная концентрация общенациональных затрат на цифровые технологии свидетельствует о формировании ограниченного круга лидирующих регионов, в которых цифровая инфраструктура и цифровой бизнес достигают масштаба, достаточного для поддержания полноценных экосистемных взаимодействий. Для остальных регионов наблюдаемая низкая доля в общих расходах показывает, что их роль в национальной цифровой экосистеме пока ограничивается преимущественно потребительской функцией, а собственные экосистемные ядра либо отсутствуют, либо находятся на ранней стадии становления.



Рис. 1. Удельный вес регионов РФ в общенациональных затратах на внедрение и использование цифровых технологий в 2023 году, %

Fig. 1. Share of Russian regions in national expenditures on the introduction and use of digital technologies in 2023, %

Источник: составлено авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/statistics/science#>)

Source: compiled by the authors based on data from the Federal State Statistics Service (<https://rosstat.gov.ru/statistics/science#>)

Распределение затрат по видам позволяет уточнить, какие именно элементы региональных цифровых экосистем являются доминирующими на текущем этапе. Распределение затрат на внедрение цифровых технологий по видам представлено на рис. 2. Наибольшая доля приходится на прочие внутренние затраты – 24,7 %, приобретение машин и оборудования – 23 %, разработку и обновление программного обеспечения – 21,5 %, приобретение программного обеспечения – 12,9 %.

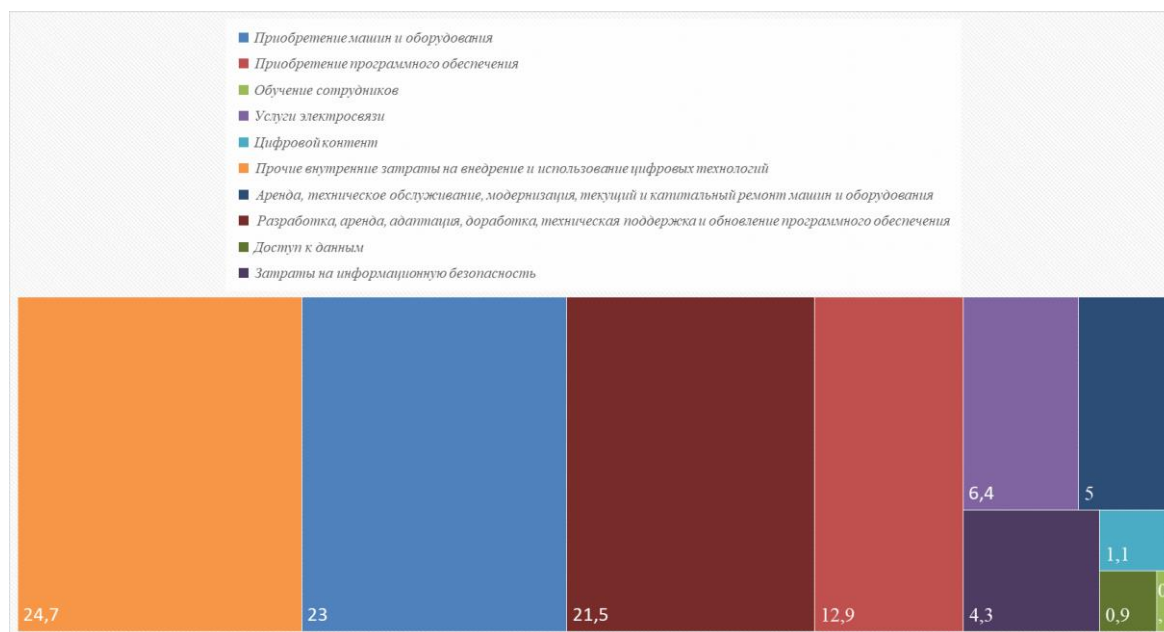


Рис. 2. Распределение затрат организаций на внедрение и использование цифровых технологий по видам в РФ, %

Fig. 2. Distribution of organizations' expenses on the implementation and use of digital technologies by type in the Russian Federation, %

Источник: составлено авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/statistics/science#>)

Source: compiled by the authors based on data from the Federal State Statistics Service (<https://rosstat.gov.ru/statistics/science#>)

Анализ препятствий к использованию цифровых технологий (рис. 3) позволяет охарактеризовать институциональную и поведенческую среду. Тот факт, что значительная часть организаций не рассматривает цифровизацию в качестве приоритета (19 %) или воспринимает её как чрезмерно затратную по отношению к ожидаемым эффектам (18 %), указывает на наличие серьёзных барьеров к экосистемной трансформации. Эти барьеры имеют смешанную природу: с одной стороны, ограниченность финансовых и кадровых ресурсов, с другой – недостаточное понимание бизнес-моделей цифровых экосистем и их потенциального влияния на конкурентоспособность предприятий. Таким образом, статистические данные не только иллюстрируют дисбалансы цифрового развития, но и задают проблемное поле для дальнейшего исследования механизмов формирования региональных цифровых экосистем и роли государства в их поддержке.

Как сказано в данной статье, цифровую трансформацию никак нельзя сводить только к использованию цифровых технологий. Необходимо формирование и развитие новой модели сотрудничества всех заинтересованных сторон. Это тем более важно в современных условиях, когда развитие ситуации испытывает воздействие таких стратегических факторов как глобальные экономические, социальные и политические кризисы, появление инноваций, которые приводят к принципиальным технологическим изменениям в производстве, появление новых товаров и услуг, искусственный интеллект. Всё это, вместе взятое, ведет к усилению экономической неопределенности.



Рис. 3. Препятствия для использования цифровых технологий в РФ, %

Fig. 3. Obstacles to the use of digital technologies in the Russian Federation, %

Источник: составлено авторами на основе данных Федеральной службы государственной статистики (<https://rosstat.gov.ru/statistics/science#>)

Source: compiled by the authors based on data from the Federal State Statistics Service (<https://rosstat.gov.ru/statistics/science#>)

По мнению экспертов, «экосистемы прошли пик горизонтального развития и теперь концентрируются на повышении эффективности и рентабельности действующих сервисов» [Шухманина, 2025]. Это стимулирует фирмы к разработке и реализации гибкой модели поведения, которая в состоянии быстро адаптироваться к изменениям рыночной конъюнктуры. В результате многие фирмы начинают использовать в своей хозяйственной деятельности новую модель ведения бизнеса – цифровые экосистемы. С их помощью фирмы получают реальную возможность оперативно реагировать на технологические и прочие новшества. Не является секретом тот факт, что конечные результаты деятельности фирмы в значительной степени определяются способностью внести быстрые изменения в свою деятельность. Таким образом, в современной ситуации цифровые экосистемы – это драйвер современного промышленного развития.

Заключение

Цифровые экосистемы – это принципиально новый вариант ведения бизнеса, который формирует новую систему взаимоотношений между бизнес-акторами, кроме того, изменяются отношения между фирмами, производителями товары и услуги, и потребителями.

Используя цифровые экосистемы, фирмы получают реальные возможности не только для сокращения собственных издержек, у них появляются новые реальные возможности для улучшения качества продукции и создания принципиально новых товаров.

Кроме совершенствования самого бизнеса, цифровые экосистемы могут оказывать положительное влияние на систему образования в стране. Например, объединение в общей системе производства и учебных учреждений средне-специального и высшего образования. Это позволит организовать подготовку специалистов в соответствии с запросами бизнеса, что открывает реальные перспективы для карьерного роста студентов по окончании учёбы.

Мировой опыт свидетельствует, что степень государственного вмешательства в процессы цифровизации может существенно различаться. В современной России процессы

формирования и развития цифровых экосистем в значительной степени зависят от помощи государства. Ещё в течение достаточно длительного периода времени российское государство будет вынуждено оказывать значительное регулирующее влияние на процессы развития цифровых экосистем, что необходимо для создания конкурентоспособной национальной экономики и её территорий.

Список источников

- Ростех и ОАК: провал программы импортозамещения. <https://specreporter.com/2024/12/28/rostehtech-i-oak-proval-programmy-importozameshheniya> (дата обращения 07.04.2025).
- Сивашенков А. Гибель титанов. Почему Airbus прекращает выпуск A380. <https://www.forbes.ru/biznes/372365-gibel-titanov-pochemu-airbus-prekrashchaet-vypusk-a380>. (дата обращения 07.04.2025).
- Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: «Эксмо». 2016, 138 с.
- Шухманина О. Крупнейшие российские цифровые экосистемы в 2024-2025 годах: рынок замедляет рост, лидеры сохраняют позиции. <https://abireg.ru/newsitem/106771/> (дата обращения 07.04.2025).

Список литературы

- Акбердина В.В., Василенко Е.В. 2023. Базовые стратегии поведения промышленности как участника региональных инновационных экосистем. *AlterEconomics*, 20(3): 548–569. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2023.20-3.4
- Кульба В.В., Меденников В.И. 2023. Научная региональная цифровая экосистема на основе предметной идентификации экосистем. Шестнадцатая международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2023) (Москва, 26–28 сентября 2023 г.). М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН: 68–78. DOI: 10.25728/mlsd.2023.0068.
- Лаптев В.А. 2022. Экосистема цифровой экономики. *Общественно-научный интерактивный энциклопедический портал «Знания»*, 8. DOI:10.54972/00000042_2022_8_42.
- Овчинникова А.В., Зимин С.Д. 2021. Рождение концепции предпринимательских экосистем и ее эволюция. *Экономика, предпринимательство и право*, 11(6): 1497–1514. DOI: 10.18334/ep.11.6.112307.
- Писарев И.В., Бывшев В.И., Пантелеева И.А., Парфентьева К.В. 2022. Исследование готовности регионов России к цифровой трансформации. *π-Economy*, 15(2): 22–37. DOI: 10.18721/IE.15202.
- Хоменко Е.Б., Ватутина Л.А., Злобина Е.Ю. 2022. Современные тенденции цифровой трансформации промышленных предприятий. *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*, 32(4): 676–682. DOI: 10.35634/2412-9593-2022-32-4-676-682.
- Acs Z.J., Stam E., Audretsch D.B., O'Connor A. 2017. The lineages of the entrepreneurial ecosystem approach. *Small Business Economics*, 49(1): 1–10.
- Adner R., Kapoor R. 2010. Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, 31(3): 306–333.
- Adner R. 2017. Ecosystem as structure: an actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1): 39–58.
- Hawley A.H. 1986. Human ecology: a theoretical essay. University of Chicago Press, London, 186 p.
- Markusen A. 1999. Fuzzy Concepts, Scanty Evidence, Policy Distance: The Case for Rigour and Policy Relevance in Critical Regional Studies. *Regional Studies, Taylor & Francis Journals*, 33(9): 869–884. DOI: 10.1080/00343409950075506.
- Moore J.F. 1993. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*, 71(3): 75–86.
- Porter M.E. 1985. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York. Free Press, 557 p.
- Scott A.J. 2008. A perspective of economic geography. NY: Routledge, 21 p.
- Watanabe C., Yu T., Neittaanmäki P.A. 2018. New Paradox of the Digital Economy – Structural Sources of the Limitation of GDP Statistics. *Technology in Society*, 55: 9–23. DOI: 10.1016/j.techsoc.2018.05.004

References

- Akberdina V.V., Vasilenko E.V. 2023. Basic strategies of industry behavior as a participant in regional innovation ecosystems. *AlterEconomics*, 20(3): 548–569 DOI: 10.31063/AlterEconomics/2023.20-3.4 (in Russian).
- Kulba V.V., Medennikov V.I. 2023. Scientific regional digital ecosystem based on subject identification of ecosystems. Sixteenth international conference "Management of Large-Scale Systems Development" (MLSD'2023) (Moscow, September 26-28, 2023). Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences: 68–78. DOI: 10.25728/mlsd.2023.0068 (in Russian).
- Laptev V.A. 2022. Ecosystem of the digital economy. *National interactive encyclopedic portal "Knowledge"*, 8. DOI: 10.54972/00000042_2022_8_42 (in Russian).
- Ovchinnikova A.V., Zimin S.D. 2021. The birth of the concept of entrepreneurial ecosystems and its evolution. *Economy, entrepreneurship and law*, 11(6): 1497–1514. DOI 10.18334/epp.11.6.112307 (in Russian).
- Pisarev I.V., Byvshev V.I., Panteleeva I.A., Parfentieva K.V. 2022. Study of the readiness of Russian regions for digital transformation. *π-Economy*, 15(2): 22–37. DOI: 10.18721/JE.15202 (in Russian).
- Khomenko E.B., Vatutina L.A., Zlobina E.Yu. 2022/ Modern trends in the digital transformation of industrial enterprises. *Bulletin of the Udmurt University. Series Economics and Law*, 32(4): 676–682. DOI: 10.35634/2412-9593-2022-32-4-676-682 (in Russian).
- Acs Z.J., Stam E., Audretsch D.B., O'Connor A. 2017. The lineages of the entrepreneurial ecosystem approach. *Small Business Economics*, 49(1): 1–10.
- Adner R., Kapoor R. 2010. Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, 31(3): 306–333.
- Adner R. 2017. Ecosystem as structure: an actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1): 39–58.
- Hawley A.H. 1986. Human ecology: a theoretical essay. University of Chicago Press, London, 186 p.
- Markusen A. 1999. Fuzzy Concepts, Scanty Evidence, Policy Distance: The Case for Rigour and Policy Relevance in Critical Regional Studies. *Regional Studies, Taylor & Francis Journals*, 33(9): 869–884. DOI: 10.1080/00343409950075506.
- Moore J.F. 1993. Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*, 71(3): 75–86.
- Porter M.E. 1985. Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. New York. Free Press, 557 p.
- Scott A.J. 2008. A perspective of economic geography. NY: Routledge, 21 p.
- Watanabe C., Yu T., Neittaanmäki P.A. 2018. New Paradox of the Digital Economy – Structural Sources of the Limitation of GDP Statistics. *Technology in Society*, 55: 9–23. DOI: 10.1016/j.techsoc.2018.05.004

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 28.07.2025

Поступила после рецензирования 02.09.2025

Принята к публикации 03.10.2025

Received July 28, 2025

Revised September 02, 2025

Accepted October 03, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Матвеев Владимир Валентинович, доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Удмуртский филиал Института экономики УрО РАН, г. Ижевск, Россия

Богачев Егор Анатольевич, младший научный сотрудник, Удмуртский филиал Института экономики УрО РАН, г. Ижевск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir V. Matveev, Doctor of Economic Sciences, Professor, Leading Researcher, Udmurt branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Egor A. Bogachev, Junior Researcher, Udmurt Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

УДК 65.011.1

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-785-797

EDN EEWMZJ

Концепция сбалансированной инновационной политики предприятия в контексте национальных и рыночных приоритетов

Осыченко Е.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
ekaaterinam93@mail.ru

Аннотация. Для организации, осуществления и управления инновационной деятельностью предприятия необходимо тщательным образом прорабатывать логику и модель реализации инновационной политики, поскольку она устанавливает способы, этапы и предназначение разрабатываемых новаторств, а также предопределяет подходы к их коммерциализации. Выявлено, что на инновационную политику предприятия оказывают влияние устоявшиеся национальные и рыночные приоритеты. В связи с недостатком исследований автором рассмотрены ключевые факторы, влияющие на формирование инновационной стратегии и политики предприятия, включая государственную заинтересованность и вовлеченность в области инноватики, рыночные тренды, технологические возможности и конкурентную среду. По результатам исследования предложена концепция сбалансированной инновационной политики, которая позволяет предприятиям эффективно распределять ресурсы между долгосрочными стратегическими проектами и оперативными рыночными инициативами, а также обеспечивает гармонизацию национальных стратегических приоритетов и рыночных требований. Особое внимание уделено целесообразности применения на предприятии механизмов интеграции национальных инновационных программ в корпоративную стратегию, а также методов гибкости бизнес-моделей к изменяющимся социально-экономическим и технико-технологическим условиям.

Ключевые слова: государственное регулирование, элементы внешней среды, инновационные процессы, инновационное развитие, государственная поддержка

Для цитирования: Осыченко Е.В. 2025. Концепция сбалансированной инновационной политики предприятия в контексте национальных и рыночных приоритетов. *Экономика. Информатика*, 52(4): 785–797. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-785-797; EDN EEWMZJ

The Concept of a Balanced Innovation Policy of an Enterprise in the Context of National and Market Priorities

Ekaterina V. Osychenko

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
46 Kostyukov St., Belgorod 308012, Russia
ekaaterinam93@mail.ru

Abstract. For the organization, implementation and management of innovative activities of an enterprise, it is necessary to study the logic and model of innovation policy implementation in detail, since it establishes the methods, stages, and purpose of the innovations and determines approaches to their commercialization. The study shows that innovation policy is influenced by established national and market priorities. Due to the lack of research into the issue, the author examines the key factors influencing the formation of an enterprise's innovation strategy and policy, including government interest and involvement in innovation, market trends, technological opportunities, and a competitive environment. Based on the results of the study, the concept of

© Осыченко Е.В., 2025

a balanced innovation policy is proposed, which allows enterprises to effectively allocate resources between long-term strategic projects and operational market initiatives, ensuring the harmonization of national strategic priorities and market requirements at the same time. Special attention is paid to the expediency of using mechanisms for integrating national innovation programs into the corporate strategy at an enterprise, as well as applying methods to secure the flexibility of business models in the changing socio-economic, technical and technological conditions.

Keywords: government regulation, elements of the external environment, innovative processes, innovative development, government support

For citation: Osychenko E.V. 2025. The Concept of a Balanced Innovation Policy of an Enterprise in the Context of National and Market Priorities. *Economics. Information technologies*, 52(4): 785–797 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-785-797; EDN EEWMZJ

Введение

В современных условиях глобальной экономической нестабильности, геополитической шаткости, обострения конкуренции, нарастающей цифровой трансформации, возрастающей роли интеллектуально-знанийого капитала инновационная политика предприятия становится одним из ключевых драйверов его устойчивого развития [Dossanova, 2023]. Учитывая и отталкиваясь от сложности, турбулентности и многокритериальности делового окружения предприятия и инновационной среды, логичным образом возникает вопрос о механизме соблюдения баланса между личными бизнес-предпочтениями, целями и общественно-значимыми, государственными ориентирами.

Поскольку современные экономические процессы на разных уровнях, в той или иной мере, ориентированы и подпитаны инноватикой, это подстегивает предприятия и организации становиться на рельсы инновационной активности, следовательно, вынуждают тщательным образом прорабатывать тактические и стратегические шаги в разрезе разработки и реализации инновационной политики [Kurpayanidi, 2023.]. Именно от нее зависит вектор всей новаторской деятельности актора, структурное и функциональное содержание инновационных процессов, миссия и цели разрабатываемых и вводимых инноваций, разработка стратегии поведения предприятия на рынке инноваций, характер взаимодействия и сотрудничества со стейкхолдерами.

Данные обстоятельства подчеркивают важность грамотно разработанной инновационной политики, только в современных реалиях чаще стали говорить о достижении сбалансированности традиционных рыночных целей, задач предпринимательства и видоизмененных покупательских запросов и государственных приоритетов.

В современном экономическом пространстве, где технологические решения развиваются с поразительной быстротой и, одновременно, занимают главенствующие позиции, концепция сбалансированной инновационной политики предприятия приобретает особую актуальность. Это обуславливается совмещением национальных и рыночных приоритетов (с поправкой на отраслевую принадлежность), предоставляя предприятиям возможность не только адаптироваться к изменяющимся внешним и внутренним условиям, но и эффективно распоряжаться своей материально-сырьевой и технической базой с целью достижения выигрышных позиций на рынке новаторств.

Изучение заявленной темы может послужить основой для выработки и грамотной реализации стратегических решений в сфере инновационной деятельности предприятий.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают российские предприятия, осуществляющие свою инновационную деятельность в современных геополитических, социально-общественных, экономических, экологических реалиях, которые положены в основу формирования государственных и рыночных приоритетов.

Предметом исследования является механизм взаимодействия и взаимоотношений предприятия с государством и представителями делового окружения, формирующий определенную стратегию его поведения в ракурсе реализации собственных задач в области инноватики, с учетом законодательных и нормативных ограничений, действий и амбиций конкурентов, ожиданий и потребностей покупателей.

Цель данной статьи – обосновать целесообразность разработки и применения концепции сбалансированной инновационной политики на уровне предприятия, учитывающей корпоративные цели, рыночные и государственные приоритеты, а также раскрыть сущность данной концепции через призму ее ключевых принципов, задачи ESG-трансформации, цифровизации экономических процессов, реализуемый практический инструментарий государственной поддержки инновационной деятельности.

В основу авторского методологического подхода положены научные результаты предыдущих исследований автора относительно гармонизации инновационной политики предприятия с учетом имеющихся перспектив и резервов актора на рынке новаторств, а также с акцентом на изменения условий деятельности во внешней и внутренней среде.

Методологическую основу исследования составляют такие методы, как анализ и синтез, дедукция и индукция, системный подход.

Результаты и их обсуждение

Инновационная политика предприятия представляет собой систему принципов, методов и инструментов, направленных на управление инновационной деятельностью в рамках общей стратегии его развития. Она определяет подходы к созданию, внедрению и коммерциализации новых продуктов (услуг), технологий и бизнес-моделей, обеспечивая долгосрочную конкурентоспособность [Шатская, 2024].

Существует определенная тесная связь инновационной политики с корпоративной стратегией предприятия, поскольку она:

- влияет на выбор и определяет направления технологического развития;
- формирует механизмы взаимовыгодного взаимодействия с внешней средой (партнерами, научными организациями, государством, инвесторами и др. стейкхолдерами);
- определяет инвестиционные приоритеты в области НИОКР.

В общем понимании целью инновационной политики является организация слаженного функционирования инновационных процессов для обеспечения успешной новаторской деятельности предприятия. Но, в свою очередь, это требует некоторого уточнения – а с помощью чего этот успех будет достигаться? Для этого и обозначим локальные цели инновационной политики, зависящие от текущей миссии и задач предприятия:

- технологическое лидерство – разработка прорывных технологических решений, обеспечивающих преимущество на рынке инноваций;
- повышение эффективности деятельности – оптимизация ключевых бизнес-процессов за счет внедрения передовых технологий;
- диверсификация продуктового портфеля – создание инновационных благ для выхода на абсолютно новые или смежные рынки;
- устойчивое развитие хозяйственной деятельности предприятия – предусматривает разработку и внедрение экологических и социально значимых новаторств, что обусловлено ESG-трансформацией [Ван, 2024].

Нужно отдавать себе отчет, что вектор и цель инновационной политики не могут обойти стороной другие сферы деятельности предприятия, все равно все находится в некоторой взаимосвязке и зависимости. Отсюда следует, что предпринимаемые шаги в области инноватики скажутся на системе принятия управленческих решений разного уровня, что возможно благодаря соблюдению инновационной политикой определенной совокупности принципов (рис. 1).



Рис. 1. Базовые принципы инновационной политики предприятия (составлено автором)
Fig. 1. Basic principles of an enterprise's innovation policy (compiled by the author)

Перед руководством предприятий часто возникает вопрос, каким образом осуществлять инновационную деятельность: собственными усилиями или с привлечением внешних партнеров. Логично, что при ответе нужно отталкиваться от исходных позиций (уровень имеющегося инновационного потенциала, характер взаимодействия с партнерами, ситуация на рынке, наличие договоренностей со стейкхолдерами, ожидания потребителей, участие и заинтересованность государства и другие параметры) и поставленных целей на рынке инноваций. Исходя из этого, а также принимая во внимание степень вовлеченности внешних акторов и источники новшеств, можно выделить несколько применяемых на практике видов инновационной политики:

1) закрытая – заключается в том, что предприятие полагается исключительно на собственные внутренние ресурсы для разработки и внедрения инноваций. Иными словами, позиции данного актора очень сильны, присутствует научно-исследовательский задел, высокий интеллектуальный капитал, обеспеченность необходимыми кадрами, низкая зависимость от внешней среды, контроль над интеллектуальной собственностью, финансовая обеспеченность НИОКР в должном объеме, реализуется механизм минимизации утечки знаний и информации;

2) открытая – воплощается, когда предприятие активно взаимодействует с элементами и субъектами внешней среды, привлекает НИИ и университеты, организует стартапы или участвует в них, покупает патенты на уже готовую инновационную продукцию, использует приемы краудсорсинга. В этом случае просматривается несостоятельность предприятия к собственным инновационным разработкам без помощи внешнего окружения. Такая открытая форма позволяет экономить на издержках за счет кооперации с партнерами, ограничивать расходы собственной сырьевой и материальной базы, использовать внешние идеи наравне с внутренними, активно лицензировать технологии;

3) гибридная – сочетает элементы закрытой и открытой формы, позволяя гибко управлять ресурсами в сфере инноватики. В рамках такой политики руководство принимает решение разрабатывать внутри предприятия критические технологии (тем самым защищая личную интеллектуальную собственность от конкурентов), а побочные (вспомогательные) инновационные решения заимствуются извне либо осуществляются совместно с партнерами. Таким образом, происходит четкое разграничение, в каких сферах и на каких условиях будет

происходить сотрудничество с участниками внешнего окружения, а какие инновационные разработки останутся под контролем и защитой.

Выбор типа инновационной политики зависит не только от отраслевых особенностей, а также и от размера предприятия, типа производства и стратегических целей. Современные предприятия в последнее время все чаще практикуют использование гибридных моделей, сочетая преимущества открытости и защиты персональных ключевых технологий. Эффективная инновационная политика требует четкой постановки целей, задач, гибкости и интеграции в общую стратегию развития бизнеса.

Логика нашего исследования исходит из того, что на формирование и реализацию инновационной политики предприятия оказывают влияние не только его бизнес-амбиции и цели на рынке новаторств, но действия государства в экономической, социальной, научно-исследовательской, производственной и иных сферах, что объединяется в совокупность национальных приоритетов в указанных областях.

Государство играет ключевую роль в создании благоприятных условий для развития инноваций, выступая не только регулятором, но и активным участником инновационных процессов. Для стимулирования научно-технического прогресса и повышения конкурентоспособности национальной экономики разрабатываются государственные программы и инициативы (в том числе и на уровне регионов), направленные на поддержку исследований, разработок и массового внедрения передовых технологий [Мазур, 2023; Kalygina, 2022] (рис. 2).



Рис. 2. Направления государственного вмешательства в активизацию инновационной деятельности предприятий (составлено автором)

Fig. 2. Directions of government intervention in the activation of innovative activities of enterprises (compiled by the author)

Наряду с этим, на данный момент в России реализуются такие национальные программы, как «Экономика данных и цифровая трансформация государства», «Национальная технологическая инициатива», а также проекты в рамках государственной корпорации «Ростех» и Фонда развития промышленности [Янченко, 2023]. Эти государственные инициативы способствуют быстрой и успешной коммерциализации отечественных научных разработок, снижению технологической зависимости от импорта и формированию устойчивой инновационной экосистемы (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Характеристика государственных инициатив в области инновационной деятельности
(составлено автором)
Characteristics of government initiatives in the field of innovation (compiled by the author)

Наименование программы/проекта	Срок реализации	Преследуемые цели	Ключевые направления
«Национальная технологическая инициатива» (программа)	до 2035 г.	развитие передовых технологий; выстраивание благоприятной инновационной среды для стартапов; ускорение коммерциализации разработок; подготовка кадров для инновационной и конкурентоспособной экономики	роботизированные фабрики; функциональные нейротехнологии; безопасность информационных и киберфизических систем; персонализированные медицинские услуги; развитие транспортных средств на основе интеллектуальных платформ
«Экономика данных и цифровая трансформация государства» (программа)	до 2030 г.	внедрение принципов управления на основе полученных данных во всех сферах общественной жизни; переход на качественно новый уровень развития в телемедицине, логистике, онлайн-образовании, предоставлении различного рода государственных услуг	отечественные облачные платформы; безопасность данных на основе развития квантовых коммуникаций; национальные стандарты и протоколы работы с персональными данными граждан; сбор данных с помощью квантовых сенсоров и датчиков
«Передовые инженерные школы» (проект)	до 2030 г.	обеспечение высокопроизводительных, экспортно-ориентированных секторов экономики страны квалифицированными кадрами; создание новых высокотехнологичных товаров в партнерстве с отечественными предприятиями	искусственный интеллект и цифровые технологии; двигателестроение; авиационная и ракетно-космическая техника; биотехнологии в сельском хозяйстве; медицинское приборостроение; передовые производственные технологии и др.
«Искусственный интеллект» (проект)	до 2030 г.	разработка отечественного программного обеспечения, основанного на технологиях искусственного интеллекта; расширение доступности аппаратного обеспечения; повышение уровня освоения отечественным бизнесом искусственного интеллекта	машинное обучение; компьютерное зрение; обработка естественного языка; подготовка ИТ-специалистов; робототехника

Национальные приоритеты инновационного развития определяют стратегические направления государственной политики и оказывают значительное влияние на деятельность предприятий, стимулируя их к переориентации на ключевые технологические и социально-экономические задачи [Блохин, 2024]. Такие приоритеты включают поддержку важнейших

секторов экономики, развитие элементов инфраструктуры, внедрение новейших технологий, а также обеспечение активной фазы научных исследований. Помимо этого, на уровне государства формируется целостная (защищающая и стимулирующая) законодательная и экономическая база, что предоставляет предприятиям необходимые условия для успешной инновационной деятельности.

Рассмотрим основные национальные приоритеты применительно к инновационному развитию:

1) технологический суверенитет. Его суть состоит в обеспечении независимости страны в критически важных технологиях и производственных цепочках. Государство нацелено на снижение зависимости от иностранных технологий, развитие собственной научно-производственной базы [Егина, 2024]. В качестве примера можно привести развитие микроэлектроники, фармацевтики и медицинского оборудования, станкостроения;

2) импортозамещение. Предусматривает замену иностранных товаров и технологий отечественными аналогами. Роль государства сводится к укреплению экономической безопасности, достижению производственной самостоятельности, поддержке отечественных производителей [Гредасова, 2021]. Примером может послужить локализация производства в IT-секторе, машиностроении, сельском хозяйстве;

3) цифровизация. Заключается во внедрении цифровых и электронно-интеллектуальных технологий (искусственный интеллект, большие данные, интернет вещей и т. д.) в социально-экономическое пространство. В данном случае целью государства является повышение эффективности бизнеса и госуправления, создание «умных» городов и производств, а также придание отечественным предприятиям статуса цифровой зрелости [Somina, Falko, 2023; Хачатурян, 2022];

4) развитие критических технологий и поддержка стратегически значимых отраслей. Действия государства направлены на сохранение лидерства в ключевых секторах, обеспечение обороноспособности страны с фокусом на таких сферах, как авиастроение, космическая промышленность, атомная энергетика, биотехнологии;

5) экологические и социальные инновации. Суть данного национального приоритета заключается во внедрении «зеленых» технологий, соблюдении принципов «зеленой» экономики, снижении углеродного следа, улучшении качества жизни населения [Боркова, 2021]. Таким образом, государственная политика плавно подводит к устойчивому развитию, выполнению климатических обязательств (например, рециклинг, возобновляемая энергетика, социально ориентированные стартапы) [Коробкова и др., 2024];

6) международное сотрудничество и интеграция – участие в глобальных инновационных проектах, экспорт технологий. Государство, ставя такой приоритет, преследует цель укрепить свои позиции на международной арене, привлечь инвестиции, открыться для инновационно-проектного сотрудничества.

Указанные государственные приоритеты, кроме реализации собственных целей и задач правительства, предоставляют определенные преимущества для предприятий, а именно:

- доступ к госфинансированию: предприятия, работающие в приоритетных направлениях, могут получать более выгодные условия для грантов, субсидий и налоговых льгот;

- рост конкурентоспособности: внедрение инноваций позволяет выходить на новые рынки и укреплять рыночные позиции [Тгоруніна, 2024];

- снижение рисков: ориентация на приоритетные направления государства уменьшает вероятность регуляторных ограничений.

Вместе с этим присутствуют и риски чрезмерной зависимости от государственной поддержки и вмешательства:

- избыточная ориентация на субсидии может снижать самостоятельность бизнеса и его адаптивность к изменяющимся рыночным условиям;

- сложности в получении финансирования, длительные процедуры согласования проектов, иными словами, высокие административные барьеры;

- государственные приоритеты иногда могут не совпадать с реальными потребностями бизнеса и общества, что приводит к неэффективному инвестированию инноваций.

Адаптация предприятий к национальным приоритетам требует гибкости и грамотного стратегического планирования. Предприятия и организации, способные сочетать инновационную активность с логикой рыночного развития, получают значительные преимущества, тогда как чрезмерная зависимость от государственных программ может ограничивать их прогресс. Оптимальным подходом является достижение баланса между использованием государственных мер поддержки и самостоятельным поиском инновационных решений.

На инновационную деятельность, а, следовательно, и на инновационную политику предприятия, помимо национальных приоритетов, влияют также и рыночные, которые по существу связаны с действиями и целями ключевых стейкхолдеров. Таким образом, рыночные приоритеты формируются из сложившейся ситуации на рынке, положения конкурентной среды и анализа потребительского поведения.

Если говорить о потребительском спросе и изменении предпочтений, то их влияние на инновационную политику предприятия рассматривается в качестве источника усовершенствования традиционного (классического) выпускаемого им товара либо доработки инновационного продукта, что в общей массе направлено на определенные свойства самого блага или технологию производства.

В целом поведение покупателей может сказаться следующим образом на формировании инновационной политики рыночного актора:

- величина спроса на продуктовые инновации зависит от востребованности в данном виде товаров, покупательской способности отдельных групп потребителей, требовательности покупателей к новизне, функциональным качествам товара;
- спрос на технологические инновации зависит от возможности их массового производства, что требует значительных финансовых возможностей, наличия необходимой материально-сырьевой базы, а также признания обществом преимуществ данного новшества;
- идентификация и понимание интересов, предпочтений, запросов и моделей поведения будущих потребителей помогает предприятию проводить эффективные узконаправленные рекламные кампании, что является значимым трамплином на пути к успешной коммерциализации инновации;
- чем быстрее инновационная деятельность и, вместе с ней, политика подстроится под новые реалии потребительского поля, тем более высокими будут позиции предприятия на рынке инноваций.

Таким образом, для успешной инновационной политики предприятия необходимо учитывать изменения в потребительских предпочтениях и по возможности своевременно и точно угадывать их, воплощая в соответствующих новаторствах, то есть предприятие ставит в приоритет потребителя.

Следующим рыночным приоритетом можно считать правильный учет ценовых факторов и издержек производства инновационного товара, поскольку это определяет экономическую целесообразность внедрения новаторства. Анализ и контроль ценовых факторов воздействуют на инновационную политику предприятия посредством определения конкурентоспособности инновационного блага, ценовой эластичности спроса, отслеживанием динамики цен на ресурсы. В отношении оценки издержек влияние на политику происходит следующим образом: разрабатываются и внедряются решения, способствующие оптимизации затрат на инновационные товары, масштабированию и эффективной коммерциализации инноваций, окупаемости инвестиций на НИОКР и выпуск новаторского блага. Таким образом, инновационная политика предприятия, ориентируясь на этот приоритет, способна определять направленность новшеств (снижение затрат или повышение ценности) и их экономическую обоснованность.

Еще одним важным рыночным приоритетом является ориентир на конкурентную среду и стратегии конкурентов, что определяет подход к разработке и внедрению новых технологий, продуктов и процессов, то есть на сущность инновационной политики предприятия [Кириллов и др., 2023]. В данном контексте важно выявить ближайших конкурентов, их цели и интересы,

возможные от них угрозы, а также реализуемые ими стратегии на рынке инноваций. Такие шаги позволят адаптироваться к условиям среды, предпринять меры по защите своих инновационных интересов, найти подходы к урегулированию отношений с конкурентами, развить партнерство с важными участниками рынка.

Как мы видим, рыночные приоритеты связаны с динамикой спроса и предложения на конкретных рынках, основываются на потребностях покупателей, технологических тенденциях в отрасли и действиях конкурентов. Важно в «гонке инноваций» не нанести себе урон, не потерять рыночные позиции, не растерять конкурентные преимущества, тем самым, сохранить устойчивые позиции новаторской деятельности [Казиева, Гаджиев, 2023].

Учитывая все вышеизложенное, констатируем необходимость реализации для предприятия концепции сбалансированной инновационной политики, ориентированной на достижение равновесия между национальными и рыночными приоритетами в инновационной деятельности [Амитов, 2024].

Сама по себе эта концепция исходит от общей сбалансированности в инновационной деятельности, выражаемой в:

- компромиссе между непосредственными разработками, тестированием инновационного товара и его массовым производством. Частым упущением является не до конца доведенные новаторства, остановившиеся на этапах разработки или апробации, тем самым, предприятие демонстрирует несостоятельность в инноватике;

- баланс между краткосрочными и долгосрочными целями. Это требует четкого согласования краткосрочных и долгосрочных инновационных инициатив с общими стратегическими целями предприятия; эффективного распределения ресурсов на все цели, в том числе инновационные проекты; применения грамотного риск-менеджмента. Важно помнить, что для достижения долгосрочных целей порой необходимо поступательно реализовать цели более низкого ранга (краткосрочные или оперативные);

- баланс между рисками и ожидаемой прибылью. Риск по инновациям не всегда оправдывается, что требует от предпринимателя более взвешенного и продуманного решения, которое будет сводиться к определенной гармонии – соотношению допустимого риска к необходимому доходу. Такой выбор, несомненно, связан с его информированностью о конкретной инновации, его знаний, интуиции, мнением экспертов и его умением рисковать.

Концепция сбалансированной инновационной политики предприятия (КСИПП) предполагает согласование качественных и количественных связей всех элементов инновационной деятельности, включая компоненты инновационной среды. В то же время КСИПП представляет собой комплексный подход к управленческому воздействию на инновации, основанный на желании обеспечить гармонию (компромисс) между потребностями рынка (рыночными приоритетами) и стратегическими национальными направлениями (национальными приоритетами). Исходя из этого, выведем ключевые аспекты сбалансированной инновационной политики на уровне предприятия:

- мобильность: политика должна уметь вовремя подстроиться под изменения во внешнем и внутреннем окружении (экономические и социальные потрясения и кризисы, изменения в поведении потребителей и трансформация отечественного законодательства);

- устойчивое развитие: одними из актуальных целей политики являются, с одной стороны, создание устойчивой основы для будущего роста предприятия, а, с другой – выполнение социальных и экологических обязательств [Kamyshnikov, 2023];

- эффективное использование ресурсов: политика должна учитывать весь спектр задействованных в инноватике ресурсов (финансовые, человеческие, материально-технические, информационные, маркетинговые и интеллектуальные), что позволит эффективно их распределить по срокам использования, целям проектов или программ, объему, наличию, целесообразности.

Отсюда сделаем вывод, что КСИПП основывается на тесном взаимодействии внутренней и внешней среды предприятия. Для успешной ее реализации необходимо

проанализировать как внутренние возможности (навыки, технологический задел, процессы), так и внешние угрозы (конкуренция, изменение нормативных актов, мировые тренды).

С позиции раскрытия сущности сбалансированной инновационной политики не обойдем стороной ее соответствие следующей системе принципов:

1) принцип комплементарности предполагает гармоничное сочетание национальных приоритетов и рыночных механизмов. В условиях глобализации важно, чтобы государственная политика не подавляла рыночные стимулы и инициативы, а дополняла их, создавая условия для устойчивого инновационно-технологического развития. Данный принцип подразумевает, что государство должно корректировать рыночные дисбалансы, инвестируя в стратегически значимые отрасли, одновременно поддерживая конкурентную и инновационную среду;

2) принцип синергии акцентирует внимание на достижении совокупного эффекта, превышающего результаты отдельных новаторских инициатив. В инновационной сфере синергия возникает при эффективном взаимодействии науки (научного сообщества), бизнеса и государства, когда совместные проекты приводят к прорывным технологическим решениям. Реализация этого принципа требует координации между различными секторами экономики, а также создания институтов, научно-исследовательских площадок, способствующих эффективной интеграции исследований и производства [Ленчук, 2022];

3) принцип адаптивности отражает необходимость разработки вариативного реагирования и поведения на изменения в бизнес-среде. Инновационная политика не может быть статичной, она должна оперативно трансформироваться под влиянием технологических трендов, смены миссии бизнеса, изменений рыночной конъюнктуры, экономических колебаний и геополитических факторов. Адаптивность обеспечивается за счет мониторинга ключевых показателей, сценарного планирования и внедрения механизмов обратной связи между государством, бизнесом и научным сообществом;

4) принцип рискоориентированности предполагает системное управление рисками при выборе направлений инновационного развития. Поскольку инвестирование в новые технологии сопряжено с высокой неопределенностью, важно оценивать потенциальные угрозы и минимизировать их за счет диверсификации новаторских проектов, страхования рисков и применения превентивных мер, что позволит снизить вероятность значительных потерь и повысить эффект от инновационной деятельности.

Следовательно, перечисленные принципы формируют основу для построения сбалансированной инновационной политики предприятия, способствующей долгосрочному экономическому росту, технологической и инновационной независимости. Их комплексная реализация требует системного подхода, сочетающего стратегическое планирование с гибкостью и управлением рисками.

Заключение

В современной российской экономике существуют как национальные, так и рыночные приоритеты, оказывающие влияние на новаторскую деятельность предприятий, на формирование механизма и реализацию соответствующей политики. Ведущие страны мира, в том числе Россия, активно развивают и вводят стратегии по импортозамещению, концепцию технологического суверенитета и цифровизации экономических процессов. Предприятия, адаптирующие инновационную политику к национальным программам и проектам (например, поддержке высокотехнологичных отраслей), получают доступ к финансированию, субсидиям, госзаказам и льготам. Однако чрезмерная ориентированность на государственные приоритеты без учета рыночной конъюнктуры, потребительских мнений и предпочтений может снизить эффективность инноваций, а, следовательно, и всей инновационной политики.

Одновременно с этим находят отражение рыночные вызовы в виде активной фазы конкуренции на рынке инноваций, технологических прорывов в области цифровизации и искусственного интеллекта, создания и массового применения «зеленых» технологий,

ожиданий покупателей социально ориентированных инноваций, что вкупе требует от предпринимательства детальной гибкости в принятии управленческих решений в определенных областях своей деятельности. Следовательно, подводим итог, что разрабатываемые и вводимые инновации должны не только соответствовать государственным задачам и ориентирам, но и удовлетворять актуальным запросам потребителей, обеспечивать конкурентоспособность на региональном, национальном и мировом рынках.

Для этой цели необходима реализация концепции сбалансированной инновационной политики предприятия, которая бы учитывала приоритеты со стороны государства и делового окружения путем их гармонизации. Схематично такое балансирование можно представить следующим образом: государство → предприятие ← рынок.

Государство задает определенные «правила игры» через ввод нормативно-правовых актов и финансирование, подстегивая предприятия вкладываться в стратегически важные инновации. В свою очередь, рынок диктует спрос и определяет уровень конкуренции, заставляя бизнес-акторов адаптироваться к быстрым изменениям. Предприятию приходится балансировать между этими сторонами: например, в случае предоставления государством выгодных условий (льгот) на разработку инноваций в конкретной сфере, предприятие вряд ли упустит эту возможность, соответственно, вектор своей деятельности направит в данный сектор. А в это же время конкурентная среда требует применения цифровых технологий, что побудит предприятие находить резервы и возможности для удержания рыночных позиций посредством ввода оцифрованных бизнес-процессов. В этом и кроется посыл концепции сбалансированной инновационной политики, целями которой являются создание условий для непрерывного инновационного саморазвития предприятия, повышение эффективности производства инновационных благ и формирование конкурентных преимуществ на рынке новаторств в долгосрочной перспективе.

Список литературы

- Амитов Р.Т. 2024. Инновационная политика как способ обеспечения сбалансированного инновационного развития. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 5(5(146)): 194–199.
- Блохин К.В. 2024. Национальные приоритеты России в меняющемся мире. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Государственное и муниципальное управление*, 11(1): 7–18.
- Боркова Е.А. 2021. Экологические инновации и «зеленый бизнес»: потенциальные возможности для предпринимательства. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 5(131): 100–103.
- Ван Т. 2024. Управление корпоративными технологическими инновациями в контексте концепции ESG. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 14(1-1): 352–358.
- Гредасова Е.Е. 2021. Совершенствование системы импортозамещения и инновационной политики российских предприятий. *Вестник Самарского муниципального института управления*, 3: 7–13.
- Егина Н.А. 2024. Определение ключевых приоритетов региональной промышленной политики в интересах обеспечения национального технологического суверенитета. *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление*, 3(62): 18–30.
- Казијева Ж.Н., Гаджиев Ш.М. 2023. Инновационная деятельность предприятия как фактор устойчивого развития. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 13(5-1): 664–670.
- Кириллов Е.М., Кириллов С.И., Тоймбетов Д.Е., Юсупов Ю.М. 2023. Развитие инновационных технологий в деятельности предприятий. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 1(5(137)): 17–26.
- Коробкова О.К., Гасанов Э.А., Гасанова Н.В. 2024. Устойчивое развитие как один из приоритетов национальных целей безопасности России. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 4-1: 76–81.
- Ленчук Е.Б. 2022. Научно-технологическое развитие как стратегический национальный приоритет России. *Экономическое возрождение России*, 1(71): 58–65.
- Мазур Ю.А. 2023. Анализ государственных инструментов стимулирования инновационных технологий. *Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук*, 4(100): 26–31.
- Хачатурян М.В. 2022. Особенности цифровой трансформации управления инновационной деятельностью компаний. *Креативная экономика*, 16(2): 555–572.

- Шатская А.А. 2024. Сущность, содержание и особенности инновационной политики предприятия. *Региональные проблемы преобразования экономики*, 1(159): 89–99.
- Янченко Е.В. 2023. Инновационная деятельность предприятий в условиях цифровизации экономики. *Информатизация в цифровой экономике*, 4(3): 225–242.
- Dossanova A.K. 2023. Intellectual potential as an important factor in the socio-economic development of the country. *Science and Education*, S2-1(71): 164–170.
- Kalygina V.V. 2022. International technology transfer as an effective tool of export-oriented import substitution in Russia. *RUDN Journal of Economics*, 30(2): 231–241.
- Kamyshnikov I.N. 2023. Application of modern technologies for the purposes of sustainable development. *Economics and Management*, 1(44): 61–68.
- Kurpayanidi K. 2023. The role of innovation and innovative activities in the conditions of economic transformation: analysis of theoretical aspects. *Economy: Analysis and Forecasts*, 2(22): 14–20.
- Somina I.V., Falko A.I. 2023. Comparative and correlation analysis of the parameters of digitalization and innovation activity of business and transport organizations. *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. 615–621.
- Tropynina N.Ye. 2024. Innovativeness as a determinant of enterprise competitiveness. *Economy and Business: Theory and Practice*, 10-2(116): 119–121.

References

- Amitov R.T. 2024. Innovatsionnaya politika kak sposob obespecheniya sbalansirovannogo innovatsionnogo razvitiya [Innovation policy as a way to ensure balanced innovative development]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 5(5(146)): 194–199 (in Russian).
- Blokhin K.V. 2024. Natsional'nye priority Rossii v menyayushchemsya mire [National priorities of Russia in a changing world]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie*, 11(1): 7–18 (in Russian).
- Borkova E.A. 2021. Ekologicheskie innovatsii i «zelenyy biznes»: potentsial'nye vozmozhnosti dlya predprinimatel'stva [Ecological innovations and "green business": potential opportunities for entrepreneurship]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 5(131): 100–103 (in Russian).
- Van T. 2024. Upravlenie korporativnymi tekhnologicheskimi innovatsiyami v kontekste kontseptsii ESG [Management of corporate technological innovations in the context of the ESG concept]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*, 14(1-1): 352–358 (in Russian).
- Gredasova E.E. 2021. Sovershenstvovanie sistemy importozameshcheniya i innovatsionnoy politiki rossiyskikh predpriyatiy [Improvement of the import substitution system and innovation policy of Russian enterprises]. *Vestnik Samarskogo munitsipal'nogo instituta upravleniya*, 3: 7–13 (in Russian).
- Egina N.A. 2024. Opredelenie klyuchevykh prioritytov regional'noy promyshlennoy politiki v interesakh obespecheniya natsional'nogo tekhnologicheskogo suvereniteta [Defining key priorities of regional industrial policy in the interests of ensuring national technological sovereignty]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie*, 3(62): 18–30 (in Russian).
- Kazieva Zh.N., Gadzhiev Sh.M. 2023. Innovatsionnaya deyatel'nost' predpriyatiya kak faktor ustoychivogo razvitiya [Enterprise innovation activity as a factor of sustainable development]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*, 13(5-1): 664–670 (in Russian).
- Kirillov E.M., Kirillov S.I., Toimbetov D.E., Yusupov Yu.M. 2023. Razvitie innovatsionnykh tekhnologiy v deyatel'nosti predpriyatiy [Development of innovative technologies in enterprise activity]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 1(5(137)): 17–26 (in Russian).
- Korobkova O.K., Gasanov E.A., Gasanova N.V. 2024. Ustoychivoe razvitie kak odin iz prioritytov natsional'nykh tseley bezopasnosti Rossii [Sustainable development as one of the priorities of Russia's national security goals]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*, 4-1: 76–81 (in Russian).
- Lenchuk E.B. 2022. Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie kak strategicheskii natsional'nyy priority Rossii [Scientific and technological development as a strategic national priority of Russia]. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*, 1(71): 58–65 (in Russian).
- Mazur Yu.A. 2023. Analiz gosudarstvennykh instrumentov stimulirovaniya innovatsionnykh tekhnologiy [Analysis of state instruments for stimulating innovative technologies]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i sotsial'no-ekonomicheskikh nauk*, 4(100): 26–31 (in Russian).
- Khachaturyan M.V. 2022. Osobennosti tsifrovoy transformatsii upravleniya innovatsionnoy deyatel'nost'yu kompaniy [Features of digital transformation of innovation management in companies]. *Kreativnaya ekonomika*, 16(2): 555–572 (in Russian).

- Shatskaya A.A. 2024. Sushchnost', sodержanie i osobennosti innovatsionnoy politiki predpriyatiya [Essence, content, and features of enterprise innovation policy]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki*, 1(159): 89–99 (in Russian).
- Yanchenko E.V. 2023. Innovatsionnaya deyatel'nost' predpriyatiy v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki [Innovation activity of enterprises in the conditions of digitalization of the economy]. *Informatizatsiya v tsifrovoy ekonomike*, 4(3): 225–242 (in Russian).
- Dossanova A.K. 2023. Intellectual potential as an important factor in the socio-economic development of the country. *Science and Education*, S2-1(71): 164–170.
- Kalygina V.V. 2022. International technology transfer as an effective tool of export-oriented import substitution in Russia. *RUDN Journal of Economics*, 30(2): 231–241.
- Kamyshnikov I.N. 2023. Application of modern technologies for the purposes of sustainable development. *Economics and Management*, 1(44): 61–68.
- Kurpayanidi K. 2023. The role of innovation and innovative activities in the conditions of economic transformation: analysis of theoretical aspects. *Economy: Analysis and Forecasts*, 2(22): 14–20.
- Somina I.V., Falko A.I. 2023. Comparative and correlation analysis of the parameters of digitalization and innovation activity of business and transport organizations. *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. 615–621.
- Tropygina N.Ye. 2024. Innovativeness as a determinant of enterprise competitiveness. *Economy and Business: Theory and Practice*, 10-2(116): 119–121.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 06.08.2025

Поступила после рецензирования 02.10.2025

Принята к публикации 24.11.2025

Received August 06, 2025

Revised October 02, 2025

Accepted November 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Осыченко Екатерина Вячеславовна, старший преподаватель кафедры мировой экономики и финансового менеджмента института экономики и менеджмента, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ekaterina V. Osychenko, Senior Lecturer at the Department of World Economy and Financial Management, Institute of Economics and Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 338.45

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-798-805

EDN FIAQFV

О формировании новых точек роста в промышленности страны

¹Авилова В.В., ²Владыка М.В.

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет
Россия, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
avilovavv@mail.ru, vladyka@bsuedu.ru

Аннотация. Целью статьи является выявление новых для промышленности страны точек роста как на уровне отраслей, так и для отдельных предприятий, ставшее актуальным в связи с переходом от стратегии импортозамещения к стратегии технологического рывка. Эффективная поддержка новых точек роста обеспечивается выработкой обоснованных критериальных требований к ним и оценкой ожидаемых результатов. Исследования в данной сфере позволят заблаговременно развивать промышленные производства, которые станут флагманскими на следующих этапах инновационного развития, и создавать для этого научный, технический и кадровый задел. Изучение опыта формирования новых точек роста в промышленно развитых регионах, к которым относится Республика Татарстан, позволяет выявить потенциальные риски, проблемы оптимального выбора и социально-экономическую результативность данной программы промышленного развития для оценки целесообразности тиражирования опыта региона в других субъектах Российской Федерации. Методологический инструментарий исследования базируется на применении общенаучных и специальных методов, таких как обобщение и сопоставление, анализ данных и синтез, метод экспертных оценок. Для выявления формирующихся трендов развития используется метод сравнения и контент-анализ. Информационной базой исследования выступают научные публикации, посвященные сущности новых точек роста в промышленности и описанию сложившегося инструментария их поддержки. В качестве материалов исследования использовались нормативно-правовые акты и статистические данные. В статье предложены критерии отнесения промышленных производств к новым точкам роста как для отрасли, так и для отдельных предприятий. На мезоуровне целесообразно оценивать степень их влияния на рост валового регионального продукта, масштабы наращивания экспорта, увеличение доли инновационной конечной продукции. Для отдельных предприятий – количество новых направлений деятельности и диверсификацию продуктовой линейки, обеспечивающих рост прибыли, расширение рынков сбыта и каналов продаж, появление новой целевой аудитории. Проанализированы региональные меры, направленные на формирование новых точек роста и их результативность, позволяющие выработать рекомендации для масштабирования полученного опыта Республики Татарстан и его распространения в других регионах.

Ключевые слова: новые точки роста, критерии качества промышленного развития

Для цитирования: Авилова В.В., Владыка М.В. 2025. О формировании новых точек роста в промышленности страны. *Экономика. Информатика*, 52(4): 798–805. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-798-805; EDN FIAQFV

On the Formation of New Growth Points in the Country's Industry

¹Vilora V. Avilova, ²Marina V. Vladyka

¹Kazan National Research Technological University
68 K. Marx St., Kazan 420015, Republic of Tatarstan, Russia

²Belgorod State National Research University
85 Pobeda St., Belgorod 308015, Russia
avilovavv@mail.ru, vladyka@bsuedu.ru

Abstract. The purpose of this article is to identify new growth opportunities for the country's industry, both at the sectoral and enterprise levels, which has become relevant in the context of the transition from an import substitution strategy to a technological breakthrough. Effective support for new growth opportunities is ensured by developing sound criteria for them and assessing expected results. Research in this area will enable the proactive development of industrial production facilities that will become flagships in the next stages of innovative development and will create the necessary scientific, technical, and personnel resources. A study of the experience of developing new growth opportunities in industrially developed regions, including the Republic of Tatarstan, allows us to identify potential risks, challenges in optimal selection, and the socioeconomic impact of this industrial development program in order to assess the feasibility of replicating the region's experience in other constituent entities of the Russian Federation. The research methodology utilizes general and specialized scientific methods, such as generalization and comparison, data analysis and synthesis, and expert assessment. Comparison and content analysis are used to identify emerging development trends. The research base is comprised of scientific publications devoted to the nature of new growth areas in industry and descriptions of the existing tools for supporting them. Regulatory and statistical data were used as research materials. The article proposes criteria for classifying industrial production as new growth areas for both the industry and individual enterprises. At the meso level, it is advisable to assess the degree of their impact on the growth of the gross regional product, the scale of export growth, and the increase in the share of innovative final products. For individual enterprises, this includes the number of new business lines and product line diversification, ensuring profit growth, expanding sales markets and channels, and the emergence of a new target audience. Regional measures aimed at creating new growth areas and their effectiveness are analyzed, allowing for the development of recommendations for scaling up the experience gained in the Republic of Tatarstan and disseminating it to other regions.

Keywords: new growth points, criteria for the quality of industrial development

For citation: Avilova V.V., Vladyka M.V. 2025. On the Formation of New Growth Points in the Country's Industry. *Economics. Information technologies*, 52(4): 798–805 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-798-805; EDN FIAQFV

Введение

Развитие экономики страны все чаще осуществляется через формирование новых точек роста как в создающихся инновационных отраслях промышленности, так и в традиционных, нуждающихся в быстрой перестройке на основе импортозамещения. Точки роста, доказавшие свою результативность, как правило поддерживаются региональными властями и заполняют продуктовые ниши, созданные санкционным давлением. Это может приводить к быстрому росту промышленных производств, еще недавно не включенных в число региональных опорных промышленных компаний, то есть формирование новых точек роста приводит к диверсификации отраслевой структуры регионов. Поскольку региональные власти оказывают поддержку новым точкам роста, важно определить критерии их эффективности. Изучение передового опыта создания новых точек роста создает условия для их масштабирования и тиражирования на других территориях.

Региональные точки роста изучались французским экономистом Ф. Перру, отмечавшим, что формирование роста осуществляется локально исходя из несбалансированного экономического развития [Perroux, 1970]. Рост, проявившийся в определенных точках, распространяется далее по различным каналам. Взаимодействие окружения с точками роста

ведет к формированию зон развития. В последнее десятилетие проблематика поиска новых точек роста изучалась А. Аганбегяном и Р. Нигматуллиным [Аганбегян, Нигматулин, 2025], О.И. Донцовой [Донцова, 2021], С. Раевским и Ю. Исаченко [Раевский, Исаченко 2014] и другими. На Экономическом форуме 2024 года в Санкт-Петербурге доклад Президента Российской Федерации был посвящен задачам формирования новых точек роста в экономике страны. Материалы по точкам роста рассматривались как на региональном уровне, так и по программам развития промышленных предприятий.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются проекты, обеспечивающие быстрый рост показателей промышленного производства, создающие новые продукты или внедряющие новые технологии, использующие искусственный интеллект, цифровые методы управления, дифференцирующие продуктовую линейку, расширяющие рынки сбыта и использующие инфраструктурные объекты. Методами исследования явились анализ и синтез, экспертные оценки, обобщение и сопоставление.

Результаты и их обсуждение

В экономической литературе тренд формирования «стратегии развития» уступил тренду поиска новых точек роста, то есть акценты в управлении сместились с общего курса развития промышленных компаний на реализацию конкретных проектов, способных обеспечить быстрое увеличение масштабов бизнеса. Таким образом, стратегии развития воплощаются в жизнь именно через создание конкретных точек роста. Важнейшей задачей экономической науки становится отбор приоритетных точек роста. Точка роста – это отрасль или крупное предприятие, которые в определенный период имеют наибольшую значимость в контексте развития экономики [Клевцова и др., 2023]. Для промышленности страны в целом вклад точек роста ожидается через повышение конкурентоспособности на международных рынках, причем в несырьевых секторах, на основе диверсификации производства и его цифровизации [Гарина и др., 2025; Черноусов, 2025]. Новые точки роста формируются в наукоемких отраслях промышленности: роботостроении, атомной и водородной энергетике, аэрокосмической сфере, микробиологическом производстве, информационных технологиях, микроэлектронике, квантовых технологиях, сенсорике, нейротехнологиях 3D-печати, создании новых материалов. Однако современные реалии требуют появления новых точек роста и в традиционных отраслях, попавших в сложную ситуацию в связи с долговременным приобретением зарубежной техники и лицензий. Одной из базовых отраслей промышленности, оказавшейся в сложном положении и нуждающейся в быстром наращивании производственного потенциала, является машиностроение. В настоящее время в России 60 % заводских станков устарели как морально, так и технически. Многим из них более 30 лет, а современные машины, возраст которых менее 5 лет, составляют менее 10 % оборудования, то есть обновление станочного парка идет медленными темпами. Осложняется ситуация тем, что 80 % оборудования импортное, и его обновление зачастую затруднено [Наумов, 2025]. В этих условиях важной точкой роста становится налаживание внутри страны полного цикла сборки механического оборудования. Подтверждением формирования новой точки роста в машиностроении страны служит тот факт, что в 2024 году в России произвели станков на 17 трлн руб., а за последние 3 года их производство увеличилось более чем на 50 %. Главными двигателями прогресса стали отрасли, выпускающие приборы, электротехнику и механическое оборудование.

Развитие производств нового поколения строится на модернизации всей инфраструктуры, крупномасштабном инвестировании, развитии человеческого капитала, адресной государственной поддержке [Левенцов, Левенцов, 2024; Измайлова и др., 2025]. От степени развития инфраструктуры зависит, с какой скоростью и в каком масштабе будет распространяться мультипликативный эффект от функционирования точки роста [Брынцев, 2025; Vladyka et al., 2022]. В инфраструктуру сопровождения точек роста входят научно-исследовательские организации, цифровые платформы, структура тиражирования инноваций, подготовка научных кадров.

Для отнесения проекта к новым точкам роста важно оценить потенциал его инновационного развития и возможность обеспечить долговременный социально-экономический эффект в регионе.

В связи с изменением стратегии развития промышленности в октябре 2025 года в Республике Татарстан обновлен инвестиционный меморандум на 2026–2028 годы. Теперь в список первостепенных задач вошли проекты с искусственным интеллектом, цифровыми платформенными экосистемами, разработка наукоемких технологий и продукции, преимущественно в машиностроении, развитие транспорта. Приоритетными для развития признаются высокотехнологичные производства, ориентированные на экспорт, развитие промышленной инфраструктуры. Из списка приоритетных задач удалены механизмы поощрения капитальных вложений и развитие электронной торговли [Бизнес онлайн, 2025]. К 2030 году Татарстан наметил создание высокотехнологичной металлообработки, использующей 3D-печать металлом и внедрение в металлургию зеленых технологий. В настоящее время в Татарстане работает более 1500 машиностроительных компаний, имеющих выручку более 1,5 трлн руб.

Итак, развитие промышленности Татарстана осуществляется по проектному принципу, причем проект относится к категории «новых точек роста», если его реализация обеспечивает быстрый рост прибыли, увеличение доли на рынке и повышение эффективности деятельности. В настоящее время это чаще всего связано с переходом на выпуск нового продукта или расширением клиентской базы. Поиск точек роста для отдельного предприятия осуществляется через такие меры, как аудит бизнеса и бизнес-процессов, ассортимента продукции, анализ рынка, клиентской базы, системы мотивации персонала.

По экспертным оценкам в 2025 году основными точками роста компаний явились внедрение проектного управления для запуска производства новых продуктов, сегментация клиентов и улучшение клиентского опыта через сквозные процедуры, новые модели мотивации персонала, повышение привлекательности бренда. Они анализировались с точки зрения сложности реализации проекта и величины расходов на него в сопоставлении с величиной дополнительной выручки, возможностью найти новые ниши и получить конкурентные преимущества. За счет правильного выбора точек роста Татарстан остается одним из лидеров по динамике развития промышленности. В результате рост промышленного производства в обрабатывающих отраслях в Татарстане за январь – август 2025 года составил 19,7 %, а для России этот показатель оказался меньше 1 % (табл. 1) [KazanFirst, 2025].

Таблица 1
Table 1

Вклад Республики Татарстан в промышленный комплекс России
Contribution of the Republic of Tatarstan to the industrial complex of Russia

№ п/п	Наименование производства	Доля Республики Татарстан в общероссийском производстве (%)
1	Производство полиэтилена	24,3
2	Производство грузовых автомобилей	30,6
3	Производство синтетических каучуков	41,6
4	Производство грузовых автомобильных шин	61,6
5	Переработка добываемой нефти	70,0

Характерной чертой проектов, формирующих новые точки роста, является использование искусственного интеллекта. Базовым для экономики Республики Татарстан является топливно-энергетический комплекс, демонстрирующий данную тенденцию в 2023 году. 21 % компаний в нем пользовались технологиями искусственного интеллекта, в 2024 – уже 30 %, а к 2028 году ожидается цифра в 70 %. Уже сейчас плотность роботизации составляет

около 29 машин на 10 тысяч работающих людей. Процесс промышленной роботизации сдерживается многочисленными законодательными ограничениями, так, меры поддержки существуют только для промышленных роботов, в то время как на передовых предприятиях задействовано и множество сервисных роботов [Пуншева, 2025].

Базовые показатели экономики Республики Татарстан демонстрируют более высокий рост по сравнению с общероссийскими (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Основные показатели Республики Татарстан как точки роста экономики России
 (2020–2025 гг.), млрд руб.
 The main indicators of the Republic of Tatarstan as a point of growth of the Russian economy
 (2020–2025), billion rubles

№ п/п	Наименование показателя	2020 г.	2024 г.	% к уровню 2020 г.	I–III квартал 2025 г.	% к уровню 2024 г.
1	Валовой региональный продукт Республики Татарстан	2631,3	5203,5	117,9	3705,2	102,9
2	Объем отгруженной продукции	2780,6	5651,4	125,3	3743,0	111,0
3	Объем инвестиций в основной капитал	615,6	1435,1	160,0	660,0	114,6

Сложившаяся в экономике Татарстана ситуация привела к необходимости кроме традиционных точек роста в нефтяной отрасли создавать другие новые точки роста – к 2030 году в республике планируется создать кластер по производству металлообрабатывающего оборудования, для которого идет подбор опорного ядра. Новым сектором в создаваемом кластере послужат аддитивные технологии, поскольку при помощи 3D-печати конструктивных элементов вдвое сокращается время разработки изделий. Пока аддитивные технологии в Татарстане внедрили Казанский вертолетный завод и КАМАЗ [Игнатьева, 2025]. Новые точки роста республика формирует и в порядке импортозамещения. Так, 01.10.2025 в республике запустили завод по производству литий-ионных аккумуляторных батарей, предназначенный не только для замещения 50 % продукции, но и расширяющий экспорт продукции в Казахстан, Кыргызстан, Беларусь. В России подобных производств – всего два. Татарстанское предприятие ожидает годовую выручку на уровне 2,2 млрд руб. при инвестициях в 1,5 млрд руб. Проектная мощность составляет 700 тыс. единиц с масштабированием к 2030 году до 6,5 млн единиц [Гарифуллина, 2025]. Традиционно крупномасштабные проекты, создающие новые точки роста, осуществляются в топливно-энергетическом комплексе. Так, ПАО «Нижнекамскнефтехим» по сравнению с январем – июнем 2024 года увеличил выпуск базовых полимеров на 30 % с 552 тыс. тонн до 717 тыс. тонн за счет подбора технологического режима на альтернативном катализаторе, что обеспечило рост эффективности производства. Проект был оформлен как целевая программа по стабилизации работы оборудования. Чистая прибыль предприятия по итогам первого полугодия 2025 года выросла на 34,6 % с 19,7 млрд руб. до 26,5 млрд руб. Итак, выявлена зависимость между созданием эффективных точек роста региона и его инновационной инфраструктурой (табл. 3).

Стратегический выбор в пользу формирования точек роста и диверсификации на их основе экономики региона обеспечивает получение мультипликативных, финансовых и социальных эффектов.

Таблица 3
Table 3

Инфраструктурные точки роста Республики Татарстан
Infrastructure growth points of the Republic of Tatarstan

№ п/п	Наименование показателя	Особая экономическая зона «Алабуга»	Особая экономическая зона «Иннополис»	Особая экономическая зона «Зеленая долина»	Территории опережающего развития
1	Выручка, млрд руб.	305	50,3	17	491
2	Инвестиции, млрд руб.	19	142	15	54
3	Количество промышленных предприятий, шт.	43	136	6	нет данных
4	Количество рабочих мест, шт.	26000	7000	440	16500

Заключение

Формирование точек роста в регионе нередко решает проблему дефицита поставок зарубежного оборудования, повышает конкурентоспособность продукции, обеспечивает диверсификацию ассортимента. В результате улучшается инвестиционный климат, появляются дополнительные рабочие места. Для реализации программы создания новых точек роста в промышленности важна полноценная инфраструктура поддержки, включающая работу на всех стадиях жизненного цикла инновационных продуктов. В результате увеличиваются объемы экспорта продукции, предполагающие продажу несырьевых конечных товаров, с соответствующим ростом валового регионального продукта и прибыли.

Список источников

- Аганбегян, А. Анатомия кризиса и новые точки роста: прогноз развития экономики / А. Аганбегян, Р. Нигматулин. Росконгресс: офиц. сайт. URL: https://roscongress.org/materials/anatomiya-krizisa-i-novye-tochki-rosta-prognoz-razvitiya-ekonomiki-ot-akademikov-ran-abela-aganbegya/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения 08.10.2025).
- Гарифуллина, Г. Татарстан хочет локализовать до 50 % компонентов аккумуляторных систем. Реальное время: офиц. сайт. URL: <https://realnoevremya.ru/articles/358994-tatarstan-hochet-lokalizovat-do-50-komponentov-akkumulyatornyh-sistem> (дата обращения 08.10.2025).
- Игнатьева, Л. Все хотят российское, но не дороже зарубежного аналога. Реальное время: офиц. сайт. URL: https://dzen.ru/a/aN2YDKNCZnqR6QUY?share_to=link (дата обращения 08.10.2025).
- ИИ, машиностроение и поддержка малых компаний: в инвестиционном меморандуме Татарстана обновят приоритеты. Бизнес онлайн: офиц. сайт. URL: <https://www.business-gazeta.ru/news/684543> (дата обращения 07.10.2025).
- Наумов, П. Что тормозит промышленность Татарстана. Вечерняя Казань: офиц. сайт. URL: <https://www.evening-kazan.ru/ekonomika/articles/chto-tormozit-promyshlennost-tatarstana> (дата обращения 08.10.2025).
- Пуншева, Е. Искусственный интеллект и человек – команда или соперники? Реальное время: офиц. сайт. URL: https://dzen.ru/a/aN6K6qNCZnqREth?share_to=link (дата обращения 08.10.2025).
- «Растем в двенадцать раз быстрее, чем Россия»: Татарстан идет против экономических трендов. KazanFirst: офиц. сайт. URL: <https://kazanfirst.ru/articles/rastem-v-dvenadczat-raz-bystree-chem-rossiya-tatarstan-idet-protiv-ekonomicheskikh-trendov#comments> (дата обращения 08.10.2025).

Список литературы

- Брынцев А.Н. 2025. Перспективы развития промышленности в условиях цифровой экономики. *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*, 1: 89–93. DOI: 10.56584/1560-8816-2025-1-89-93

- Гарина Е.П., Кузнецов В.П., Виноградов Н.В. 2025. Проблемы и перспективы развития российского промышленного комплекса в условиях макро- и микроэкономической нестабильности. *Вестник Института экономических исследований*, 37 (1(37)): 56–65.
- Донцова О.И. 2021. Точки роста российской экономики, основанные на научно-технологическом развитии. *Вопросы инновационной экономики*, 11 (2): 471–484. DOI 10.18334/vinec.11.2.112263.
- Клевцова М.Г., Положенцева Ю.С., Чаплыгина В.А. 2023. Формирование приоритетных точек роста промышленности в условиях санкционного давления как направление развития техноэкономики. *Экономика и управление*, 29 (11): 1297–1306. DOI 10.35854/1998-1627-2023-11-1297-1306.
- Левенцов В.А., Левенцов А.Н. 2024. Проблемы и перспективы развития промышленности в Российской Федерации. *Финансовый бизнес*, 11: 100–104.
- Раевский С., Исаченко Ю. 2014. Социально-экономические эффекты развития региональных точек роста. *Государственная служба*, 6(92): 12–16.
- Современное состояние и перспективы научно-технологического развития промышленных предприятий. 2025. М.А. Измайлова, Л.Г. Азаренко, М.Я. Веселовский [и др.]. Москва : Мир науки, 235 с. DOI 10.15862/03MNNPM25.
- Черноусов Д.А. 2025. Технологический суверенитет как стратегический приоритет развития России: анализ и перспективы. *Вопросы инновационной экономики*, 15 (1): 39–56. DOI 10.18334/vinec.15.1.122564
- Formation of a macro-region for the effective management of the industrial complex. 2022. M. Vladyka, E. Stryabkova, I. Chistnikova [et al.]. *Nexo Revista Científica*, 35 (01): 272–280. DOI 10.5377/nexo.v35i01.13944.
- Perroux F. 1970. Note sur la Notion de Pole de Croissance. *Economic Appliquée*, 307–320.

References

- Bryntsev A.N. 2025. Prospects for the Development of Industry in the Digital Economy. *RISK: Resources, Information, Supply, and Competition*, 1: 89–93 (in Russian). DOI: 10.56584/1560-8816-2025-1-89-93
- Garina E.P., Kuznetsov V.P., Vinogradov N.V. 2025. Problems and Prospects of the Russian Industrial Complex Development in the Conditions of Macro- and Microeconomic Instability. *Bulletin of the Institute of Economic Research*, 37 (1(37)): 56–65 (in Russian).
- Dontsova O.I. 2021. Growth Points of the Russian Economy Based on Scientific and Technological Development. *Issues of Innovative Economics*, 11 (2): 471–484 (in Russian). DOI 10.18334/vinec.11.2.112263.
- Klevtsova M.G., Polozhentseva Yu.S., Chaplygina V.A. 2023. Formation of priority points for industrial growth in the context of sanctions pressure as a direction for the development of technoeconomics. *Economy and Management*, 29 (11): 1297–1306 (in Russian). DOI 10.35854/1998-1627-2023-11-1297-1306.
- Levenetsov V.A., Levenetsov A.N. 2024. Problems and Prospects of Industrial Development in the Russian Federation. *Financial Business*, 11: 100–104 (in Russian).
- Raevsky S., Isachenko Yu. 2014. Socio-economic effects of the development of regional growth points. *Public Service*, 6 (92): 12–16 (in Russian).
- The current state and prospects of scientific and technological development of industrial enterprises. 2025. M.A. Izmailova, L.G. Azarenko, M.Ya. Veselovsky [et al.]. Moscow: Mir Nauki, 235 p. (in Russian). DOI 10.15862/03MNNPM25
- Chernousov D.A. 2025. Technological sovereignty as a strategic priority of Russia's development: analysis and prospects. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki*, 15. (1): 39–56 (in Russian). DOI 10.18334/vinec.15.1.122564
- Formation of a macro-region for the effective management of the industrial complex 2022. M. Vladyka, E. Stryabkova, I. Chistnikova [et al.]. *Nexo Revista Científica*, 35 (01): 272–280. DOI 10.5377/nexo.v35i01.13944.
- Perroux F. 1970. Note sur la Notion de Pole de Croissance. *Economic Appliquée*, 307–320.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 09.10.2025

Поступила после рецензирования 03.11.2025

Принята к публикации 24.11.2025

Received October 09, 2025

Revised November 03, 2025

Accepted November 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Авилова Вилора Вадимовна, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Татарстан, почетный работник высшего образования Российской Федерации, профессор кафедры бизнес-статистики и экономики, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

Владыка Марина Валентиновна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vilora V. Avilova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Honored Scientist of the Republic of Tatarstan, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Professor of the Department of Business Statistics and Economics, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Marina V. Vladyka, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 338.012
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-806-817
EDN GDFUSG

Логистика морских контейнерных перевозок в России: вызовы и факторы роста

Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П.
Северо-Западный институт управления – филиал РАНХиГС
Россия, 199178, Санкт-Петербург, Средний пр. В.О., д. 57/43
Selyukov-mv@ranepa.ru

Аннотация. В условиях перестройки глобальных торговых потоков и длительных внешнеэкономических ограничений сфера морских контейнерных перевозок играет ключевую роль в обеспечении экономической устойчивости и поддержании внешнеторговых связей. Трансформация географии поставок и растущая геополитическая нестабильность создают ряд серьёзных вызовов для эффективности развития логистических цепочек поставок и стабильности контейнерооборота. Несмотря на сложности, сектор продемонстрировал определенную адаптивность, оперативно перестраивая логистические маршруты и развивая альтернативные направления. Однако для дальнейшего устойчивого развития необходимо решение ряда задач, включая оптимизацию логистических издержек, стабилизацию внутренних макроэкономических факторов, а также развитие пропускной способности портов страны. В работе проведён анализ ключевых факторов, влияющих на стоимость логистических услуг и эффективность транспортных коридоров, с целью понимания сложившихся тенденций и перспектив развития морских контейнерных перевозок в Российской Федерации в условиях неопределённости.

Ключевые слова: контейнерооборот, география поставок, геополитическая нестабильность, логистические издержки, перевалка грузов, трансформация рынка

Для цитирования: Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П. 2025. Логистика морских контейнерных перевозок в России: вызовы и факторы роста. *Экономика. Информатика*, 52(4): 806–817. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-806-817; EDN GDFUSG

Sea Container Logistics in Russia: Challenges and Growth Factors

Maksim V. Selyukov, Ekaterina O. Tsevenkova, Natalya P. Shalygina
RANEPA St. Petersburg
57/43 Sredny Ave. V.O., St. Petersburg 199178, Russia
Selyukov-mv@ranepa.ru

Abstract. In the context of restructuring the global trade flows and long-term foreign economic restrictions, the maritime container transportation sector plays a crucial role in ensuring economic stability and maintaining foreign trade relations. The transformation of supply geography and increasing geopolitical instability pose significant challenges to the efficiency of logistics supply chains and the stability of container traffic. Despite these challenges, the sector has demonstrated adaptability by quickly reshaping logistics routes and developing alternative destinations. However, in order to achieve further sustainable development, it is necessary to address a number of challenges, including optimizing logistics costs, stabilizing internal macroeconomic factors, and developing the country's port capacity. This paper analyzes the key factors that influence the cost of logistics services and the efficiency of transport corridors, in order to understand the current trends and prospects for development.

Keywords: container turnover, supply geography, geopolitical instability, logistics costs, cargo transshipment, market transformation

For citation: Selyukov M.V., Tsevenkova E.O., Shalygina N.P. 2025. Sea Container Logistics in Russia: Challenges and Growth Factors. *Economics. Information technologies*, 52(4): 806–817 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-806-817; EDN GDFUSG

Введение

Российская Федерация вступает в период существенной трансформации своей транспортной архитектуры, целью которой является раскрытие потенциала перевозок и повышение стандартов логистического сервиса. На фоне усиливающегося глобального геополитического и санкционного давления развитие международных морских перевозок и, в частности, контейнерных перевозок приобретает особую актуальность для обеспечения национальной экономической безопасности и укрепления позиций на мировом рынке. Стратегическое значение этой сферы подтверждается наличием ключевых государственных документов, таких как Морская доктрина Российской Федерации, Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года, Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года, Стратегия развития внутреннего водного транспорта и Стратегия развития судостроительной промышленности [Стратегия, 2019].

Сфера морских контейнерных перевозок, пережившая беспрецедентный период высокой доходности в начале 2020-х годов, сталкивается с прогнозируемым структурным дисбалансом между спросом и предложением, который, по оценкам ведущих аналитических агентств, сохранится до конца текущего десятилетия. Этот прогноз обусловлен комплексом взаимосвязанных глобальных экономических и отраслевых факторов. Актуальные международные экономические прогнозы, в частности, обновленный доклад Международного валютного фонда за июль 2025 года, указывают на неоднозначную перспективу: ожидаемый значительный рост мировой торговли в 2025 году (до 3,5 %) может быть нивелирован последующим замедлением до 1,9 % в 2026 году, что повлияет на географию поставок и их объемы [International Monetary Fund, 2025].

Аналитики Sea-Intelligence, комментируя данные МВФ, подчеркивают, что наблюдаемый рост объемов торговли может быть временным, не отражая базовый спрос, который, вероятно, подвергнется коррекции [Sea-Intelligence, 2025]. Эксперты прогнозируют период высокой неопределенности и волатильности на мировых рынках с существенным риском внезапного падения спроса уже в 2026 году. В условиях слабого спроса, избыточного предложения мощностей и нестабильности в торговой политике, операторы рынка вынуждены пересматривать свои финансовые прогнозы. Это уже проявляется в снижении планов на будущее ведущими компаниями, такими как японская ONE, и отражается в динамике индексов контейнерных перевозок, например, Шанхайского индекса SCFI.

Текущая рыночная ситуация характеризуется неустойчивостью и неопределенностью. Продолжавшийся с февраля спад импортных перевозок оказал существенное негативное влияние на рынок контейнерных перевозок, приведя к значительному снижению доходности и маржи. Существующие рыночные реалии рисуют сложную перспективу для отрасли, что диктует необходимость пересмотра стратегических подходов и определения новых векторов развития. Например, значительное превосходство во времени доставки грузов из европейской части России в дальневосточный регион по сравнению с мировыми показателями (в 2–3 раза) напрямую сказывается на конкурентоспособности отечественной продукции на азиатских рынках [Селюков, Цевенкова, Шалыгина, 2025]. В этих условиях возрастает значение научно-исследовательской деятельности, сфокусированной на диагностике сдерживающих факторов транспортной отрасли РФ и выработке действенных решений. Такой анализ требует комплексного учета как устоявшихся аспектов, таких как состояние инфраструктуры и ценовая политика, так и актуальных направлений, включая цифровую трансформацию логистики, развитие интермодальных перевозок, адаптацию к меняющейся геополитической обстановке и задачи импортозамещения [Соломатина, 2025; Юдин, 2024].

Объекты и методы исследования

Транспортный комплекс Российской Федерации, будучи основой национальной экономики, остаётся гарантом территориальной целостности, экономической связности и безопасности. В рамках настоящего исследования проводится анализ системы морских контейнерных перевозок в России, охватывающий весь спектр процессов – от динамики контейнерооборота и ценообразования на фрахт до совершенствования географии поставок и развития внутренней портовой инфраструктуры. Особое внимание уделяется функционированию этой системы в условиях внешнеэкономических ограничений, трансформации торговых потоков и влияния геополитической нестабильности на эффективность и устойчивость отрасли.

Предметом настоящего исследования является анализ вызовов и факторов роста, формирующих динамику развития морских контейнерных перевозок в России. В частности, рассматриваются закономерности в изменении контейнерооборота, анализируется влияние санкционного давления и внешнеэкономических ограничений на формирование фрахтовых ставок и адаптацию географии поставок, а также определяются ключевые драйверы, способствующие повышению конкурентоспособности и устойчивости отрасли в современных условиях.

Комплексный методологический подход стал основой для достижения исследовательских целей и решения поставленных задач. Для всестороннего анализа и выявления взаимосвязей между экономическими, геополитическими и инфраструктурными драйверами морских контейнерных перевозок применялись базовые общенаучные инструменты – анализ и синтез, а также фундаментальные принципы системного подхода. Детальное изучение специфики отдельных логистических операций, конфигурации географии поставок, динамики фрахтовых ставок и развития контейнерооборота проводилось посредством анализа специализированных кейсов и компаративного исследования.

Ключевым аспектом методологии стало использование интегративного подхода, сочетающего макроэкономический анализ с микроэкономическим изучением рыночных процессов. Инструменты исследования были подобраны и интегрированы таким образом, чтобы максимально полно раскрыть поставленные задачи на каждом этапе работы, формируя всестороннее видение предмета исследования.

Для анализа были использованы значительные объёмы статистических данных и аналитических материалов из официальных ресурсов – Федеральной службы государственной статистики РФ, Министерства транспорта Российской Федерации, Министерства экономического развития РФ, а также из специализированных отчетов ведущих международных логистических агентств, отраслевых ассоциаций и консалтинговых компаний. Эти источники предоставили ценную информацию по контейнерообороту, фрахтовым ставкам, географии поставок, воздействию внешних ограничений, провозному потенциалу и структуре логистических цепочек.

Результаты и их обсуждение

Российский логистический рынок, пройдя период многолетней адаптации к новым экономическим и внешнеполитическим условиям, демонстрирует признаки выраженного системного замедления. Сфера грузоперевозок традиционно выступает в роли чувствительного индикатора уровня деловой активности. Весной 2025 года совокупный объём перевалки контейнеров в морских портах России составил 616 тыс. TEU, что на 3 % ниже, чем в апреле предыдущего года [Морцентр, 2025].

В то же время на фоне общего снижения в ряде регионов наблюдались положительные изменения. Так, Большой порт Санкт-Петербург, являющийся ключевым контейнерным хабом страны, увеличил объём обработки грузов на 12 % (до 619 тыс. TEU), благодаря перераспределению европейских грузопотоков и развитию мультимодальных перевозок с использованием внутренних водных путей и железной дороги. В то же время порты Приморского края сократили объёмы контейнерной перевалки на 8 %, что в значительной степени обусловлено высокой загрузкой Восточного полигона, свидетельствующей о существенных узких местах в сухопутных логистических коридорах.

Однако в августе 2025 года российские морские порты продемонстрировали восстановление объемов перевалки контейнеров, превысив отметку в 446 тыс. TEU. Этот показатель на 12 % выше, чем месяцем ранее и сопоставим с уровнем августа предыдущего года. Среднесуточный контейнерооборот портов достиг 14 тыс. TEU, что соответствует среднегодовому показателю текущего года и является минимальным уровнем за период с начала года, исключая январь.

Экспортно-импортная перевалка в августе 2025 года также стабилизировалась, однако объемы пока не достигли показателей начала года. В годовом исчислении импорт продемонстрировал снижение на 9 % до 168 тыс. TEU, в то время как экспорт увеличился на 6 % до 156 тыс. TEU. Каботажные перевозки сохранили высокие темпы, составив около 120 тыс. TEU, что на 6 % превышает прошлогодние показатели.

В Балтийском бассейне в августе текущего года наблюдался значительный рост контейнерооборота, увеличившийся почти на треть за месяц и достигший среднего уровня первой половины года – 151 тыс. TEU. По сравнению с прошлым годом, когда объемы перевалки в летне-осенний период были относительно низкими, рост составил около 25 % (+30 тыс. TEU). Рост зафиксирован по всем направлениям: импорт (+11,6 тыс. TEU), каботаж (+10 тыс. TEU) и экспорт (+9 тыс. TEU). Экспортные объемы восстановились до уровня более 60 тыс. TEU, демонстрируя основной прирост за месяц.

Оборот Дальневосточного бассейна достиг 206 тыс. TEU. Несмотря на сокращение на 10 %, темпы спада замедлились по сравнению с предыдущими двумя месяцами (около 20 %). Перевалка составила 1,55 млн TEU, снизившись на 11 % (-193 тыс. TEU) год к году.

Объемы перевалки в Азово-Черноморском бассейне сохранились на уровне 70 тыс. TEU, показав снижение на 5 % относительно показателей 2024 года (рис. 1).

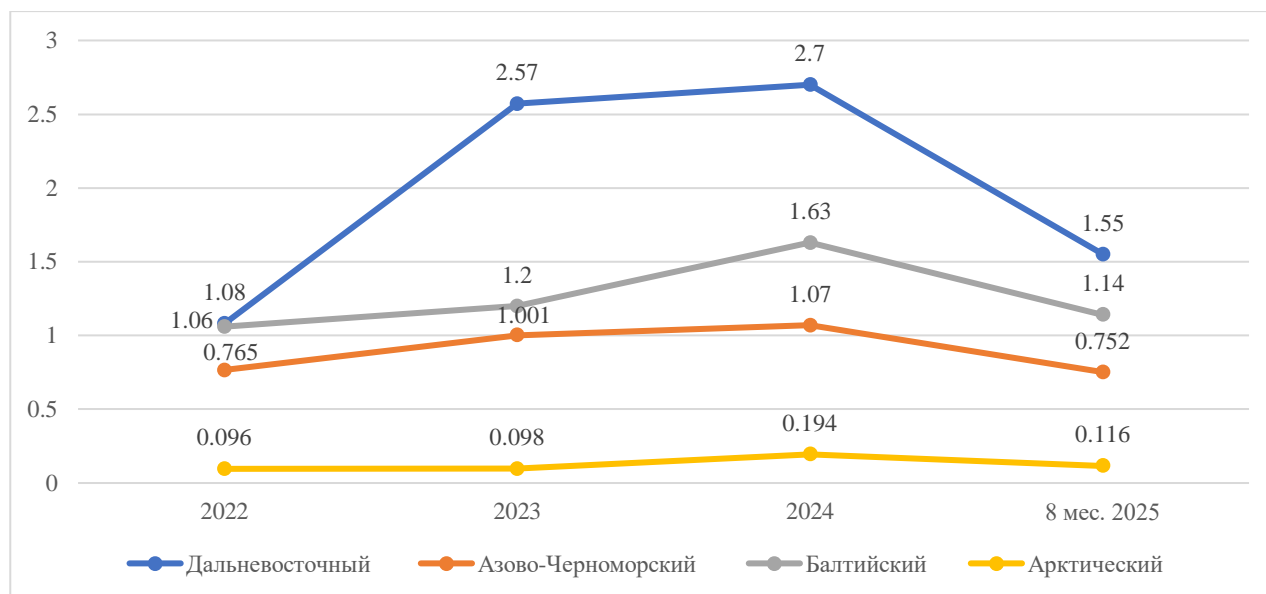


Рис. 1. Контейнерооборот портов России в 2022–2025 гг. по морским бассейнам, млн TEU

Fig. 1. Container turnover in Russian ports in 2022–2025 by sea basin, million TEU

Примечание. Составлено авторами по данным [Транспорт в России, 2025]

Таким образом, суммарный грузооборот портов России за период с января по август 2025 года составил 576,3 млн тонн, что на 3,5 % (21 млн тонн) меньше, чем годом ранее (рис. 2).

За первые семь месяцев 2025 года внешнеторговый оборот России выявил неоднородную региональную динамику. Товарообмен с азиатскими странами, составивший 282,4 млрд долларов США, показал небольшое снижение на 1 %, несмотря на сокращение экспорта на 2 % (179 млрд долларов) и рост импорта на 1 % (103,2 млрд долларов). Европейское

направление внешней торговли оказалось более уязвимым, продемонстрировав падение на 8 % до 74 млрд долларов. Торговые отношения с африканскими государствами также имели отрицательную динамику (-10 %, 14,6 млрд долларов). Исключением стали страны Америки, с которыми товарооборот вырос на 5 %, достигнув 16,5 млрд долларов США (рис. 3).

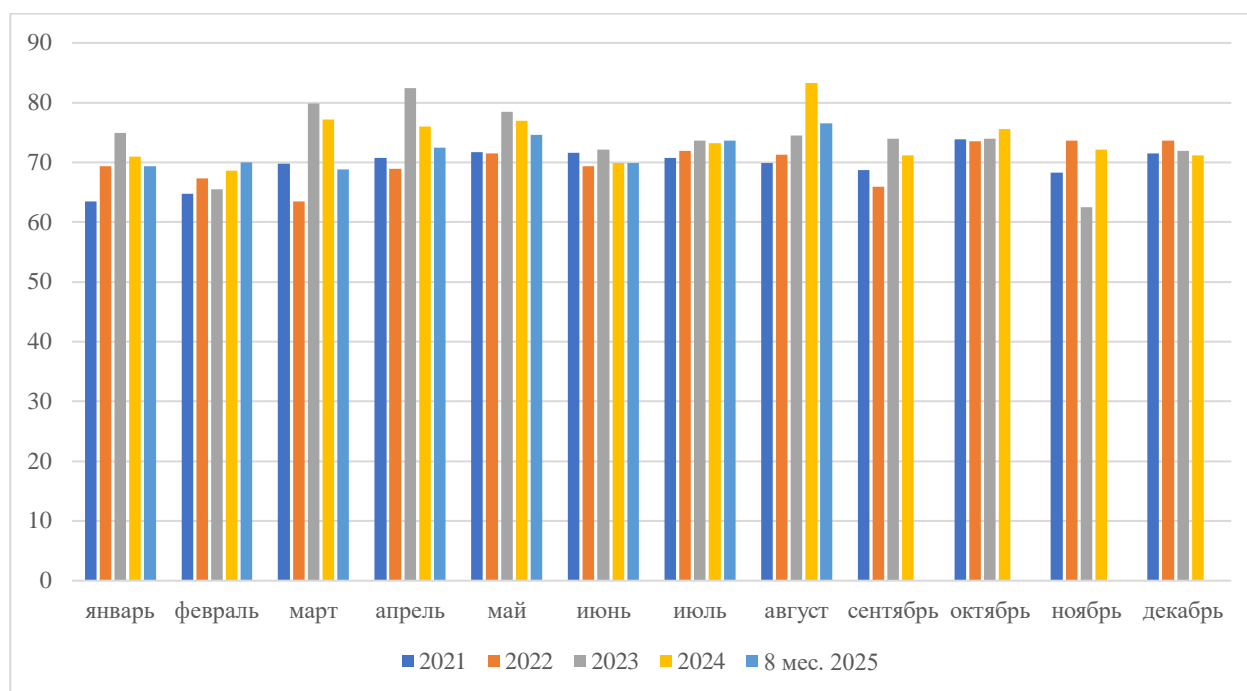


Рис. 2. Динамика грузооборота портов России в 2021–2025 гг., млн тонн

Fig. 2. Dynamics of cargo turnover in Russian ports in 2021–2025, million tons

Примечание. Составлено авторами по данным [Морпорт, 2025]

Снижение импорта из Китая, особенно в сегменте крупногабаритных и дорогостоящих товаров, таких как легковые автомобили (снижение экспорта из КНР в 2,3 раза за I полугодие 2025 года) и грузовики (-4,5 раза), также оказывает существенное давление на доходность логистических операторов и портовых терминалов.

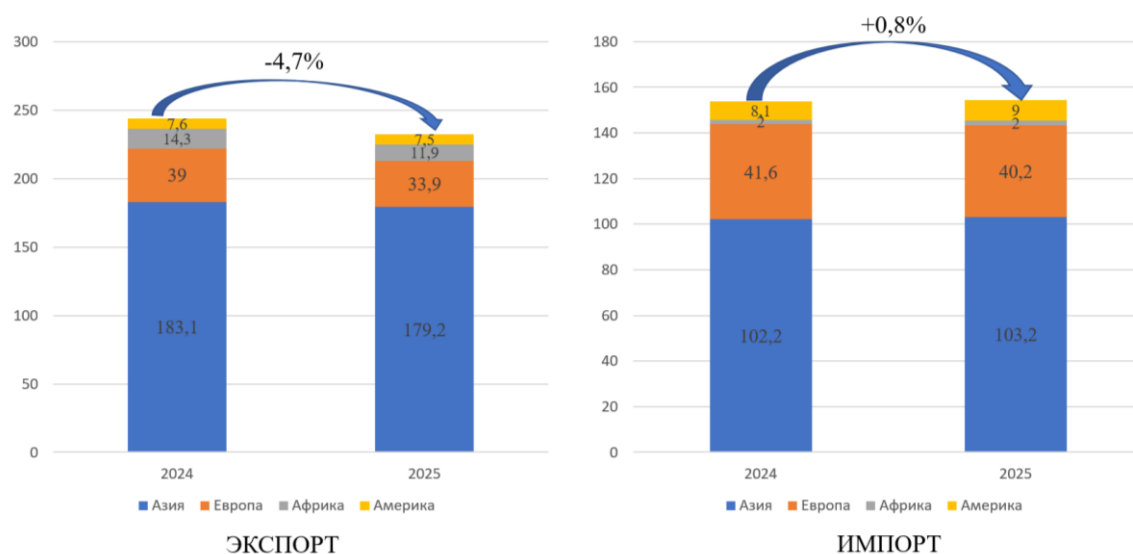


Рис. 3. Товарооборот России по группам стран и направлениям за 7 месяцев 2025 года, млрд долларов

Fig. 3. Russia's trade turnover by country groups and destinations for the first seven months of 2025, billion dollars

Примечание. Составлено авторами по данным [Росморречфлот, 2025]

Так, анализ международных направлений демонстрирует следующие тенденции. Китай остается ключевым партнером, обеспечивая около 80 % морского импорта. Рынок этого направления, будучи хорошо изученным и стабильным, характеризуется перенасыщенностью предложениями фрахтовых услуг. Регулярность рейсов (дважды в неделю из Шанхая с возможностью выбора портов прибытия: Новороссийск, Санкт-Петербург, Владивосток) и выгодные ценовые предложения, связанные с необходимостью заполнения судов, свидетельствуют о высокой конкуренции. После введения санкций на смену ушедшим перевозчикам оперативно пришли новые игроки из Турции, Китая и арабских стран. Отмечается существенное изменение структуры бизнеса: сегодня лишь около 30 % перевозчиков обладают собственным флотом, тогда как большинство (до 70 %) полагаются на арендованные суда, что влечет за собой значительные финансовые обязательства. Ставки на фрахт из Китая в сентябре 2025 года, вопреки традиционной тенденции к росту в осенний сезон, демонстрируют отрицательную динамику. Судовладельцы и морские контейнерные линии вынуждены снижать стоимость перевозки вследствие отсутствия ожидаемого спроса и активности импортёров, из-за чего перевозки с более высокой фрахтовой ставкой сталкиваются с недозагрузкой. Средняя ставка фрахта Шанхай – Санкт-Петербург в первой половине октября 2025 года прогнозируется на уровне около \$5000 за 40-футовый контейнер (рис. 4).

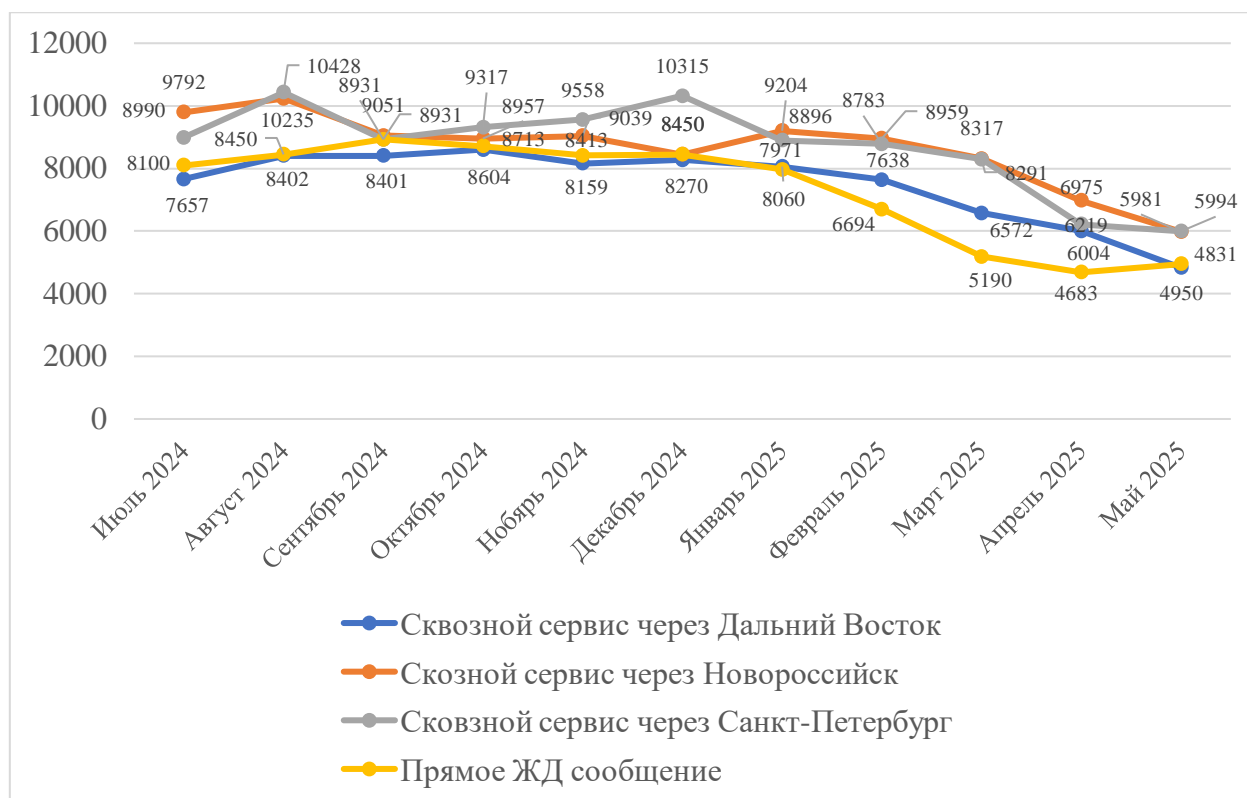


Рис. 4. Средний уровень публичных цен по 4 основным коридорам:
маршрут Shanghai – Москва, 40 HC, USD

Fig. 4. Average public prices for four main corridors: Shanghai – Moscow route, 40 HC, USD

Примечание. Составлено авторами по данным [Wellgo, 2025]

Индия находится в фазе активного роста с прогнозируемым увеличением объемов и маршрутов на ближайшие 3–5 лет. Страна стремится наращивать поставки в РФ для сокращения торгового дисбаланса, стимулируя рост спроса на логистические услуги и увеличение числа морских линий. В отличие от 2023 года, когда наблюдался дефицит транспортных мощностей, в настоящее время такая проблема отсутствует.

Регионы Африки и Латинской Америки обладают значительным потенциалом, однако их оценка в краткосрочной и среднесрочной перспективе (до 5 лет) затруднительна ввиду

неясности объемов и специфики будущих грузов. В настоящее время данные направления носят преимущественно экспортный характер, особенно в части Латинской Америки. Например, компания «Модуль» осуществляет регулярные линейные рейсы в порты Сантос и Паранагуа (Бразилия), перевозя удобрения, строительные материалы, злаковые культуры и кондитерские изделия. Дефицит статистических данных затрудняет составление точных прогнозов относительно будущих объемов и направлений перевозок.

По данным Fesco, в первом полугодии 2025 года российский рынок контейнерных перевозок характеризовался умеренным снижением общего объема на 3–3,1 % до 2,67 млн TEU по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Импортные контейнерные перевозки сократились на 5 %, при этом наиболее существенное падение зафиксировано в портах Дальнего Востока (–16 %) (рис. 5).

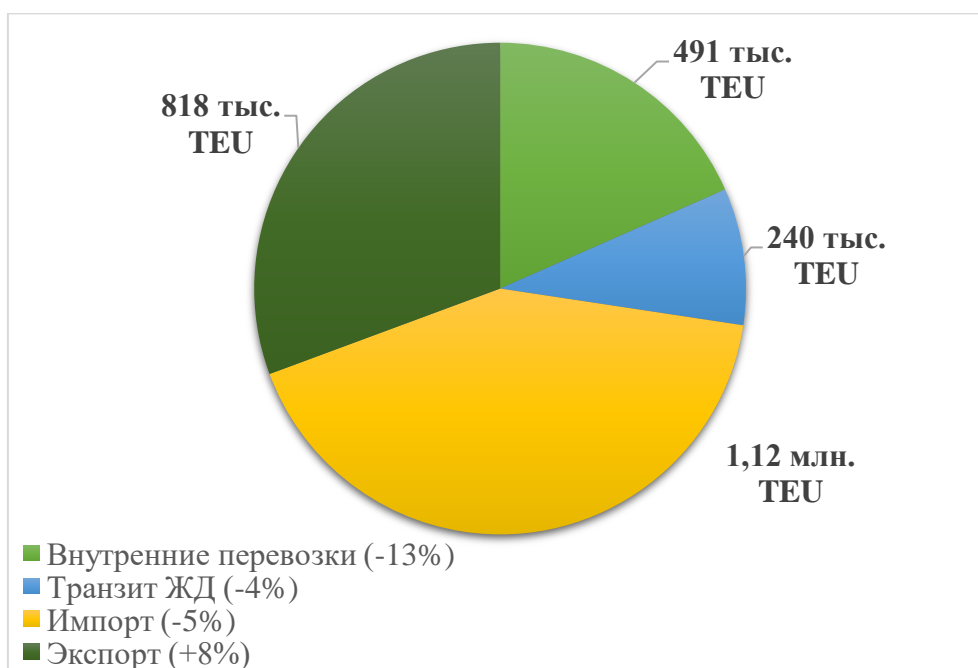


Рис. 5. Контейнерный рынок России (январь – июнь 2025) в сравнении с показателями аналогичного периода 2024 года, млн TEU

Fig. 5. Container market in the Russian Federation (January-June 2025) in comparison with the indicators of the same period in 2024, million TEU

Примечание. Составлено авторами по данным [Морпорт, 2025]

Эти изменения свидетельствуют о перестройке логистических потоков и формировании новых точек роста на российском рынке. Так, можно выделить ключевые факторы, влияющие на текущую динамику развития морских контейнерных перевозок:

1. Охлаждение спроса и насыщение рынка.

Текущая динамика перевозок отражает естественное замедление спроса после периода интенсивного роста. Стагнация в российской экономике привела к избытку товаров на складах у компаний, что, в свою очередь, снижает объемы новых импортных заказов. Насыщение рынка и рост складских издержек вынуждают крупных импортеров сокращать закупки.

2. Смена географии и логистики поставок.

Значительное влияние на структуру грузопотоков оказали изменения в логистике. Если ранее Дальний Восток являлся основным каналом китайского импорта, то теперь возросла роль балтийских портов и сухопутных переходов с Китаем. Это связано как с инфраструктурными ограничениями восточных портов (перегрузка, повышение тарифов, сложности с обработкой), так и с санкционными и таможенными рисками. Это подтверждается общим ростом контейнерооборота ГК «Дело» за январь – июль на 1,6 % (более 1 млн TEU), преимущественно за счет южного и европейского направлений.

3. Макроэкономические факторы.

Высокие процентные ставки по кредитам, падение реальных доходов населения и общее снижение потребительской активности вынуждают заказчиков экономить, что приводит к сокращению объемов перевозок.

4. Геополитические риски и логистические перестройки.

Активность хуситских формирований и необходимость переориентации морских маршрутов привели к удлинению логистических цепочек и увеличению операционных расходов.

5. Проблемы с пропускной способностью портов.

Задержки в портах, связанные с перегрузкой и логистическими сбоями, привели к увеличению времени оборота судов и снижению эффективности перевозок.

2024 год поставил перед участниками рынка морских перевозок комплекс вызовов, существенно осложнивших операционную деятельность и ограничивших возможности для роста и масштабирования. Текущая ситуация на рынке контейнерных перевозок является результатом совокупности упомянутых факторов. Это не кризис или «обвал», а формирование новой рыночной реальности, требующей от отрасли адаптации стратегий и подходов к организации перевозок.

Кроме того, значительное влияние на доходность морских перевозок оказал дисбаланс в соотношении импорта и экспорта, а также многочисленные торговые ограничения, примененные к Российской Федерации. Это привело к неравномерной загрузке судов, когда суда часто шли с полной загрузкой до порта назначения, но с существенным недозаполнением на обратном пути. Данный факт существенно снижает рентабельность линейных маршрутов и отдельных рейсов.

В сложившихся условиях точное и обоснованное планирование морских доставок возможно лишь на краткосрочную перспективу – от одного до полутора месяцев – вследствие высокой степени непредсказуемости множества факторов, влияющих на транспортную отрасль. Аналитическое агентство Linerlytica прогнозирует сохранение дисбаланса на рынке морских контейнерных перевозок как минимум до 2029 года. Основной причиной такого прогноза является опережающий рост контейнерного флота по сравнению с динамикой спроса. Увеличение портфеля заказов на новые контейнеровозы достигло рекордных показателей, что в сочетании с замедлением темпов роста мировой экономики неизбежно приведет к снижению доходности отрасли.

Эксперты отмечают, что текущий бум строительства судов, который, по оценкам, приведет к значительному избытку предложения в 2027 и 2028 годах, не учитывает потенциальное влияние внешних факторов. Так, возвращение судов с маршрута вокруг мыса Доброй Надежды к более коротким маршрутам в Красном море может дополнительно увеличить фактическое предложение контейнеровозов на 7 %, усугубляя проблему избытка провозных мощностей. Даже с учетом ожидаемого увеличения утилизации судов более чем на 600 тыс. TEU в год, переизбыток предложения остается существенным риском.

Контейнерные операторы применяют различные стратегии для преодоления кризиса: одни стремятся сохранить рыночную долю, несмотря на убытки, другие отказываются от части экспортных перевозок, не видя смысла в убыточной деятельности.

Так, российский логистический рынок находится в стадии глубокой трансформации, обусловленной комплексом внешних и внутренних факторов. Отмечается рост экспортных потоков, что связывают с переориентацией бизнеса на внешние рынки, где спрос устойчивее (рис. 6). Основными драйверами этого роста являются химическая продукция, металлы, изделия из них и продукция деревообработки, направляемые в страны Азии, Ближнего Востока и Турцию. Одновременно наблюдается смещение логистических маршрутов в сторону европейского и южного направлений, в то время как восточные и северные коридоры испытывают давление санкционных, тарифных и транзитных ограничений.

Потенциальные точки стабилизации рынка включают дальнейшее снижение ставки ЦБ, возможную девальвацию рубля, стимулирующую экспорт, и снижение товарных остатков, что

может перезапустить логистические закупки к сезону 2026 года. Акцент в морской логистике смещается с внешнеэкономических операций на повседневные, оборотные и пищевые товары, где контейнер все чаще выступает инструментом внутренней логистики.

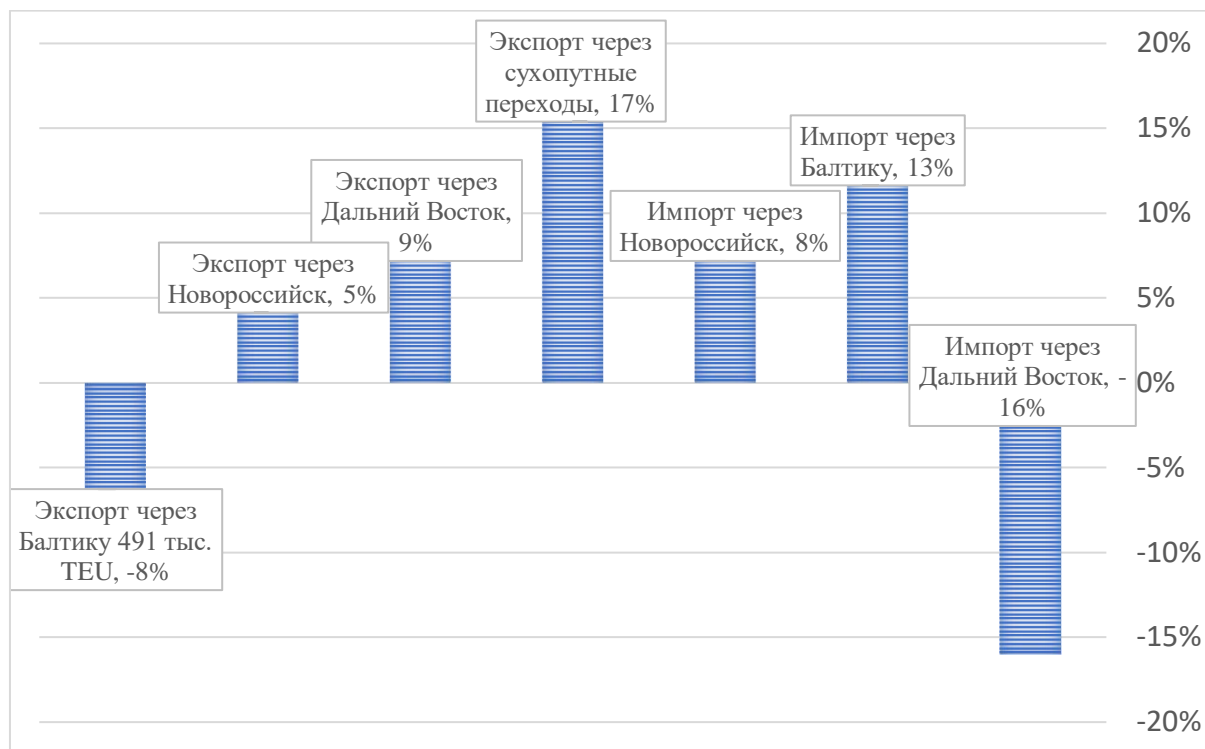


Рис. 6. Контейнерный рынок России (январь – июнь 2025) в сравнении с показателями аналогичного периода 2024 года, тыс.

Fig. 6. The Russian container market (January-June 2025) in comparison with the indicators of the same period in 2024, thousand units

Примечание. Составлено авторами по данным [Транспорт в России, 2025]

Ключевые прогнозы на 2026 год и долгосрочную перспективу от экспертных групп и компаний представлены следующим образом:

1. FESCO прогнозирует рост объема контейнерного рынка в 2026 году на 4 %, до 7,1 млн TEU.
2. Группа компаний «Дело» прогнозирует снижение российского контейнерного рынка по итогам 2025 года на 5 %, но ожидает роста на 4,5 % в 2026 году, при этом отмечая, что уровень 2024 года может не быть достигнут. Компания акцентирует внимание на сохраняющемся дисбалансе между импортом и экспортом, а также на необходимости развития новых логистических технологий.

Исторический опыт показывает, что падение на контейнерном рынке, как правило, компенсируется последующим ростом. Участники рынка, демонстрирующие оптимизм, основываются на этой тенденции и на устойчивом спросе на экспортные товары. Вследствие этого компаниям необходимо фокусироваться на диверсификации сервисов, оптимизации оборота парка, развитии экспортных направлений и пересмотре прогнозов загрузки с учетом меняющихся макроэкономических реалий.

Заключение

Российский логистический рынок переживает этап фундаментальной трансформации, движимый как глобальными экономическими и геополитическими сдвигами, так и внутренними структурными изменениями. Текущее замедление в 2025 году, рассматриваемое как фаза коррекции, а не кризиса, подчеркивает необходимость глубокой адаптации к новой реальности. Основными драйверами роста в сложившихся условиях выступают экспортные перевозки, компенсирующие спад в импорте, транзите и внутренних перевозках.

В этом контексте для обеспечения устойчивости бизнеса и полного раскрытия потенциала отрасли критически важным становится комплексное решение ряда задач. Во-первых, необходимо дальнейшее развитие инфраструктуры, ориентированной на поддержку альтернативных логистических коридоров, включая интермодальные перевозки. Это требует инвестиций в модернизацию существующей инфраструктуры и создание новых транспортных узлов, а также активное внедрение цифровых технологий и интеллектуальных систем управления логистическими процессами. Во-вторых, стратегическим приоритетом остается развитие водного транспорта – как морского, так и внутреннего. Несмотря на предпринимаемые государственные программы и инвестиции, отрасль сталкивается с системными проблемами, такими как устаревшая инфраструктура, дефицит современного флота и возрастной износ существующих фондов. Преодоление этих препятствий требует продолжения комплексных мер, направленных на развитие отечественного судостроения и интеграцию передовых технологий, в том числе с учетом успешного международного опыта.

Компании, демонстрирующие способность к адаптации к новой логистической географии, гибкость в предложении сервисов и эффективное управление рисками, получают существенные конкурентные преимущества. Важным трендом является дальнейшая консолидация рынка, ведущая к формированию более крупных и сильных игроков, а также усиление роли отечественных экспедиторов. В условиях повышенной неопределенности и волатильности доступ к актуальной аналитической информации и данным становится критически важным для принятия обоснованных управленческих решений.

Прогнозируется, что дальнейшее восстановление рынка будет зависеть от реализации этих стратегических направлений, а также от благоприятного влияния таких макроэкономических факторов, как ускорение смягчения денежно-кредитной политики, повышение конкурентоспособности российского экспорта вследствие валютных колебаний и нормализация складских запасов. Успех этих мер позволит не только компенсировать санкционные ограничения, но и обеспечить устойчивый рост грузоперевозок, укрепить транспортную безопасность и способствовать социально-экономическому развитию регионов, демонстрируя тем самым возможности российской логистической отрасли к структурным преобразованиям и дальнейшему росту.

Список источников

- Транспорт в России: Федеральная служба государственной статистики: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/14478?type=&ysclid=mfzxpqgq2d87257414> (дата обращения: 19.08.2025).
- Обзор морского транспорта: лавирование по стратегически важным морским коридорам 2024 год // Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024overview_ru.pdf (дата обращения: 12.09.2025).
- Морские перевозки России АО «Морцентр» / Аналитика [Электронный ресурс]. – URL: <https://morcenter.ru/analytics> (дата обращения: 03.09.2025).
- Мировая экономика: слабая устойчивость в условиях сохраняющейся неопределенности // International Monetary Fund. Публикации: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2025/07/29/world-economic-outlook-update-july-2025?cid=ca-com-compd-pubs_belt / (дата обращения: 29.08.2025).
- Морские данные и анализ // Sea-Intelligence. Аналитические отчеты [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sea-intelligence.com/> (дата обращения: 05.09.2025).
- Распоряжение Правительства РФ от 30 августа 2019 г. № 1930-р О Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 года. Правительство Российской Федерации офиц. сайт. 2019 // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_332557/ (дата обращения 27.08.2025).
- Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030. Правительство Российской Федерации офиц. сайт. 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902132678> (дата обращения 19.08.2025).

- Официальный сайт Росморречфлота: официальная статистическая информация // Министерство транспорта Российской Федерации: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: https://morflot.gov.ru/glavnaya/otkryitoe_agentstvo/of_stat_info/?ysclid=lnlj73q9iw601442907 (дата обращения: 25.08.2025).
- Справочные и аналитические материалы: таможенная статистика. Федеральная таможенная служба: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://limited.customs.gov.ru/statistic?ysclid=m295h5m6kx209535768> (дата обращения: 25.08.2025).
- Апдейт рынка транспортной логистики: сентябрь 2025 // Wellgo. Новости [Электронный ресурс]. URL: <https://wellgo.ru/news> (дата обращения: 10.09.2025).
- Грузооборот морских портов России за январь-август 2025 года // Ассоциация морских торговых портов: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-yanvar-avgust-2025-goda?ysclid=mg01rzd231541924542> (дата обращения: 05.09.2025).

Список литературы

- Соломатина Ю.А., Берсенов А.А., Сергеев К.М. 2025. Тенденции развития морских контейнерных перевозок. *Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова*, 1(50): 17–20.
- Юдин Н.О. 2024. Применение цифровых решений для повышения эффективности контейнерных морских перевозок на примере компании Cosco Group. *Международный бизнес*, 1(7): 12–18.
- Жұмақұл Ж.Ж. 2024. Управление морским транспортом в целях повышения эффективности и безопасности морских перевозок. *Интернаука*, 3-2(320): 45–47.
- Зворыкина Ю.В., Щербинин Н.В. 2025. Новые контуры развития контейнерной системы Российской Федерации. *Вестник ГВУ*, 6: 140–149.
- Пак Е.В., Голубчик А.М. 2024. Актуальные вопросы логистики морских перевозок контейнеров в Россию: некоторые уроки для участников ВЭД. *Российский внешнеэкономический вестник*, 6: 83–90.
- Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П. 2025. Проблемы и перспективы развития транспортной отрасли как фактора роста российской экономики. *Экономика. Информатика*, 2: 346–358.

References

- Solomatina Yu.A., Bersenev A.A., Sergeev K.M. 2025. Trends in the Development of Maritime Container Transportation. *Bulletin of the Admiral F. F. Ushakov State Maritime University*, 1 (50): 17–20 (in Russian).
- Yudin N.O. 2024. Application of Digital Solutions to Enhance the Efficiency of Container Sea Transportation: The Case of Cosco Group. *International Business*, 1 (7): 12–18 (in Russian).
- Zhumaqul Zh.Zh. 2024. Maritime Transport Management to Enhance the Efficiency and Safety of Maritime Transportation. *Internauka*, 3-2(320): 45–47 (in Russian).
- Zvorykina Yu.V., Shcherbinin N.V. 2025. New Contours of Development of the Container System of the Russian Federation. *Bulletin of the State Maritime University*, 6: 140–149 (in Russian).
- Pak E.V., Golubchik A.M. 2024. Current issues in the logistics of sea container transportation to Russia: Some lessons for foreign trade participants. *Russian Foreign Economic Bulletin*, 6: 83–90 (in Russian).
- Selyukov M.V., Tsevenkova E.O., Shalygina N.P. 2025. Problems and prospects for the development of the transport industry as a growth factor for the Russian economy. *Economics. Information technologies*, 2: 346–358 (in Russian).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 29.09.2025

Поступила после рецензирования 30.10.2025

Принята к публикации 14.11.2025

Received September 29, 2025

Revised October 30, 2025

Accepted November 14, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Селюков Максим Викторович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры таможенного администрирования, СЗИУ РАНХиГС, г. Санкт-Петербург, Россия

Цевенкова Екатерина Олеговна, студент по специальности «Таможенное дело», СЗИУ РАНХиГС, г. Санкт-Петербург, Россия

Шалыгина Наталья Петровна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры таможенного администрирования, СЗИУ РАНХиГС, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maksim V. Selyukov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Customs Administration, RANEPA St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

Ekaterina O. Tsevenkova, student majoring in Customs Affairs, RANEPA St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

Natalya P. Shalygina, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Customs Administration, RANEPA St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

УДК 004.4'2:005.7:658.8
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-818-824
EDN HXWNPW

Адаптивная ERP-архитектура для промышленных и транспортных компаний: моделирование и маркетинговые эффекты

¹Тхориков Б.А., ²Герасименко О.А.

¹Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
Россия, 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
tkhorikov-ba@rguk.ru; gerasimenko@bsuedu.ru

Аннотация. В статье рассматривается проектирование адаптивной ERP-архитектуры для промышленных и транспортно-логистических предприятий. Обоснована необходимость перехода от универсальных ERP к отраслевым решениям, учитывающим динамику логистики. Предложена модель, включающая микросервисы, событийно-ориентированную архитектуру, цифровых двойников и онлайн-обучение. На стендовом моделировании показана достижимость ключевых KPI (время пересчета маршрутов ≤ 3 мин, релевантность рекомендаций ≥ 90 %). Отмечена прикладная ценность для маркетинга: повышение прозрачности, ускорение реакции на запросы клиентов и рост лояльности.

Ключевые слова: ERP-система, адаптивная архитектура, транспортная логистика, цифровой двойник, событийно-ориентированная модель, машинное обучение, маркетинговые информационные системы

Для цитирования: Тхориков Б.А., Герасименко О.А. 2025. Адаптивная ERP-архитектура для промышленных и транспортных компаний: моделирование и маркетинговые эффекты. *Экономика. Информатика*, 52(4): 818–824. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-818-824; EDN HXWNPW

Adaptive ERP Architecture for Industrial and Transport Companies: Simulation and Marketing Effects

¹Boris A. Tkhorikov, ²Olga A. Gerasimenko

¹Russian State University of A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)
1 Malaya Kaluzhskaya St., Moscow 119071, Russia

²Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
tkhorikov-ba@rguk.ru; gerasimenko@bsuedu.ru

Abstract. The article examines the design of an adaptive ERP architecture for industrial and transport logistics enterprises. The need to shift from universal ERP platforms to industry-specific solutions that consider the dynamics of logistics processes is substantiated. The proposed model integrates micro-services, event-driven architecture, digital twins, and online machine learning. Simulation experiments confirmed the achievement of key KPIs (route recalculation time ≤ 3 minutes, recommendation relevance ≥ 90 %). The practical value for marketing is highlighted: improving transparency, accelerating responses to customer requests, and increasing loyalty.

Keywords: ERP system, adaptive architecture, transport logistics, digital twin, event-driven architecture, machine learning, marketing information systems

For citation: Tkhorikov B.A., Gerasimenko O.A. 2025. Adaptive ERP Architecture for Industrial and Transport Companies: Simulation and Marketing Effects. *Economics. Information technologies*, 52(4): 818–824 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-818-824; EDN HXWNPW

Введение

В последние десятилетия ERP-системы (Enterprise Resource Planning, автоматизированные системы управления) зарекомендовали себя как ключевой инструмент цифровизации предприятий [Li, Wu, 2021; França Canon et al., 2025]. Они представляют собой комплексные платформы, интегрирующие данные и процессы разных подразделений, от снабжения до продаж, и обеспечивают единую информационную среду для принятия решений. Особенно заметна роль ERP в сферах промышленности и транспортной логистики, где такая интеграция позволяет компаниям быстрее реагировать на колебания спроса, снижать издержки и повышать эффективность цепочек поставок [Zunic et al., 2020; Omoeun et al., 2024]. Благодаря внедрению ERP-систем предприятия получают сквозную аналитику с ориентацией на маркетинговую эффективность – от управления заказами и автопарком до контроля складских остатков и удовлетворённости клиентов, что способствует прозрачности и сбалансированности действий всех структурных подразделений [Jawad et al., 2024; Roman et al., 2025].

Несмотря на очевидные преимущества, традиционные ERP-решения, создававшиеся исходя из относительно стабильных бизнес-процессов, всё чаще демонстрируют свою ограниченность в условиях современной динамичной логистики [Chirvase, 2023; Abouzid et al., 2023]. Рынки и цепочки поставок находятся в постоянном движении, подвержены сезонным всплескам и непредвиденным событиям, включая политические кризисы, и многие ERP-системы зачастую не успевают адаптироваться к этим изменениям [Zaidi et al., 2024; Wasi et al., 2025]. Как отмечается в недавних обзорах, классические ERP-системы нередко работают обособленно и требуют сложных доработок для интеграции с новыми источниками информации (например, IoT-датчиками или облачными сервисами), что ведёт к задержкам в обмене данными и снижению оперативности управления [Roman et al., 2025; Onebunne, Adepoju, 2025; Vaidya et al., 2025].

В ответ на эти вызовы формируется концепция адаптивных ERP-систем – решений нового поколения, способных подстраиваться под меняющиеся условия бизнеса в реальном времени [Maged, Kassem, 2025; Li, Wu, 2021]. Адаптивная ERP характеризуется модульностью, гибкими настройками и возможностью быстрого внедрения новых технологий [França Canon et al., 2025; Chirvase, 2023]. Крупнейшие поставщики уже движутся в этом направлении: исследования показывают революцию, которую цифровые двойники (Digital Twins) вносят в управление цепочками поставок, а также интеграцию машинного обучения для прогнозов и адаптивной оптимизации процессов [Zaidi et al., 2024; Abouzid et al., 2023; Roman et al., 2025]. Цель таких решений – обеспечить предприятиям гибкость и устойчивость в условиях быстро меняющегося рынка. Аналитики также выделяют адаптивность как ключевое свойство передовых ERP-систем, отмечая способность лидеров отрасли регулярно обновлять функциональность и легко интегрироваться со сторонними сервисами для поддержки технологий будущего [Jawad et al., 2024; Wasi et al., 2025; Zhang et al., 2021].

Перспективы развития адаптивных ERP-систем в промышленной и транспортной отраслях связаны с всё более глубоким внедрением искусственного интеллекта, цифровых двойников и других инноваций, позволяющих предсказывать и опережать изменения [Roman et al., 2025; Freese et al., 2025]. В ближайшем будущем можно ожидать появления ERP-экосистем, которые не только автоматически реагируют на текущие события (например, отклонения в графике перевозок или изменение стоимости топлива), но и проактивно рекомендуют оптимизационные решения на основе прогнозной аналитики [Onebunne, Adepoju, 2025; Omoeun et al., 2024]. Такая эволюция превратит ERP из статичного регистратора операций в адаптивную нервную систему предприятия, постоянно обучающуюся и совершенствующую свои рекомендации [Maged, Kassem, 2025; Vaidya et al., 2025]. Названные предпосылки определили *цель исследования* – спроектировать и верифицировать архитектуру адаптивной ERP-системы для транспортной логистики, учитывающей маркетинговый аспект деятельности компании.

Объект и методы исследования

Объект исследования – процессы управления промышленными и транспортно-логистическими предприятиями, требующие интеграции в единую информационную систему класса ERP. Особое внимание уделяется организациям, где транспортный контур является критическим элементом производственной деятельности: предприятиям с собственным автопарком, мультимодальным перевозчикам и логистическим операторам.

Методы исследования включают:

- архитектурное моделирование: применялись принципы микросервисной архитектуры, событийно-ориентированной модели (Event-Driven Architecture) и предметно-ориентированного проектирования (Domain-Driven Design);
- формализацию бизнес-процессов: использовались сети Петри и BPM-модели для описания и проверки корректности транспортных сценариев;
- интеграцию цифровых двойников: агентное моделирование автопарка и заказов в среде AnyLogic с подключением событийной шины Apache Kafka, что позволило воспроизводить в цифровом виде реальные логистические процессы;
- стендовое моделирование: эксперименты проводились на серверной инфраструктуре (Intel Xeon, 64 ГБ RAM, ОС Ubuntu Server 22.04) с контейнеризацией сервисов в Docker/Kubernetes, что обеспечило проверку устойчивости архитектуры при нагрузке до 150 транспортных средств и до 400 заказов за смену;
- методы оценки эффективности KPI: среднее время пересчета маршрутов, релевантность рекомендаций, процент своевременно выполненных заказов, снижение холостых пробегов и потерь топлива;
- экспертный опрос (N – 15) представителей профессионального и научного сообществ для выбора основных элементов проектируемой ERP-системы.

Результаты и их обсуждение

Выбор и систематизация ключевых компонентов адаптивной ERP-системы осуществлялись не только на основе анализа литературы, но и по итогам экспертного опроса, проведенного в рамках исследования.

В опросе (N – 15) участвовали: руководители ИТ-департаментов трех промышленных предприятий с собственными автопарками (металлургия, машиностроение, строительные материалы) в гг. Белгород и Москва (3 человека); директора по логистике двух федеральных транспортных операторов (2 человека); специалисты по цифровым решениям и ERP-платформам (SAP, Oracle, «1C:ERP»), работающие в консалтинговых компаниях (5 человек); сотрудники кафедр управления и бизнес-информатики, имеющие опыт в области информационных систем для логистики (5 человек).

Экспертам предлагалось ответить на два блока вопросов:

1) Критические потребности. Какие функциональные модули ERP-системы наиболее значимы для транспортной и промышленной логистики? Какие проблемы существующих решений вы считаете ключевыми?

2) Приоритеты архитектуры. Какие технологические принципы (микросервисы, цифровые двойники, ML, API-шлюзы и др.) должны стать ядром системы, чтобы обеспечить адаптивность и соответствие отраслевой специфике?

Ответы экспертов были закодированы и сгруппированы по тематическим категориям. Каждый элемент, набравший $\geq 70\%$ упоминаний среди участников, был отнесен к «ядру архитектуры». Обобщенный набор элементов представлен в табл. 1.

В совокупности эти компоненты формируют адаптивную ERP-архитектуру, которая сочетает модульность, событийную реактивность и интеллектуальные механизмы самообучения. В отличие от традиционных ERP, ориентированных на универсальные сценарии, данная архитектура обладает необходимым потенциалом для учета специфики промышленной и транспортной логистики.

Таблица 1
Table 1

Основные элементы проектируемой ERP-системы
Main elements of the designed ERP system

Компонент ERP-системы	Суть компонента	Назначение
Микросервисы и DDD	Декомпозиция системы на отдельные сервисы по предметным областям (заказы, маршруты, тарифы).	Обеспечивает гибкость разработки и масштабируемость, возможность независимого обновления и добавления функций.
Событийно-ориентированная модель (EDA)	Реакция системы на изменения через поток событий, передаваемых по шине.	Снижает связанность компонентов, обеспечивает работу в реальном времени и адаптивность к динамике логистики.
Цифровой двойник	Виртуальная модель транспортной сети, синхронизированная с реальными объектами.	Позволяет прогнозировать сбои, тестировать сценарии «what-if» и повышать точность управленческих решений.
Сети Петри и BPM	Формальные модели бизнес-процессов с возможностью верификации.	Обеспечивают прозрачность и корректность логики, предотвращают ошибки при изменении процессов.
Онлайн-обучение (ML)	Алгоритмы машинного обучения, обновляющиеся на потоках данных.	Подстраивают рекомендации (маршруты, ETA, спрос) под новые условия, повышают релевантность и устойчивость решений.
API Gateway и безопасность	Единый шлюз доступа к микросервисам и внешним системам.	Гарантирует согласованность форматов, защиту данных и удобное подключение клиентов и партнеров.

Для оценки применимости и результативности предлагаемой ERP-архитектуры был сформирован набор ключевых показателей (KPI), отражающих как операционную эффективность логистических процессов, так и маркетинговые эффекты для внешних клиентов и партнеров:

- Время пересчета маршрутов. Пороговое значение – не более 3 минут с момента поступления нового события (заказа, сбоя техники, изменения дорожной обстановки). Данный показатель отражает способность архитектуры обеспечивать оперативное принятие решений в условиях высокой динамики среды.

- Релевантность рекомендаций. Пороговое значение – не ниже 90–95 % совпадения решений системы с эталонными вариантами, рассчитанными экспертами и оптимизационными пакетами (Cplex, Gurobi). Данный показатель определяет корректность и практическую полезность рекомендаций ERP при маршрутизации и распределении ресурсов.

- Устойчивость под нагрузкой. Пороговое значение – стабильная работа при сотнях событий в секунду с уровнем доступности (uptime) не ниже 99,9 %. Показатель фиксирует способность системы масштабироваться и сохранять производительность при росте интенсивности входного потока данных, что критично для круглосуточных транспортных операций.

- Экономический эффект. Пороговое значение – снижение холостых пробегов и простоев транспорта на 15–20 %, сокращение затрат на топливо и штрафов за несоблюдение сроков, а также рост удовлетворенности клиентов. Этот показатель связывает архитектурные решения ERP с конечными экономическими результатами и маркетинговыми преимуществами (лояльность и доверие потребителей, конкурентоспособность услуг).

Таким образом, система KPI позволяет оценить архитектуру не только как техническое решение, но и как фактор стратегического развития предприятий.

Для проверки достижимости целевых показателей был проведен цикл экспериментов в среде AnyLogic 8.9 University Edition, поддерживающей агентное и дискретно-событийное

моделирование. Выбор данной платформы обусловлен ее способностью одновременно описывать физические транспортные процессы и информационные взаимодействия в ERP-среде.

Инфраструктура моделирования включала:

- виртуальный автопарк из 150 транспортных средств с параметрами грузоподъемности и расхода топлива;
- генерацию 300–400 заказов за рабочую смену, смоделированную по пуассоновскому распределению, с учетом пиковых нагрузок в «часах-пик»;
- интеграцию событийной шины Apache Kafka, обеспечивающей обмен сообщениями между прототипами микросервисов («Управление заказами», «Оптимизация маршрутов», «Мониторинг доставки»);
- агентный цифровой двойник автопарка, фиксирующий события (поломка, задержка, прибытие в пункт назначения) и позволяющий проигрывать сценарии «what-if».

Сценарии экспериментов:

- базовый поток заказов – равномерное поступление заявок без внешних сбоев;
 - пиковая нагрузка – увеличение числа заказов на 40 % и моделирование дорожных заторов;
 - аварийная ситуация – искусственное выведение из строя 10 % транспортных средств.
- Результаты стендового моделирования показали:
- среднее время пересчета маршрутов составило 2,7 минуты, что укладывается в целевой KPI;
 - релевантность рекомендаций системы достигла 92 %, что подтверждает корректность алгоритмов онлайн-обучения и интеграции цифрового двойника;
 - при нагрузке до 150 транспортных средств система сохраняла стабильность, а рост времени отклика не превышал 15 % относительно базового сценария.

Полученные данные подтверждают, что предложенная ERP-архитектура обеспечивает выполнение заданных пороговых значений KPI. В частности, быстродействие и релевантность решений доказывают эффективность событийно-ориентированного ядра и встроенных алгоритмов машинного обучения. Устойчивость под нагрузкой демонстрирует, что микросервисная структура и шина событий позволяют системе масштабироваться без деградации. Наконец, оценка экономического эффекта указывает на прямую связь архитектуры ERP с улучшением бизнес-результатов и маркетинговых показателей (скорость реакции на запросы клиентов, снижение себестоимости услуг, рост прозрачности взаимодействия).

Заключение

Представленная работа показала, что адаптивная ERP-архитектура, основанная на микросервисной модульности, событийно-ориентированной модели, цифровых двойниках и алгоритмах онлайн-обучения, обладает значительным потенциалом для повышения эффективности управления промышленными и транспортными предприятиями. Проведенное стендовое моделирование подтвердило достижимость ключевых показателей: сокращение времени пересчета маршрутов до трех минут, релевантность рекомендаций выше 90 % и устойчивость системы при пиковых нагрузках.

Прикладная ценность исследования заключается в том, что предложенная архитектура позволяет предприятиям: повысить прозрачность логистических процессов и сократить операционные издержки; ускорить реакцию на запросы клиентов и рыночные изменения, формируя новые стандарты качества сервиса; использовать прогнозную аналитику и цифровые двойники для стратегического планирования и оптимизации ресурсов; интегрировать маркетинговые информационные системы с ERP-ядром, что открывает возможности для динамического ценообразования, точного расчета сроков и персонализированного обслуживания клиентов.

Таким образом, ERP-система нового поколения перестает быть лишь инструментом внутреннего учета и контроля. Она становится маркетинговым активом компании: поддерживает коммуникацию с клиентом на всех этапах цепочки поставок; формирует

доверие за счет прозрачности и предсказуемости; повышает лояльность потребителей и конкурентоспособность услуг на рынке.

В практическом плане это означает, что промышленным предприятиям с крупным транспортным контуром и транспортно-логистическим операторам предлагается воспроизводимая модель цифровой архитектуры, которая одновременно решает задачи операционного управления и маркетингового позиционирования.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией архитектуры ERP с технологиями искусственного интеллекта для прогнозирования спроса и оптимизации цепочек поставок, а также с изучением влияния подобных систем на долгосрочную клиентскую лояльность и формирование новых моделей цифрового маркетинга в логистике.

References

- Abouzid I., et al. 2023. Digital twin implementation approach in supply chain processes. *International Journal of Information Management*, 69: 102567.
- Bosco C., de Rigo D., Dewitte O., Poesen J., Panagos P. 2015. Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(2): 225–245.
- Chirvase C.S. 2023. Exploring Enterprise Resource Planning (ERP) Development. *Proceedings of PICBE*, 17(1): 1518–1528.
- França Canon J.G., dos Santos R.J.R., de Carvalho V.D.H., Monte M.B.S., de Barros T.L. 2025. Integrated Logistics Management Through ERP System: A Case Study in an Emerging Regional Market. *Logistics*, 9(2): 59.
- Freese F., et al. 2025. A conceptual framework for supply chain digital twins. *International Journal of Production Research*, 63(4): 1123–1145.
- Jawad Z.N., et al. 2024. Machine learning-driven optimization of enterprise resource planning systems. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 13(1): 1–14.
- Li Q., Wu G. 2021. ERP System in the Logistics Information Management System of Supply Chain Enterprises. *Mobile Information Systems*, Article ID 7423717.
- Maged A., Kassem G. 2025. Self-Adaptive ERP: Embedding NLP into Petri-Net Creation and Model Matching. arXiv preprint arXiv:2501.03795.
- Omoegun G., et al. 2024. Advances in ERP-Integrated Logistics Management for Reducing Delivery Delays and Enhancing Project Delivery. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 11(3): 547–579.
- Onebunne T.C., Adepoju A.S. 2025. Adaptive Inventory Management in Global Supply Chains Using Digital Twins and Reinforcement Learning. *International Journal of Advance Research Publication and Reviews*, 2(08): 266–287.
- Roman E.A., Stere A.S., Roșca E., Radu A.V., Codroiu D., Ilie A. 2025. State of the Art of Digital Twins in Improving Supply Chain Resilience. *Logistics*, 9(1): 22.
- Testimony C.O., Adepoju A.S. 2025. Adaptive Inventory Management in Global Supply Chains Using Digital Twins and Reinforcement Learning. *International Journal of Advance Research Publication and Reviews*, 2(8): 266–287.
- Vaidya T., et al. 2025. Digital Twin-Driven Production Planning in SAP S/4HANA: A Case for Predictive and Adaptive Supply Chains. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 7(1): 45–58.
- Wasi A.T., Anik M.A., Rahman A., Hoque M.I., Islam M.S., Ahsan M.M. 2025. A Theoretical Framework for Graph-based Digital Twins for Supply Chain Management and Optimization. arXiv preprint arXiv:2504.03692.
- Zaidi S., et al. 2024. Unlocking the potential of digital twins in supply chains. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 36(6): 694–706.
- Zhang J., Brintrup A., Calinescu A., Kosasih E., Sharma A. 2021. Supply Chain Digital Twin Framework Design: An Approach of SCOR Model and System of Systems. arXiv preprint arXiv:2107.09485.
- Zhang J., Sharma A., Brintrup A. 2021. Supply Chain Digital Twin Framework. arXiv.
- Zunic E., Donko D., Buza E. 2020. An Adaptive Data-Driven Approach to Solve Real-World Vehicle Routing Problems in Logistics. arXiv preprint arXiv:2001.02094.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



Поступила в редакцию 12.09.2025
Поступила после рецензирования 08.10.2025
Принята к публикации 01.11.2025

Received September 12, 2025
Revised October 08, 2025
Accepted November 01, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тхориков Борис Александрович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой сервисных технологий и бизнес-процессов, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, Россия

Герасименко Ольга Александровна, доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджмента и маркетинга, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boris A. Tkhorikov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Service Technologies and Business Processes, Russian State University of A.N. Kosygin (Technology. Design. Art), Moscow, Russia

Olga A. Gerasimenko, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Management and Marketing, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 336.7

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-825-836

EDN JTWMQC

Оценка уровня финансовой грамотности населения: разработка и апробация авторской методики

Антонова М.В.

Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а
antonovamv@yandex.ru

Аннотация. Исследование уровня финансовой грамотности населения в настоящее время представляет собой актуальную задачу, имеющую как практическую, так и научную значимость. Ввиду отсутствия единой методики оценки уровня финансовой грамотности населения научной задачей данного исследования ставились разработка и апробация авторской методики. Объектом исследования является уровень финансовых знаний, основы финансового поведения и финансовых установок населения Российской Федерации. Основным методом сбора данных выбрано анкетирование респондентов. Анкетирование было проведено с использованием электронной формы анкеты, размещенной на платформе Добро.ру с привлечением научных волонтеров (в проекте приняли участие 873 волонтера со всей страны). Сроки сбора данных: с 22 ноября 2024 года по 30 июня 2025 года. Авторская методика оценки уровня финансовой грамотности включает в себя три критерия: критерий финансовых знаний, критерий финансового поведения и критерий финансовых установок. В статье приведена апробация данной методики, в ходе исследования выявлен средний уровень финансовой грамотности населения. Считаем, что повышение уровня финансовой грамотности населения является существенным социальным фактором развития страны.

Ключевые слова: финансовая грамотность, финансовое поведение, финансовые знания

Для цитирования: Антонова М.В. 2025. Оценка уровня финансовой грамотности населения: разработка и апробация авторской методики. *Экономика. Информатика*, 52(4): 825–836. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-825-836; EDN JTWMQC

Assessing the Financial Literacy of the Population: Development and Testing of the Author's Methodology

Marina V. Antonova

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law
116a Sadovaya St., Belgorod 308023, Russia
antonovamv@yandex.ru

Abstract. Research into the level of the population's financial literacy is currently an urgent task that has both practical and scientific significance. Due to the lack of a unified assessment methodology, the scientific objective of this study was to develop and test the author's methods. The object of the study was the level of financial knowledge, the foundations of financial behavior, and financial attitudes of the population of the Russian Federation. The main method of data collection was a questionnaire survey. The survey was conducted using an electronic

© Антонова М.В., 2025

questionnaire posted on the Dobro.ru platform with the involvement of scientific volunteers (873 volunteers from all over the country took part in the project). The data were collected from November 22, 2024, to June 30, 2025. The author's methodology for assessing financial literacy includes three criteria: financial knowledge, financial behavior, and financial attitudes. The article presents an approbation of this methodology, and the study has revealed the average level of financial literacy among the population. We believe that improving the financial literacy of the population is an essential social factor for the country's development.

Keywords: financial literacy, financial behavior, financial knowledge

For citation: Antonova M.V. 2025. Assessing the Financial Literacy of the Population: Development and Testing of the Author's Methodology. *Economics. Information technologies*, 52(4): 825–836 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-825-836; EDN JTWMQC

Введение

Повышение финансовой грамотности и финансовой культуры населения является одной из важных задач государства. В Российской Федерации реализуется Стратегия повышения финансовой грамотности и финансовой культуры до 2030 года, реализация которой направлена на решение данной проблемы.

Считаем, что финансовая грамотность населения является важным социальным фактором устойчивого развития, исследование влияния которого – актуальная задача научного сообщества.

Отметим, что исследованию финансовой грамотности уделяется достаточное внимание в научных трудах. Проблематика трактовки отдельных понятий «финансовая грамотность», «финансовая культура», «финансовая безопасность», «финансовое образование» исследуется в работах [Бадалова, 2024; Галанов, Галанова, 2020; Гнатив, 2024; Гужина, Жилина, 2025; Хижная, Назарова, Назарова, 2023].

Методические аспекты оценки уровня финансовой грамотности населения отражены в трудах [Баранов, 2019; Котелевская, Шевчук, Рогатовская, Шевченко, 2024; Майкова, Дуболазова, 2023; Черненко, Коменко, 2023; Алифанова, Евлахова, 2013; Семашко, 2023; Ображей, 2024; Черненко, Коменко, 2023].

Теоретическим и практическим аспектам исследования особенностей устойчивого развития посвящены работы [Дмитриева, 2024; Жангирова, 2020; Осетров, Кравченко, 2024; Чистникова, Антонова, Михайличенко, 2022].

Однако современные финансовые инструменты динамично изменяются, финансовый рынок постоянно усложняется, что требует актуализации вопросов при проведении опросов респондентов для оценки уровня их финансовой грамотности, что и определило актуальность темы научного исследования.

Целью исследования является оценка уровня финансовой грамотности населения России по авторской методике с учетом актуальных изменений финансового рынка.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является уровень финансовых знаний, основы финансового поведения и финансовых установок населения Российской Федерации. Основным методом сбора данных выбрано анкетирование респондентов. Анкетирование было проведено с использованием электронной формы анкеты, размещенной на платформе Добро.ру с привлечением научных волонтеров (в проекте приняли участие 873 волонтера со всей страны). Сроки сбора данных: с 22 ноября 2024 года по 30 июня 2025 года. Для оценки уровня финансовой грамотности населения использовались статистические методы исследования.

Результаты и их обсуждение

В рамках проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» было собрано 6307 анкет. Следует отметить, что сбор анкет проводился волонтерами самостоятельно и не предусматривал контроля со стороны руководителя проекта. В этой связи имеются анкеты, в которых не заполнены ответы по отдельным вопросам (доля таких анкет незначительна – менее 3 %), что проявляется в расхождении общего количества ответов по разным вопросам.

Авторская анкета проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» состоит из четырех разделов:

- 1) данные о респонденте;
- 2) финансовые знания респондента;
- 3) финансовое поведение респондента;
- 4) финансовые установки респондента.

Проведем исследование ответов респондентов по данным разделам.

В разделе «Данные о респонденте» анкетированному задавались вопросы о его поле, возрасте, регионе проживания, роде деятельности, оценке его финансовых возможностей.

Отметим, что в рамках данного проекта почти 59 % респондентов – женщины и 41 % – мужчины. Анализ возраста опрашиваемых позволяет сделать выводы, что более половины респондентов – молодежь в возрасте от 14 до 35 лет (62 % от общего числа), лица пенсионного возраста составляют 13,0 %, 25 % приходится на население среднего возраста. Высокая доля молодежи, участвовавшей в опросе, связана со спецификой проведения анкетирования: научные волонтеры преимущественно представляли собой студентов и учащихся 10–11 классов школ.

В проекте принимали участие жители всех регионов Российской Федерации. Отметим, что за весь срок проекта были собраны ответы из 87 регионов (за исключением Чукотского автономного округа). Следует отметить, что отдельные регионы более активно принимали участие в исследовании, некоторые регионы предоставили незначительное количество анкет (по отдельным регионам – до 10 анкет). Отметим, что активность регионов прежде всего связана с активностью участия научных волонтеров в данном субъекте РФ, так как именно они проводили сбор анкет. Основной состав респондентов более трех лет проживают в выбранном регионе. Более 85 % респондентов являются жителями городов.

Высокая доля молодежи в совокупности опрашиваемых лиц обусловила значительную долю учащихся (47 %), 10,3 % опрашиваемых – пенсионеры, что также соответствует возрастной структуре респондентов, более 40 % – работающее население.

Специфика возрастной структуры респондентов отразилась не только в ответах «укажите род деятельности», но и в ответах о размере ежемесячного дохода. Так, 56,3 % опрашиваемых имеют средний доход в месяц до 40 тыс. руб., доля респондентов, имеющих доходы от 40 тыс. руб. до 100 тыс. руб., составляет 33,9 %.

Далее изучим ответы респондентов, относящиеся к категории «Оценка финансовых знаний». В данном разделе в анкете представлены тестовые вопросы разного уровня сложности по нескольким актуальным темам финансовой грамотности населения.

Для оценки ответов по данному блоку нами была выбрана следующая шкала:

- высокий уровень знаний – более 70 % верных ответов;
- средний уровень знаний – 50–69 % верных ответов;
- уровень знаний, требующий внимания – 30–49 % верных ответов;
- критический уровень знаний – менее 30 % верных ответов.

Ответы на вопросы, касающиеся регулирования финансового рынка РФ, представлены в табл. 1.

Финансовое мошенничество является актуальной проблемой, отметим, что только 43,9 % опрашиваемых знают о списке компаний с выявленными признаками нелегальной деятельности на финансовом рынке, размещенной на сайте Банка России. Отметим высокую долю выбора ответа «затрудняюсь» ответить (36,6 %), считаем выбор данного ответа аналогом ответа «не знаю». Таким образом, выявлен значительный пробел в знаниях населения РФ по данному аспекту.

Таблица 1
 Table 1

Ответы респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по вопросам регулирования финансового рынка РФ (составлено автором)
 Responses of the volunteers participating in the project “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” on the regulation of the Russian financial market (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %	Примечания
Вопрос: Банк России (Центральный банк Российской Федерации) публикует список компаний с выявленными признаками нелегальной деятельности на финансовом рынке?			
Да	2712	43,9	Верный ответ
Нет	1202	19,5	
Затрудняюсь ответить	2262	36,6	
Итого	6176	100,0	
Вопрос: Официальный валютный курс в Российской Федерации устанавливает?			
Центральный банк РФ	3981	64,5	Верный ответ
ММВБ (Московская межбанковская валютная биржа)	720	11,7	
Сбербанк России	391	6,3	
Министерство финансов РФ	374	6,1	
Затрудняюсь ответить	710	11,5	
Итого	6176	100,0	

Верный ответ на вопрос о формировании официального валютного курса дали 64,5 % опрошенных, что соответствует среднему уровню знаний респондентов в данной области.
 Ответы на вопросы, связанные с налоговыми вычетами, представлены в табл. 2.

Таблица 2
 Table 2

Ответы респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по вопросам, связанным с налоговыми вычетами (составлено автором)
 Responses of the volunteers participating in the project “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” on issues related to tax deductions (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %	Примечания
Вопрос: Налоговый вычет на лечение – это:			
Социальный налоговый вычет	4015	65,8	Верный ответ
Профессиональный налоговый вычет	561	9,2	
Инвестиционный налоговый вычет	491	8,0	
Затрудняюсь ответить	1034	16,9	
Итого	6102	100,0	
Вопрос: Максимальный размер налогового имущественного вычета, предоставляемого один раз в жизни гражданину при покупке недвижимости, составляет:			
2 млн руб.	1197	19,6	Верный ответ
260 тыс. руб.	1296	21,2	
350 тыс. руб.	928	15,2	
1 млн руб.	825	13,5	
Затрудняюсь ответить	1866	30,5	
Итого	6112	100,0	

Критический уровень знаний продемонстрировали респонденты по вопросам, связанными с размером имущественного вычета. Однако по видам налоговых вычетов наблюдается средний уровень знаний.

Ответы на вопросы, связанные с кредитами и займами, представлены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Ответы респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по вопросам, связанным с кредитами и займами (составлено автором)
Responses of the volunteers participating in the the project “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” on issues related to loans and borrowings (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %	Примечания
Вопрос: Сколько раз в год гражданин имеет право запросить информацию о своей кредитной истории в Бюро кредитных историй – бесплатно?			
Два раза	1595	26,1	Верный ответ
Неограниченное число раз	1636	26,8	
Один раз	727	11,9	
Данная информация доступна только платно	347	5,7	
Затрудняюсь ответить	1803	29,5	
Итого	6108	100,0	
Вопрос: Если в 2024 гражданин взял займ в МФО на сумму 100 тысяч рублей и не вернул ни копейки, то со всеми процентами, пенями и комиссиями его долг составит?			
Не хватает данных для расчетов	1827	30,0	
Не более 130 тыс. руб.	896	14,7	
Не более 230 тыс. руб.	835	13,7	Верный ответ
Не более 100 тыс. руб.	372	6,1	
Затрудняюсь ответить	2167	35,5	
Итого	6097	100,0	
Вопрос: Максимальная ставка пользования микрозаймом в настоящее время ограничена?			
0,8 % в день	1169	19,1	Верный ответ
1,5 % в день	864	14,1	
1 % в день	798	13,1	
Никаких ограничений нет	795	13,0	
Затрудняюсь ответить	2482	40,6	
Итого	6108	100	

Крайне низкий уровень знаний показали опрашиваемые по всем вопросам, связанным с кредитованием. По данному сектору вопросов наблюдается высокая доля ответов «затрудняюсь ответить». Считаем, что при высоком уровне закрединтованности населения РФ, вопросы, связанные с кредитованием, являются актуальными и требуют внимания в рамках повышения уровня финансовой грамотности населения.

В анкете представлены также вопросы, связанные с депозитными операциями населения (табл. 4).

Средний уровень знаний продемонстрировали респонденты по знаниям влияния ключевой ставки на проценты по вкладам (49,7 % верных ответов). По выбору выгодных условий вклада (38,2 % ответили правильно) – доля данных ответов требует внимания при повышении уровня финансовых знаний населения.

Ответы на вопрос, связанный с инвестиционными операциями населения, представлены в таблице 5.

Таблица 4
Table 4

Ответы респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по вопросам, связанным с депозитными операциями (составлено автором)
 Responses of of volunteers participating in the “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” project on issues related to deposit transactions (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %	Примечания
Вопрос: Банк предлагает вам различные варианты вкладов сроком на 1 год под 18 % годовых. При каком из перечисленных ниже вариантов вы получите наибольший доход?			
С ежемесячной капитализацией	2334	38,2	Верный ответ
С ежегодной капитализацией	1027	16,8	
Недостаточно данных для ответа	538	8,8	
Без капитализации	447	7,3	
Затрудняюсь ответить	1765	28,9	
Итого	6111	100,0	
Вопрос: Если ключевая ставка Банка России увеличилась, то процентная ставка по банковским вкладам:			
Увеличится	3047	49,7	Верный ответ
Ключевая ставка не оказывает никакого влияния на размер процентной ставки по банковским вкладам	965	15,8	
Уменьшится	652	10,6	
Недостаточно данных для ответа	258	4,2	
Затрудняюсь ответить	1203	19,6	
Итого	6125	100,0	

Таблица 5
Table 5

Ответы респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по вопросам, связанным с инвестиционными операциями (составлено автором)
 Responses of the volunteers participating in the the project “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” on issues related to investment operations (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %	Примечания
Вопрос: На брокерский счет инвестор в течение года имеет право разместить сумму?			
Любую сумму	1645	26,8	Верный ответ
Не больше 1,4 млн руб.	715	11,6	
Не больше 1 млн руб.	628	10,2	
Не больше 2,8 млн руб.	617	10,0	
Затрудняюсь ответить	2539	41,3	
Итого	6144	100,0	

Критический уровень продемонстрировали опрашиваемые по вопросу, связанному с инвестиционными операциями. Отметим, что в настоящее время инвестиционные продукты стали доступны для физических лиц, однако знаний по грамотному проведению данных операций у большинства не хватает. В этой связи также относим категорию данных вопросов к первостепенным при формировании учебных материалов по финансовой грамотности.

Результаты опроса по блоку «Финансовое поведение» представлены в таблице 6.

Таблица 6
Table 6

Ответы респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по блоку «Финансовое поведение» (составлено автором)
Responses of the volunteers participating in the project “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” in the “Financial Behavior” block (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %
Вопрос: Формируете ли вы резервы (имеется ли у вас финансовая подушка безопасности)?		
Нет, но планирую	1975	32,4
Да, начал(а) формирование резерва	1674	27,5
Да, резерв сформирован	1365	22,4
Нет, и не планирую	1079	17,7
Итого	6093	100,0
Вопрос: Ведёте ли вы личный финансовый план?		
Да, стараюсь	1941	31,9
Да, финансовый план составлен, регулярно вношу корректировки	556	9,1
Нет, но планирую	1678	27,6
Нет, не знаю как	1053	17,3
Нет, считаю это пустой тратой времени	854	14,0
Итого	6082	100,0
Вопрос: Имеется ли у вас накопительный счет в банке?		
Нет, открывать не планирую	2089	34,8
Да	1999	33,3
Нет, но планирую открыть для накоплений	1961	31,9
Итого	6004	100,0
Вопрос: Имеется ли у вас вклад в банке?		
Нет, открывать не планирую	2279	38,1
Нет, но планирую открыть для получения дохода	1966	32,8
Да	1740	29,1
Итого	5985	100
Вопрос: Брали ли вы в течение последнего года кредит или займ?		
Нет и не планирую	2945	48,8
Нет, считаю, что кредиты и займы брать нельзя	1507	25,0
Да	885	14,7
Нет, но планирую	699	11,6
Итого	6036	100,0
Вопрос: Занимались ли инвестиционными операциями?		
Нет и не хочу заниматься инвестициями	3471	55,0
Нет, но планирую	1630	25,8
Да, имею ИИС	677	10,7
Да, имею брокерский счет	538	8,5
Итого	6316	100,0

По нашему мнению, ответы по блоку «Финансовое поведение» целесообразно разделить на группы:

- верное финансовое поведение;
- потенциально верное финансовое поведение;
- неверное (нерациональное) финансовое поведение.

Для оценки уровня финансового поведения определим долю ответов первой и второй группы.

Результаты опроса по блоку «Финансовые установки» представлены в табл. 7.

Таблица 7

Table 7

Структура ответов респондентов проекта «Исследование уровня финансовой грамотности населения РФ» по блоку «Финансовые установки» (составлено автором)

Structure of the responses of the project participants “Study of the Financial Literacy Level of the Russian Population” in the “Financial Attitudes” block (compiled by the author)

Ответы респондентов	Количество ответов, шт.	Удельный вес, %
Некорректные установки		
Вопрос: Согласны ли вы с утверждением «Деньги – корень всех проблем»?		
Нет, не согласен	1765	28,5
Скорее не согласен	1548	25,0
Скорее согласен	1491	24,1
Да, полностью согласен	1048	16,9
Затрудняюсь ответить	333	5,4
Итого	6185	100,0
Вопрос: Согласны ли вы с утверждением «Чтобы быть богатым, надо родиться в обеспеченной семье»?		
Нет, не согласен	1785	29,3
Скорее согласен	1656	27,1
Скорее не согласен	1383	22,7
Да, полностью согласен	917	15,0
Затрудняюсь ответить	361	5,9
Итого	6102	100,0
Вопрос: Согласны ли вы с утверждением «Деньги портят отношения»?		
Скорее согласен	1745	28,7
Скорее не согласен	1507	24,8
Нет, не согласен	1290	21,2
Да, полностью согласен	1090	17,9
Затрудняюсь ответить	451	7,4
Итого	6083	100,0
Корректные установки		
Вопрос: Согласны ли вы с утверждением «Деньги приходят и уходят, но мои навыки и знания остаются»?		
Да, полностью согласен	2888	47,1
Скорее согласен	1975	32,2
Скорее не согласен	594	9,7
Затрудняюсь ответить	359	5,9
Нет, не согласен	311	5,1
Итого	6127	100,0

Следует отметить, что в данном блоке мы отошли от традиционного подхода к формулировке вопросов, используемого, например, Банком России, а выбирали психологические установки с целью выявления их влияния на финансовое поведение человека. Для оценки ответов по блоку «Финансовые установки» нами была выбрана методика определения доли положительных ответов на корректные установки и доля отрицательных – на некорректные установки.

Изучение и систематизация имеющихся методик оценки уровня финансовой грамотности населения позволили сделать вывод, что в настоящее время среди ученых нет единого мнения по данному вопросу. Для оценки финансовой грамотности применяются различные методы и подходы, имеющие свои достоинства и недостатки.

В рамках данного исследования проведена оценка финансовой грамотности населения по авторской методике.

Мы придерживаемся подхода, при котором уровень финансовой грамотности складывается из трех компонентов, при этом значения каждого компонента и итогового критерия будут определены по авторской методике (табл. 8).

Таблица 8

Table 8

Авторская методика оценки уровня финансовой грамотности населения
(составлено автором)

Author's methodology for assessing the level of financial literacy among
the population (compiled by the author)

Критерий финансовой грамотности	Условное обозначение	Значение по результатам исследования
Критерий финансовых знаний	$K_{фз}$	36,74
Критерий финансового поведения	$K_{фп}$	61,73
Критерий финансовых установок	$K_{фу}$	57,7
Общий критерий финансовой грамотности	$K_{фг}$	52,06

Критерий финансовых знаний ($K_{фз}$) определяется как средний уровень знаний по ответам блока «Финансовые знания».

Критерий финансового поведения ($K_{фп}$) определяется как доля ответов, отражающих верное и потенциальное верное финансовое поведение респондента.

Критерий финансовых установок ($K_{фу}$) определяется как средняя доля согласия респондентов с корректными фразами и несогласия с некорректными установками.

Общий критерий финансовой грамотности ($K_{фг}$) определяется по формуле простой средней арифметической.

Таким образом, использование авторской методики оценки финансовой грамотности населения позволило сделать следующие выводы: финансовая грамотность населения РФ находится на среднем уровне, причем требуется повышение финансовых знаний.

Считаем, что повышение уровня финансовой грамотности населения является существенным социальным фактором развития страны.

Заключение

Проведенное исследование позволило выявить основные аспекты, на которые необходимо обратить внимание в первую очередь при повышении уровня финансовой грамотности населения РФ, а именно:

- усиление финансовой грамотности в вопросах финансового мошенничества (считаем, что данный аспект не теряет актуальности, однако изменяется и требует постоянного обновления учебных материалов);
- повышение знаний в вопросах размера и порядка расчета налоговых вычетов;
- изучение особенностей потребительского кредитования в РФ;
- изучение особенностей проведения инвестиционных операций населением РФ.

Считаем, что акцентирование внимания на данных вопросах позволит повысить уровень финансовой грамотности населения РФ, что будет способствовать формированию рационального финансового поведения граждан.

Повышение финансовой грамотности населения является важным социальным фактором развития как отдельного региона, так и страны в целом.

Список источников

- Исследование уровня финансовой грамотности: пятый этап. – URL: http://cbr.ru/analytics/szpp/fin_literacy/research/fin_ed_5/ (дата обращения: 26.09.2025).
- Стратегия повышения финансовой грамотности и формирования финансовой культуры до 2030 года. – URL: <http://static.government.ru/media/files/FJj6iZ8geL94xUACfr2s32ZQoUgqP7fd.pdf> (дата обращения: 22.09.2025).
- Карта финансовой грамотности [Электронный ресурс] // Моифинансы.рф. URL: <https://моифинансы.рф/regions/> (дата обращения: 26.09.2025).

Список литературы

- Алифанова Е.Н., Евлахова Ю.С. 2013. Анализ методических подходов к разработке индикаторов финансовой грамотности населения. *Финансы и кредит*, 12: 18–26.
- Бадалова Э.Ю. 2024. Проблемы сопряженности содержания понятий «финансовая культура» и «финансовая грамотность» в аспекте профессиональной подготовки современного педагога. *Современное образование: актуальные вопросы и инновации*, 2 (21). https://irortsmi.ru/wp-content/uploads/2024/07/2024_2_badalova.pdf
- Баранов Д.Н. 2019. Статистическое исследование уровня финансовой грамотности населения Свердловской области в социальных сетях. В сборнике: Конкурентоспособность территорий. Материалы XXII Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 5 частях. Ответственные за выпуск Я.П. Силин, Е.Б. Дворяжкина: 77–79.
- Галанов В.А., Галанова А.В. 2020. Финансовая грамотность, финансовая вера и финансовое мошенничество. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*, 3 (111): 157–165.
- Гнатив Е.Ю. 2024. О сущности понятий финансовая грамотность и финансовая культура: общее и различия. *Ratio et Natura*, 4 (12): 23–28.
- Гужина Г.Н., Жилина Ж.А. 2025. Финансовая грамотность и финансовая культура. *Управленческий учет*, 6: 174–181.
- Дмитриева Е.В. 2024. Формирование механизмов устойчивого развития региональных экономических систем. *Финансовые рынки и банки*, 3: 257–262.
- Жангирова Р.Н. 2020. Актуальные вопросы и перспективные направления устойчивого развития экономики. *Актуальные вопросы современной экономики*, 5: 776–781.
- Котелевская Ю.В., Шевчук И.А., Рогатовская А.С., Шевченко А.Т. 2024. Исследование и оценка уровня финансовой грамотности населения города Севастополя. *Финансовый менеджмент*, 6: 255–262.
- Майкова А.А., Дуболазова Ю.А. 2023. Исследование уровня финансовой грамотности населения по регионам Российской Федерации. В сборнике: Цифровое общество: образование, экономика, технологии. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Д.Н. Ганченко, О.А. Цвиркун, А.В. Фоминой. Москва: 70–73.
- Ображей О. 2024. Индексы финансовой грамотности населения Беларуси: анализ и динамика изменений. *Банковский вестник*, 11: 57–64.
- Осетров М.А., Кравченко Л.Н. 2024. Формирование основных показателей устойчивого развития региональных экономических систем. *Журнал монетарной экономики и менеджмента*, 10: 235–239.
- Семашко А.В. 2023. Исследование практических подходов к оценке финансовой грамотности населения. *Наука и бизнес: пути развития*, 11: 110–113.
- Хижная А.В., Назарова А.Н., Назарова Е.Н. 2023. Взаимосвязь понятий «финансовая грамотность», «финансовое образование» и «финансовая культура». *Проблемы современного педагогического образования*, 81-1: 260–261.
- Цакаев А.Х., Рассуханов У.А. 2024. Финансовая грамотность и финансовая культура в контексте финансовой безопасности России. *Экономическая безопасность*, 7: 1817–1830.
- Черненко Д.А., Коменко Д.Д. 2023. Исследование уровня финансовой грамотности населения Донецкой народной республики. В сборнике: Проблемы развития социально-экономических систем. Материалы VII Международной научной конференции молодых учёных и студентов. Донецк: 226–229.
- Чистникова И.В., Антонова М.В., Михайличенко М.Ю. 2022. Научный подход к исследованию влияния цифровизации на экономику региона. *E-Management*, 4: 72–81.

References

- Alifanova E.N., Yevlakhova Yu.S. 2013. Analysis of methodological approaches to the development of indicators of financial literacy of the population [Analiz metodicheskikh podkhodov k razrabotke indikatorov finansovoy gramotnosti naseleniya]. *Finance and Credit*, 12: 18–26.
- Badalova E.Yu. 2024. Problems of the content of the concepts of “financial culture” and “financial literacy” in the aspect of professional training of a modern teacher [Problemy sopryazhennosti soderzhaniya ponyatiy “finansovaya kultura” i “finansovaya gramotnost” v aspekte professionalnoy podgotovki sovremennogo pedagoga]. *Modern Education: Current Issues and Innovations*, 2 (21). https://irortsmi.ru/wp-content/uploads/2024/07/2024_2_badalova.pdf
- Baranov D.N. 2019. Statistical study of the level of financial literacy of the population of the Sverdlovsk region in social networks. In the collection: Competitiveness of Territories [Statisticheskoye issledovaniye urovnya finansovoy gramotnosti naseleniya sverdlovskoy oblasti v sotsialnykh setyakh]. Materials of the XXII All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students. In 5 parts. Responsible for the issue: Ya.P. Silin, E.B. Dvoryadkina: 77–79.
- Galanov V.A., Galanova A.V. 2020. Financial Literacy, Financial Faith, and Financial Fraud [Finansovaya gramotnost. finansovaya vera i finansovoye moshennichestvo]. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 3 (111): 157–165.
- Gnativ E.Yu. 2024. On the Essence of the Concepts of Financial Literacy and Financial Culture: Commonalities and Differences [O sushchnosti ponyatiy finansovaya gramotnost i finansovaya kultura: obshcheye i razlichiya]. *Ratio et Natura*, 4 (12): 23–28.
- Guzhina G.N., Zhilina Zh.A. 2025. Financial Literacy and Financial Culture [Finansovaya gramotnost i finansovaya kultura]. *Managerial Accounting*, 6: 174–181.
- Dmitrieva E.V. 2024. Formation of Mechanisms for Sustainable Development of Regional Economic Systems [Formirovaniye mekhanizmov ustoychivogo razvitiya regionalnykh ekonomicheskikh sistem]. *Financial Markets and Banks*, 3: 257–262.
- Zhangirova R.N. 2020. Current Issues and Promising Directions for Sustainable Economic Development [Aktualnyye voprosy i perspektivnyye napravleniya ustoychivogo razvitiya ekonomiki]. *Current Issues of the Modern Economy*, 5: 776–781.
- Kotelevskaya Yu.V., Shevchuk I.A., Rogatovskaya A.S., Shevchenko A.T. 2024. Research and Assessment of the Financial Literacy Level of the Population of the City of Sevastopol [Issledovaniye i otsenka urovnya finansovoy gramotnosti naseleniya goroda Sevastopolya]. *Financial Management*, 6: 255–262.
- Maikova A.A., Dubolazova Yu.A. 2023. Research on the Level of Financial Literacy of the Population by Regions of the Russian Federation. In the collection: Digital Society: Education, Economy, and Technologies [Issledovaniye urovnya finansovoy gramotnosti naseleniya po regionam Rossiyskoy Federatsii]. Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference. Edited by D.N. Ganchenko, O.A. Tsvirkun, and A.V. Fomina. Moscow: 70–73.
- Obrazhey O. 2024. Financial Literacy Indices of the Belarusian Population: Analysis and Dynamics of Changes [Indeksy finansovoy gramotnosti naseleniya Belarusi: analiz i dinamika izmeneniy]. *Bankovskiy Vestnik*, 11: 57–64.
- Osetrov M.A., Kravchenko L.N. 2024. Formation of the Main Indicators of Sustainable Development of Regional Economic Systems [Formirovaniye osnovnykh pokazateley ustoychivogo razvitiya regionalnykh ekonomicheskikh sistem]. *Zhurnal Monetarnoy Ekonomiki i Menedzhmenta*, 10: 235–239.
- Semashko A.V. 2023. Research of practical approaches to assessing the financial literacy of the population [Issledovaniye prakticheskikh podkhodov k otsenke finansovoy gramotnosti naseleniya]. *Science and Business: Ways of Development*, 11: 110–113.
- Khizhnaia A.V., Nazarova A.N., Nazarova E.N. 2023. The relationship between the concepts of “financial literacy”, “financial education”, and “financial culture” [Vzaimosvyaz ponyatiy “finansovaya gramotnost”, “finansovoye obrazovaniye” i “finansovaya kultura”]. *Problems of Modern Pedagogical Education*, 81-1: 260–261.
- Tsakaev A.Kh., Rassukhanov U.A. 2024. Financial Literacy and Financial Culture in the Context of Russia's Financial Security [Finansovaya gramotnost i finansovaya kultura v kontekste finansovoy bezopasnosti Rossii]. *Economic Security*, 7: 1817–1830.
- Chernenko D.A., Komenko D.D. 2023. Research on the Financial Literacy Level of the Population of the Donetsk People's Republic [Issledovaniye urovnya finansovoy gramotnosti naseleniya Donetskoy narodnoy respubliky]. In the collection: Problems of Development of Socio-Economic Systems.



Materials of the VII International Scientific Conference of Young Scientists and Students. Donetsk: 226–229.

Chistnikova I.V., Antonova M.V., Mikhailichenko M.Yu. 2022. A Scientific Approach to Researching the Impact of Digitalization on the Regional Economy [Nauchnyy podkhod k issledovaniyu vliyaniya tsifrovizatsii na ekonomiku regiona]. *E-Management*, 4: 72–81.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 29.09.2025

Поступила после рецензирования 03.11.2025

Принята к публикации 17.11.2025

Received September 29, 2025

Revised November 03, 2025

Accepted November 17, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Антонова Марина Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры финансов и таможенных доходов, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Marina V. Antonova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Finance and Customs Revenue Department, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

УДК 336.717.3
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-837-850
EDN KBFIBJ

Прогнозирование и моделирование объемов вкладов населения в коммерческие банки РФ в современных условиях экономического развития

Карловская Е.А., Мельникова Н.С., Быканова Н.И., Суворова Э.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

karlovskaya@bsuedu.ru; melnikova_n@bsuedu.ru; bykanova@bsuedu.ru; 1623239@bsuedu.ru

Аннотация. В статье рассматривается роль депозитов населения в формировании ресурсной базы коммерческих банков. Проведен обзор коммерческих банков, которые занимают значительную долю на рынке депозитов населения с учетом текущих экономических условий и изменений ключевой ставки Банка России. В условиях инфляции и экономической неопределенности депозитные продукты становятся ключевыми инструментами для защиты и приумножения сбережений граждан. Особое внимание уделено тенденциям колебания процентных ставок по депозитным продуктам на протяжении последних 10 лет. В результате исследования предложен прогноз по дальнейшему развитию ситуации на рынке банковских вкладов на конец 2025 года, а также на 2026–2027 гг.

Ключевые слова: банк, депозит, вклад, население, валюта, ключевая ставка, процентная ставка

Для цитирования: Карловская Е.А., Мельникова Н.С., Быканова Н.И., Суворова Э.А. 2025. Прогнозирование и моделирование объемов вкладов населения в коммерческие банки РФ в современных условиях экономического развития. *Экономика. Информатика*, 52(4): 837–850. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-837-850; EDN KBFIBJ

Forecasting and Modeling the Volume of Deposits of the Population in Commercial Banks of the Russian Federation in Modern Conditions of Economic Development

Evgenia A. Karlovskaya, Natalia S. Melnikova, Natalya I. Bykanova, Elvira A. Suvorova

Belgorod State National Research University

85 Pobeda St., Belgorod 308015, Russia

karlovskaya@bsuedu.ru; melnikova_n@bsuedu.ru; bykanova@bsuedu.ru; 1623239@bsuedu.ru

Abstract. The article examines the role of household deposits in shaping the resource base of commercial banks. It provides an overview of commercial banks that hold a significant share in the household deposit market, taking into account the current economic conditions and changes in the key interest rate of the Bank of Russia. In the context of inflation and economic uncertainty, deposit products have become key instruments for protecting and increasing citizens' savings. The article focuses on the trends in interest rate fluctuations for deposit products over the past 10 years. As a result of the study, a forecast for the further development of the situation on the bank deposit market for the end of 2025, as well as for 2026–2027, has been proposed.

Keywords: bank, deposit, contribution, population, currency, key bid, interest rate

For citation: Karlovskaya E.A., Melnikova N.S., Bykanova N.I., Suvorova E.A. 2025. Forecasting and Modeling the Volume of Deposits of the Population in Commercial Banks of the Russian Federation in Modern Conditions of Economic Development. *Economics. Information technologies*, 52(4): 837–850 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-837-850; EDN KBFIBJ

Введение

Депозиты населения играют ключевую роль в формировании ресурсной базы коммерческих банков. В условиях современности банки акцентируют внимание на планировании своей деятельности, уделяя особое внимание разработке стратегий и тактик, связанных с депозитной политикой. Сейчас, когда финансовые рынки постоянно меняются и развиваются, финансовое состояние и конкурентоспособность каждого коммерческого банка, а также общее состояние банковской системы в стране, в значительной мере зависят от депозитных программ, предлагаемых банками. Эти программы выполняют основные функции в привлечении средств от населения, и именно объем размещенных вкладов определяет финансовую устойчивость и развитие банковской деятельности.

Объекты и методы исследования

В данном исследовании объектом анализа являются депозитные продукты, предлагаемые ведущими банками России. Для достижения поставленных целей использованы методы исследования: анализ литературы (исследование существующих научных и практических источников по депозитной политике и ее влиянию на финансовую устойчивость банков); сравнительный анализ (сравнение депозитных программ различных коммерческих банков для выявления лучших практик и стратегий); статистический анализ (оценка данных о депозитах населения, включая объемы вкладов, процентные ставки банков и ключевой ставки ЦБ РФ, с целью анализа их влияния на финансовое состояние банковского сектора и экономики России в целом; метод моделирования и прогнозирования (прогнозирование методом среднего абсолютного прироста объема вкладов в национальной и иностранной валютах в банковской системе Российской Федерации на более длительный срок (до 2027 года) для получения информации о предпочтениях и ожиданиях в области развития депозитного рынка в современных экономических условиях). Данные для анализа были собраны из открытых источников, включая финансовые отчеты банков, аналитические материалы и статистику Центрального банка России. Основное внимание уделяется анализу объемов привлеченных депозитов, условиям размещения средств и конкурентоспособности банковских предложений.

Результаты и их обсуждение

В современных реалиях развития мировой и национальной экономики России депозитные продукты для населения являются одним из основных инструментов защиты накопленных сбережений от инфляции, также немаловажным является желание граждан приумножить собственные средства и получить доход в виде процентов.

Наибольшую долю на рынке вкладов (депозитов) населения в течение 2025 года (за 9 месяцев) занимает ПАО Сбербанк с колоссальным объемом в 15 725,93 млрд руб. Это значительно превосходит показатели других игроков рынка и подчеркивает лидирующую позицию Сбербанка в сфере привлечения средств населения.

На втором месте с существенным отрывом располагается ПАО Банк ВТБ, которому удалось привлечь 7708,05 млрд руб. депозитов. Банк ВТБ традиционно входит в число лидеров банковского сектора, и его результаты в сфере вкладов подтверждают эту тенденцию.

Третью строчку занимает АО Альфа-Банк с показателем в 3071,84 млрд руб. Альфа-Банк активно развивает розничный бизнес и предлагает привлекательные условия для вкладчиков, что способствует увеличению его доли на рынке депозитов.

В первую пятерку также входят АО Банк ГПБ (2694,34 млрд руб.) и АО Т-Банк (2258,39 млрд руб.). Банк ГПБ как один из крупнейших банков России демонстрирует стабильные результаты в сфере привлечения депозитов. Т-Банк, благодаря своей инновационной бизнес-модели и ориентированности на онлайн-сервисы, активно привлекает новых клиентов и увеличивает объем вкладов.

Вторая половина топ-10 представлена следующими банками: АО Россельхозбанк (1532,95 млрд руб.), ПАО Совкомбанк (841,32 млрд руб.), ПАО МКБ (739,93 млрд руб.), АО Банк ДОМ.РФ (300,99 млрд руб.) и ПАО Росбанк (297,37 млрд руб.). Эти банки хоть и не достигают показателей лидеров, но также играют важную роль на рынке депозитов и предлагают разнообразные продукты для вкладчиков (рис. 1).

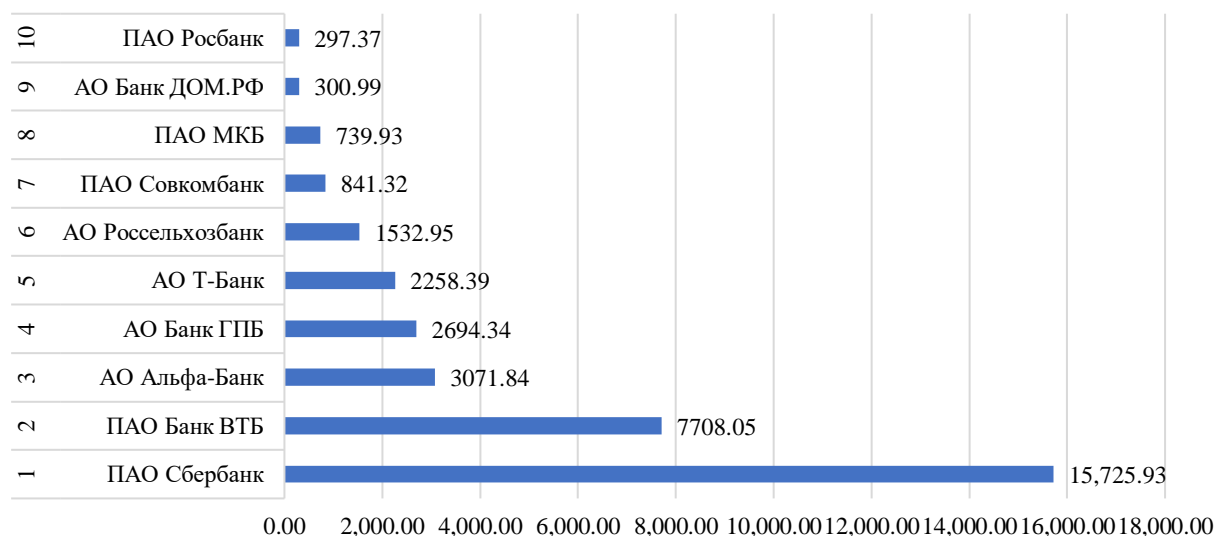


Рис. 1. Топ-10 банков по доле на рынке депозитов населения в течение 2025 года (за 9 месяцев), млрд руб. [Крупнейшие банки по сумме вкладов ..., 2025]

Fig. 1. Top 10 banks by market share of household deposits during 2025 (for nine months), billion rubles [The largest banks by deposit amount ... , 2025]

Финансовое состояние и конкурентоспособность каждого коммерческого банка, а также общее состояние банковской системы в стране, в значительной мере зависят от депозитных программ, предлагаемых банками. Эти программы играют ключевую роль в привлечении средств от населения, и именно объем размещенных вкладов определяет финансовую устойчивость и развитие банковской деятельности.

Рассмотрим депозитные программы на примере трех популярных банков, таких как Сбер, ВТБ и Т-Банк, которые предлагают разнообразные условия для удовлетворения различных потребностей клиентов на начало октября 2025 года.

Сбербанк как один из лидеров финансового сектора предлагает клиентам широкий выбор депозитных продуктов. На 01.10.2025 в линейке банка представлены как классические вклады, так и более гибкие накопительные счета.

«СберВклад» и «Лучший %» предлагают максимальную процентную ставку до 15,5 % годовых, однако требуют минимального первоначального взноса в 100 000 рублей. Сроки размещения варьируются от 1 до 36 месяцев. Важной особенностью «СберВклада» является возможность пополнения, в то время как «Лучший %» такой опции не предусматривает, но позволяет снимать начисленные проценты. Выплата процентов по этим вкладам может осуществляться как ежемесячно, так и в конце срока – на выбор клиента.

«Накопительный счет» от Сбербанка отличается более гибкими условиями – начать накопление можно с любой суммы. Процентная ставка немного ниже – до 13,5 %, однако счет является бессрочным и позволяет свободно пополнять и снимать средства. Выплата процентов осуществляется ежемесячно (табл. 1).

ВТБ на 01.10.2025 акцентирует внимание на выгодных процентных ставках и удобстве использования депозитных продуктов.

Вклад «Двойная выгода» предлагает максимальную процентную ставку среди рассматриваемых банков – до 19 % годовых. Однако стоит учитывать, что вклад с максимальной

ставкой – только для участников программы долгосрочных сбережений (ПДС) с НПФ ВТБ, а также срок вклада ограничен 3, 6 или 12 месяцами, пополнение и снятие средств не предусмотрены, а минимальная сумма составляет 30 000 рублей. Проценты выплачиваются ежемесячно.

Таблица 1
Table 1

Основные виды депозитных продуктов для клиентов физических лиц
 в ПАО Сбербанк на 01.10.2025 [Сбербанк, 2025]
 Main types of deposit products for individual clients
 at Sberbank PJSC as of October 1, 2025 [Sberbank, 2025]

Вклад/ Накопительный счет	Лучший %	СберВклад	Накопительный счет
Ставка	До 15,5 %	До 15,5 %	До 13,5 %
Минимальная сумма	От 100 000 руб.	От 100 000 руб.	От 0 руб.
Сроки	От 1 до 36 месяцев	От 1 до 36 месяцев	Бессрочный
Пополнение/снятие	Без пополнения, можно снимать %	С пополнением, можно снимать %	С пополнением, со снятием
Выплата	На выбор – ежемесячно или в конце срока	На выбор – ежемесячно или в конце срока	Ежемесячно

«ВТБ-Вклад в рублях» предоставляет большую гибкость в плане сроков – от 2 до 36 месяцев. Минимальная сумма вклада составляет 10 000 рублей. Есть возможность пополнять и снимать средства. Выплата процентов производится в конце срока.

«Накопительный ВТБ-Счет» – это бессрочный вклад с возможностью свободного пополнения и снятия средств без ограничений. Минимальная сумма для открытия составляет всего 1000 рублей, а процентная ставка достигает 16 % годовых. Проценты выплачиваются ежемесячно (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Основные виды депозитных продуктов для клиентов физических лиц в ПАО ВТБ
 на 01.10.2025 [ВТБ, 2025]
 Main types of deposit products for individual customers
 in PJSC VTB as of October 1, 2025 [VTB, 2025]

Вклад/ Накопительный счет	Вклад «Двойная выгода»	ВТБ-Вклад в рублях	Накопительный ВТБ-Счет
Ставка	До 19 %	До 16 %	До 16 %
Минимальная сумма	От 30 000 руб.	От 10 000 руб.	От 1000 руб.
Сроки	3, 6, 12 мес.	2-36 мес.	Бессрочно
Пополнение/снятие	Без пополнения и снятия	С пополнением и снятием	Есть, без ограничений
Выплата	Ежемесячно	Выплата процентов в конце срока	Ежемесячно

Т-Банк на 01.10.2025 предлагает современные и удобные решения для накопления средств, ориентированные на онлайн-банкинг и гибкость управления финансами.

«СмартВклад» и «Вклад для глобальных задач» предлагают сопоставимую процентную ставку – до 15 % годовых. Оба вклада предусматривают возможность пополнения и снятия средств. Минимальная сумма для открытия составляет 50 000 рублей. Срок «СмартВклада» варьируется от 31 до 730 дней, а «Вклада для глобальных задач» – от 1 до 24 месяцев. Выплата процентов по обоим вкладам производится ежемесячно.

«Накопительный счет для ближайших целей» от Т-Банка позволяет начать накопление с любой суммы и не имеет ограничений по срокам. Процентная ставка составляет до 11 % годовых. Есть возможность свободно пополнять и снимать средства. Выплата процентов осуществляется ежемесячно (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Основные виды депозитных продуктов для клиентов физических лиц
в АО Т-Банк на 01.10.2025 [Т-Банк, 2025]
Main types of deposit products for individual clients
in T-Bank JSC as of October 1, 2025 [T-Bank, 2025]

Вклад/ Накопительный счет	СмартВклад	Вклад для глобальных задач	Накопительный счет для ближайших целей
Ставка	До 15 %	До 15 %	До 11 %
Минимальная сумма	От 50 000 руб.	От 50 000 руб.	От 0 руб.
Сроки	От 31 до 730 дней	От 1 до 24 месяцев	Без ограничений
Пополнение/снятие	Есть	Есть	Есть
Выплата	Ежемесячно	Ежемесячно	Ежемесячно

Так, выбирая между Сбером, ВТБ и Т-Банком, клиенты могут ориентироваться на свои предпочтения в отношении условий и сервиса.

По данным Банка России, в период с 2016 по 2025 годы (9 месяцев) наблюдается стабильная тенденция к росту вкладов населения в коммерческих банках страны в национальной и иностранной валютах (рис. 2).



Рис. 2. Банковские депозиты (вклады) и другие привлеченные средства юридических лиц, физических лиц (в целом по Российской Федерации) за период 2016–2025 гг. (9 месяцев), млн руб.
[Банковский сектор, 2025]

Fig. 2. Bank deposits (contributions) and other attracted funds of legal entities and individuals (in general for the Russian Federation) for the period 2016–2025 (nine months), million rubles [Banking Sector, 2025]

За последние 10 лет объем депозитных программ коммерческих банков демонстрирует изменение тенденций в инвестиционных предпочтениях граждан. На первый взгляд, наблюдается

устойчивый рост вкладов в национальной валюте, что свидетельствует о росте доверия к рублю и стабильности финансовой системы страны. С 2015 года объем таких вкладов возрос в 3,7 раза (с 30,8 трлн руб. в 2015 году до 127 815 913 млн руб. в 2024 году), что говорит о значительном повышении накоплений и инвестиций в рублевые активы. Следовательно, вклады в иностранной валюте демонстрируют обратную тенденцию, объем депозитов в иностранной валюте за рассматриваемый период сократился в 0,8 раз (с 18,6 трлн руб. в 2015 году до 98,544 трлн руб. в 2025 году). Вероятно, колебания валютных курсов и экономические санкции способствовали изменению отношения граждан к валютным депозитам. Значительный минимум вкладов в иностранной валюте наблюдался в 2022 году, достигнув 12,06 трлн руб. Но в последние годы отмечается незначительное восстановление с учетом изменения приоритетности иностранной валюты: с доллара США на китайский юань.

Итак, наблюдается четкое разделение в предпочтениях вкладчиков: растущее доверие к рублю и осторожный подход к иностранной валюте. Отмеченные тенденции могут служить важным индикатором для анализа поведения населения и экономической политики в стране.

Немаловажным фактором в стремительном росте объема депозитов в российской банковской системе является процентная ставка. На сегодняшний день банки предлагают различные условия по процентным ставкам на депозиты в зависимости от срока размещения и суммы вклада. Однако важно учитывать не только размер процентной ставки, но и условия ее начисления.

За период 2016–2025 гг. (9 мес.) средневзвешенные процентные ставки по привлеченным кредитными организациями вкладам (депозитам) в рублях физических лиц демонстрируют значительную динамику изменений на протяжении десяти лет (рис. 3). В целом, можно наблюдать общую тенденцию к снижению ставок до 2019 года, после чего следует заметный рост в 2022 и 2025 годах.

В целом наблюдается тенденция снижения процентных ставок в период с 2016 по 2021 год с последующим резким ростом в 2024 и 2025 годах. Например, средневзвешенная процентная ставка по вкладам «до 1 года, включая «до востребования»» снизилась с 8,20 % в 2016 году до 3,36 % в 2021 году, а затем увеличилась до 20,96 % к 2025 году (9 месяцев).

Максимальные процентные ставки наблюдаются по вкладам на срок до 30 дней (кроме «до востребования») и на срок от 91 до 180 дней. В 2025 году (9 месяцев) ставки по этим вкладам достигли 20,85 % и 21,54 % соответственно. Это может быть связано с краткосрочными мерами банков для привлечения ликвидности.

Стоит отметить, что вклады «свыше 3 лет» имеют относительно низкие процентные ставки по сравнению с другими сроками. В 2025 году (9 месяцев) ставка по таким вкладам составила 13,52 %, что значительно ниже максимальных значений по другим срокам. Это может быть связано с более долгосрочной перспективой банков и более низкими ожиданиями по инфляции на длительном горизонте (рис. 3).

Наиболее выраженные изменения наблюдаются в сегменте депозитов «до востребования», где ставка упала до рекордно низкого уровня в 2,32 % в 2021 году, но к 2025 году вновь возросла до 7,09 %. Вкладчики проявляют больший интерес к более долгосрочным депозитам, что также видно по росту ставок для вкладов от 1 года до 3 лет и свыше 3 лет – они остались более устойчивыми.

В будущем ожидается, что изменение процентных ставок будет зависеть от экономической ситуации и политики ЦБ. Учитывая текущие тенденции, вкладчики имеют возможность адаптировать свои стратегии, чтобы извлечь максимальную выгоду из растущих ставок, выбор более долгосрочных вкладов может стать привлекательной стратегией для обеспечения стабильного дохода.

Одним из основных инструментов, применяемых Центральным банком России для регулирования рынка депозитных продуктов, является изменение ключевой процентной ставки. Изменяя её значение, финансовый институт способен влиять на уровень ставок по кредитам и депозитам в стране. В ситуации, когда ставка Центрального банка повышается, наблюдается рост процентных ставок по кредитам и депозитам. Высокая ставка делает

открытие депозитов более привлекательным, в то время как заемщики становятся менее заинтересованными в получении кредитов. Наоборот, при низком уровне ключевой ставки проценты по депозитам снижаются, что создает более выгодные условия для заемщиков, но менее выгодные для тех, кто предпочитает размещать свои средства на вкладах (рис. 4).

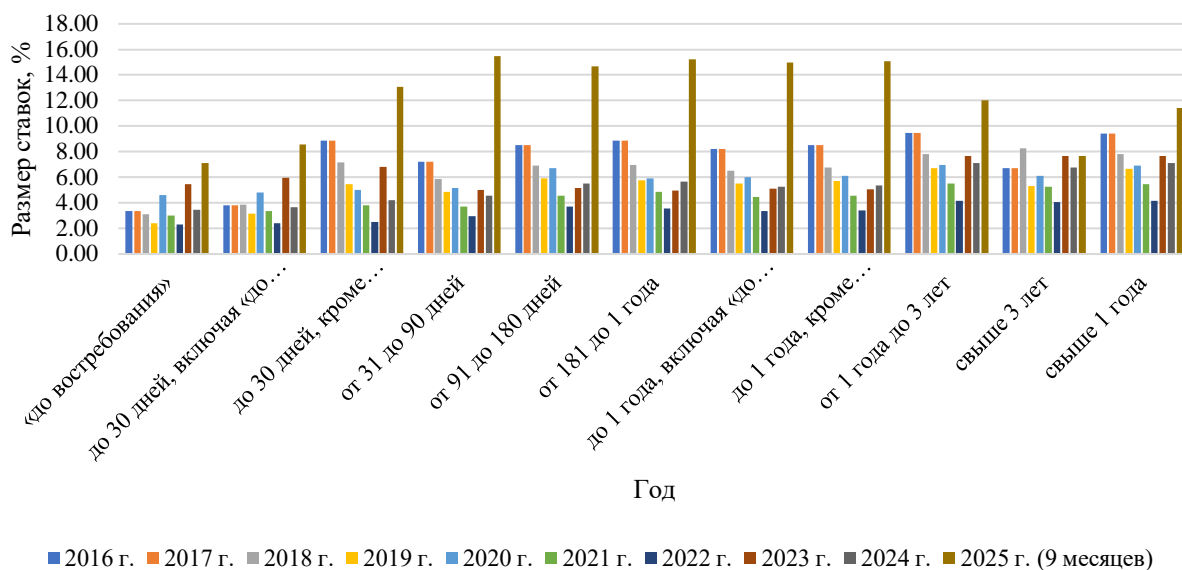


Рис. 3. Средневзвешенные процентные ставки по привлеченным кредитными организациями вкладам (депозитам) в рублях физических лиц в период с 2016 по 2025 гг. (9 месяцев), % [ЕМИСС, 2025]
Fig. 3. Weighted average interest rates on ruble deposits by individuals held by credit institutions in the period from 2016 to 2025 (nine months), % [EMISS, 2025]

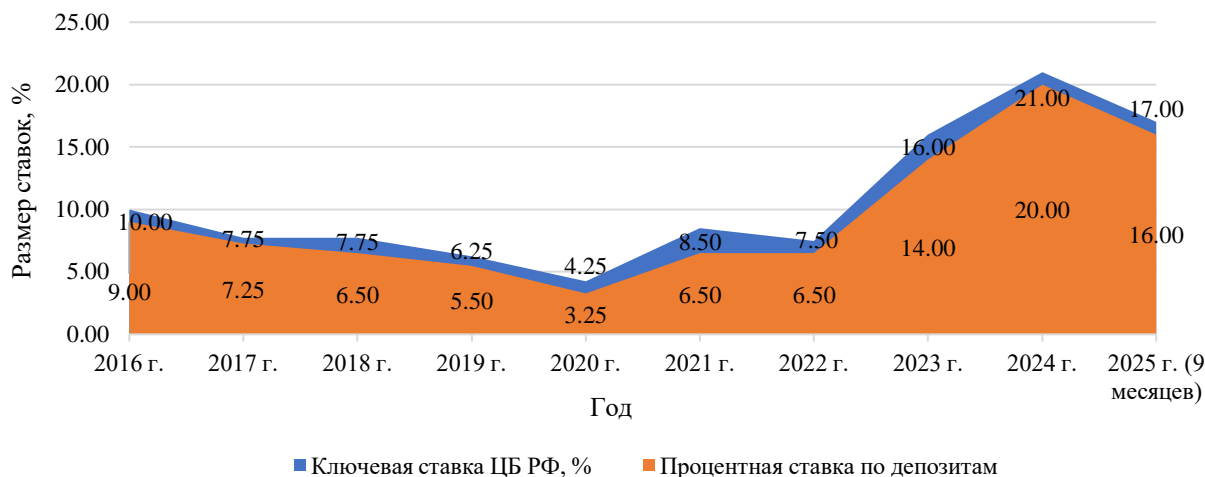


Рис. 4. Взаимосвязь изменения ключевой ставки ЦБ РФ и рыночной ставки по депозитам в период с 2016 по 2025 гг. (9 месяцев), % [Банк России, 2025]
Fig. 4. Relationship between changes in the key rate of the Central Bank of the Russian Federation and the market rate for deposits in the period from 2016 to 2025 (nine months), % [Bank of Russia, 2025]

Анализируя данные, представленные на рис. 4, можно заметить, что динамика рынка банковских депозитов тесно связана с ключевой ставкой, задаваемой Банком России. Начиная с 2015 года, ключевая ставка претерпела значительные колебания, что напрямую сказалось на депозитных ставках и объемах депозитных продуктов.

В течение 2016–2017 гг. наблюдается высокая ключевая ставка, что приводит к значительным процентным ставкам по депозитам. Однако с 2018 года на фоне снижения

ключевой ставки происходит постепенное снижение и депозитных ставок, достигая минимума в 2021 году. Эта динамика свидетельствует о том, что рынок депозитов активно реагирует на изменения монетарной политики.

Однако, начиная с 2021 года, ситуация кардинально меняется. Рост инфляции и другие макроэкономические факторы спровоцировали увеличение ключевой ставки. В 2021 году она выросла до 8,50 %, а в 2022 году, после непродолжительной стабилизации, продолжила расти. Значительный скачок произошел в 2023 году, когда ключевая ставка достигла 16,00 %, что вызвало соответствующий рост процентных ставок по депозитам до 14,00 %. Пик роста пришелся на 2024 год, когда ключевая ставка достигла 21,00 %, а ставки по депозитам – 20,00 %. К 9 месяцам 2025 года мы наблюдаем некоторое снижение ставки, но она все еще остается на высоком уровне – 17,00 % что повлекло за собой и снижение по депозитам до 16,00 %.

По данным об объеме депозитных портфелей коммерческих банков в национальной и иностранной валюте была построена трендовая модель прогноза вкладов населения до 2026 года (рис. 5).



Рис. 5. Прогноз объема вкладов (депозитов) до 2026 гг., млн руб. [Банковский сектор. Банк России, 2025]
Fig. 5. Forecast of the volume of deposits until 2026, million rubles [Banking sector. Bank of Russia, 2025]

В полученных моделях коэффициент детерминации больше 80 %, следовательно, модели можно считать достоверными. Согласно прогнозу, рынок депозитов населения в национальной валюте до 2026 г. сохранит тенденцию к росту. Объем вкладов в иностранной валюте в соответствии с прогнозом будет сокращаться. Для того чтобы узнать, как изменится численность вкладов в национальной и иностранной валютах в Российской Федерации, составим прогноз до 2027 года. При проведении прогноза применим метод на основе среднего абсолютного прироста [Карловская, Ваганова, Мельникова, Быканова, 2024].

«Прогнозирование методом среднего абсолютного прироста предполагает, что уровни ряда динамики изменяются равномерно (линейно)» [Лебедева, Федорова, 2021, с. 8]. Применение данного метода прогнозирования возможно при предварительной проверке следующих предпосылок:

- 1) Абсолютные цепные приросты должны быть приблизительно одинаковыми;
- 2) Должно выполняться неравенство вида:

$$\delta_{\text{ост}}^2 \leq p^2, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{ост}}^2$ – остаточная дисперсия:

$$\delta^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - y_{\bar{d}})^2}{n}, \quad (2)$$

$$p^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{t=1}^n \Delta_t^2}{n}, \quad (3)$$

Δ_t – цепные абсолютные приросты исходного ряда динамики,

$y_{\bar{d}}$ – теоретические значения уровней ряда, выровненные методом среднего абсолютного прироста.

После проверки и подтверждения выполнения данных предпосылок можно приступать к прогнозированию. Общая модель прогноза имеет вид:

$$y_{t+L} = y_t + L, \quad (4)$$

y_t – последний уровень исходного ряда динамики (для перспективного прогноза) или уровень, принятый за базу экстраполяции (во всех остальных случаях),

$\bar{\Delta}$ – средний абсолютный прирост:

$$\bar{\Delta} = \frac{y_t - y_1}{n-1}, \quad (5)$$

L – период упреждения (горизонт прогнозирования),

y_t – последний уровень исходного ряда динамики,

y_1 – первый уровень исходного ряда динамики,

n – число уровней ряда.

«Нужно отметить, что упрощенные методы прогнозирования дают неплохие результаты только в краткосрочной перспективе, в связи с этим, период упреждения больше 3 брать не рекомендуется» [Лебедева, Федорова, 2021, с. 9].

Рассмотрим пример с использованием прогнозирования методом среднего абсолютного прироста.

Построим прогноз численности вкладов в национальной и иностранной валютах Российской Федерации с периодом упреждения равным 1 году.

Исходные данные о численности вкладов в России представлены в табл. 4, 5.

Таблица 4

Table 4

Расчетная таблица для определения прогнозных значений методом среднего абсолютного прироста вкладов в национальной валюте, трлн руб. [Банк России, 2025]

Calculation table for determining forecast values using the method of average absolute growth of deposits in national currency, trillion rubles [Bank of Russia, 2025]

Год	Вклады юр. и физ. лиц в национальной валюте, трлн руб. y_{t_1}	Δ_t	$y_{\bar{d}}$	$(y_t - y_{\bar{d}})^2$	Δ_t^2
1	2	3	4	5	6
2016	33,80	–	33,80	0,00	–
2017	37,53	3,73	44,25	45,14	13,89
2018	43,11	5,58	54,69	134,15	31,16
2019	48,72	5,61	65,14	269,58	31,46
2020	54,90	6,18	75,58	427,70	38,23
2021	64,96	10,05	86,03	444,03	101,09

Окончание табл. 4
End of Table 4

1	2	3	4	5	6
2022	78,30	13,34	96,47	330,44	177,94
2023	98,54	20,25	106,92	70,15	409,99
2024	120,65	22,11	117,36	10,82	488,85
2025 (9 мес.)	127,81	7,16	127,81	0,00	51,21
Итого	708,32	94,01	–	1732,02	1343,80

Рассчитаем среднеквадратическую ошибку из данных, представленных в табл. 4:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \bar{y})^2}{n-2}}, \quad (6)$$

$$s = \sqrt{\frac{1732,02}{8}} = \sqrt{216,50} = 14,71 \text{ (трлн руб.)}. \quad (6.1)$$

Используя данные из табл. 2, рассчитаем средний абсолютный прирост по формуле (5), где $\bar{\Delta} = \frac{127,81-33,80}{10-1} = \frac{94,01}{9} = 10,45$ (трлн руб.), и проверим неравенство (1) $\delta_{\text{ост}}^2 = \frac{1732,02}{10} = 173,2$ (трлн руб.), $p^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{7015,74}{10} = 350,8$ (трлн руб.).

Неравенство выполняется, так как остаточная дисперсия меньше p^2 , следовательно, с точки зрения предпосылок, данный метод применим в прогнозировании численности вкладов в национальной валюте Российской Федерации. Спрогнозируем, используя модель (4):

$$\bar{y}_{2025} = 127,81 + 10,45 \cdot 1 = 138,26 \text{ (трлн руб.)}, \quad (4.1)$$

$$\bar{y}_{2026} = 127,81 + 10,45 \cdot 2 = 148,71 \text{ (трлн руб.)}, \quad (4.2)$$

$$\bar{y}_{2027} = 127,81 + 10,45 \cdot 3 = 159,16 \text{ (трлн руб.)}. \quad (4.3)$$

Таблица 5
Table 5

Расчетная таблица для определения прогнозных значений методом среднего абсолютного прироста вкладов в иностранной валюте, трлн руб. [Банк России, 2025]

Calculation table for determining forecast values using the method of average absolute growth of foreign currency deposits, trillion rubles [Bank of Russia, 2025]

Год	Вклады юр. и физ. лиц в иностранной валюте, трлн руб. y_{t_2}	Δ_t	$y\bar{\Delta}$	$(y_t - y\bar{\Delta})^2$	Δ_t^2
1	2	3	4	5	6
2016	17,17	–	17,17	0	–
2017	14,95	-2,22	16,89	3,78	4,94
2018	15,37	0,42	16,61	1,55	0,18
2019	15,32	-0,06	16,34	1,04	0,00
2020	18,61	3,30	16,06	6,55	10,89
2021	20,45	1,84	15,78	21,87	3,38

Окончание табл. 5
End of Table 5

1	2	3	4	5	6
2022	12,06	-8,40	15,50	11,83	70,48
2023	15,86	3,80	15,22	0,41	14,42
2024	16,87	1,01	14,94	3,73	1,03
2025 (9 мес.)	14,66	-2,21	14,66	0,00	4,88
Итого	161,32	-2,51	–	50,75	110,21

Рассчитаем среднеквадратическую ошибку из данных, представленных в табл. 5:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \bar{y}_t)^2}{n-2}}, \quad (6)$$

$$s = \sqrt{\frac{50,75}{8}} = \sqrt{6,34} = 2,52 \text{ (трлн руб.)}. \quad (6.1)$$

Используя данные из табл. 3, рассчитаем средний абсолютный прирост по формуле (5), где $\bar{\Delta} = \frac{14,66 - 17,17}{10-1} = \frac{-2,51}{9} = -0,3$ (трлн руб.), и проверим неравенство (1) $\delta_{\text{ост}}^2 = \frac{50,75}{10} = 5,1$ (трлн руб.), $p^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{127,51}{10} = 5,4$ (трлн руб.).

Неравенство выполняется, так как остаточная дисперсия меньше p^2 , следовательно, данный метод применим в прогнозировании численности вкладов в иностранной валюте Российской Федерации. Спрогнозируем, используя модель (4):

$$\bar{y}_{2025} = 14,66 - 0,3 \cdot 1 = 14,36 \text{ (трлн руб.)}, \quad (4.1)$$

$$\bar{y}_{2026} = 14,66 - 0,3 \cdot 2 = 14,06 \text{ (трлн руб.)}, \quad (4.2)$$

$$\bar{y}_{2027} = 14,66 - 0,3 \cdot 3 = 13,76 \text{ (трлн руб.)}. \quad (4.3)$$

Обобщим результаты прогнозирования вкладов в национальной и иностранной валюте в табл. 6.

Таблица 6
Table 6

Прогноз вкладов в национальной и иностранной валютах в экономике
на ближайшие 3 года, трлн руб. (составлено авторами)
Forecast of deposits in national and foreign currencies in the economy
for the next three years, trillion rubles (compiled by the authors)

Год	Срок прогноза	Прогнозные значения вкладов в национальной валюте, трлн руб.	Прогнозные значения вкладов в иностранной валюте, трлн руб.
2025	1	138,26	14,36
2026	2	148,71	14,06
2027	3	159,16	13,76

Из табл. 6 можно сделать вывод о том, что объём вкладов в национальной валюте будет увеличиваться, а в иностранной валюте будет постепенно уменьшаться год за годом и через 3 года объём депозитов в Российской Федерации составит 159,16 трлн руб. в национальной валюте и 13,76 трлн в иностранной.

Увеличение вкладов в рублях свидетельствует об адаптации банков к экономическим условиям, что требует постоянного мониторинга и анализа. Проведенное исследование

свидетельствует о том, что депозитные продукты остаются основополагающим элементом финансовой системы на современном этапе развития экономики, отражая не только инвестиционные предпочтения граждан, но и состояние экономики в целом. Стремительный рост объёма депозитов позволяет кредитным учреждениям оставаться финансово устойчивыми и конкурентоспособными в сложных экономических ситуациях, о чем свидетельствует связь между ключевой процентной ставкой и рыночными ставками по депозитам, отражая устойчивость денежно-кредитной политики ЦБ РФ. Следовательно, концентрация внимания коммерческими банками на надежности и качестве обслуживания может способствовать не только привлечению большего числа вкладчиков, но и стабильности финансовой системы, что будет залогом долгосрочного экономического роста.

Список источников

- Банк России // Ключевая ставка Банка России и инфляция (в целом по Российской Федерации) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cbr.ru/hd_base/inf/?UniDbQuery.Posted=True&UniDbQuery.From=01.01.2014&UniDbQuery.To=25.09.2024 (дата обращения: 01.11.2025).
- Банковский сектор. Банк России // Средневзвешенные процентные ставки по привлеченным кредитными организациями вкладам (депозитам) в рублях (в целом по Российской Федерации) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cbr.ru/statistics/bank_sector/sors/ (дата обращения: 10.10.2025).
- Бробанк // Крупнейшие банки по сумме вкладов физлиц в 2025 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brobank.ru/krupnejshie-banki-po-summe-vkladov-fizlic-2024/> (дата обращения: 01.11.2025).
- Бробанк // Основные виды депозитных продуктов для клиентов физических лиц в 2025 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brobank.ru/krupnejshie-banki-po-summe-vkladov-fizlic-2024/> (дата обращения: 01.11.2025).
- ВТБ // Вклады в банке ВТБ для физических лиц в 2025 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vtb.ru/personal/vklady-i-scheta/> (дата обращения: 10.11.2025).
- ЕМИСС. Государственная статистика // Средства организаций, банковские депозиты (вклады) и другие привлеченные средства юридических и физических лиц (в целом по Российской Федерации) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/51505> (дата обращения: 10.10.2025).
- Положение ЦБ РФ № 54-П «О порядке предоставления (размещения) кредитными организациями денежных средств и их возврата (погашения)» от 31.08.98 (в ред. утв. ЦБ РФ 27.07.2001 N 144-П) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 22.10.2025).
- Сбербанк // Вклады для физических лиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sberbank.ru/ru/person/contributions/deposits> (дата обращения: 10.11.2025).
- Т-Банк // Вклады и накопительные счета для физических лиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tbank.ru/savings/deposit/> (дата обращения: 10.11.2025).
- Федеральный закон от 23 декабря 2003 года № 177-ФЗ «О страховании вкладов физических лиц в банках Российской Федерации» (ред. от 13.07.2015 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 22.10.2025).

Список литературы

- Багратуни К.Ю., Ермилов В.Г. 2025. Финансовый уполномоченный: управление осознанным предоставлением и потреблением финансовых услуг. *Банковское дело*, 2: 48–59.
- Боровкова В.А. 2025. Банки и банковское дело; под ред. В.А. Боровковой. 7-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 606 с.
- Еремина О.И. 2022. Тенденции развития банковского сектора региона в современных условиях. *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*, 8-1 (20): 148–152.
- Карловская Е.А., Ваганова О.В., Мельникова Н.С., Быканова Н.И. 2024. Прогнозирование и моделирование развития рынка кредитования и краудфандинга в условиях увеличения ключевой ставки банка России. *Экономика. Информатика*, 51(2): 379–392.

- Королёв О.Г. 2024. Аналитическое обоснование развития дифференцированного подхода к оценке банковской деятельности: монография. Москва: КУРС, 128 с.
- Лебедева И.М., Федорова А.Ю. 2021. Макроэкономическое планирование и прогнозирование; под ред. А.Ю. Федоровой. СПб: Университет ИТМО, 54 с.
- Лисицкий А.Н., Мельникова Н.С. 2024. Ключевая ставка и ее роль в денежно-кредитном регулировании. *Тенденции развития науки и образования*, 105-4: 141–144.
- Knezevic S., Živković A., Milojević S. 2021. The role and importance of internal control and internal audit in the prevention and identification of fraudulent actions in banks. *Bankarstvo*, 50 (1): 66–89. DOI: 10.5937/bankarstvo2101066K.

References

- Bagratuni K.Yu., Ermilov V.G. 2025. Financial Ombudsman: Managing the Conscious Provision and Consumption of Financial Services. *Banking*, 2: 48–59.
- Borovkova V.A. 2025. Banks and Banking; edited by V.A. Borovkova. 7th ed., revised and enlarged. Moscow: Yurait Publishing House, 606 p.
- Eremina O. I. 2022. Trends in the Development of the Regional Banking Sector in Modern Conditions. *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*, 8-1 (20): 148–152.
- Karlovskaya E.A., Vaganova O.V., Melnikova N.S., Bykanova N.I. 2024. Forecast Modeling of the Development of the Credit and Croudfunding Market in the Conditions of Increasing the Key Rate of the Bank of Russia. *Economics. Information technologies*, 51(2): 379–392. DOI: 10.52575/2687-0932-2024-51-2-379-392.
- Korolev O.G. 2024. Analytical Justification for the Development of a Differentiated Approach to Assessing Banking Activities: Monograph. Moscow: KURS, 128 p.
- Lebedeva, I.M., Fedorova, A.Yu. 2021. Macroeconomic Planning and Forecasting; edited by A.Yu. Fedorova. St. Petersburg: ITMO University, 54 p.
- Lisitsky A.N., Melnikova N.S. 2024. The key interest rate and its role in monetary regulation. *Trends in the Development of Science and Education*, 105-4: 141–144.
- Knezevic, S., Živković, A., Milojević, S. 2021. The Role and Importance of Internal Control and Internal Audit in the Prevention and Identification of Fraudulent Actions in Banks. *Bankarstvo*, 50 (1): 66–89. DOI: 10.5937/bankarstvo2101066K.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 13.11.2025

Поступила после рецензирования 28.11.2025

Принята к публикации 05.12.2025

Received November 13, 2025

Revised November 28, 2025

Accepted December 05, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Карловская Евгения Анатольевна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Мельникова Наталия Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgenia A. Karlovskaya, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Natalia S. Melnikova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



Быканова Наталья Игоревна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Natalya I. Bykanova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Суворова Эльвира Александровна, студент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Elvira A. Suvorova, Student, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 65.011.56
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-851-860
EDN LJSOLI

Прогнозирование вероятности банкротства организаций с применением no-code/low-code платформы для автоматизации ETL-процессов

Санникова И.Н., Краюшкин М.Г.

Алтайский государственный университет
Россия, 656049, Барнаул, пр-т Ленина, 61
sannikova00@mail.ru, kramaks-97@mail.ru

Аннотация. В статье представлен вариант оценки вероятности банкротства организаций с использованием разработанной авторами нейросетевой модели, учитывающей финансовые и нефинансовые факторы банкротства, построенной с применением no-code/low-code платформы для автоматизации ETL-процессов. Результатом исследования является методический подход и инструментарий прогнозирования вероятности банкротства, применимый для оценки надежности обществ с ограниченной ответственностью. Предложенный подход и инструментарий характеризуются потенциальной универсальностью в области прогнозирования экономических показателей. Описанные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях в области прогнозирования и планирования, а также для оценки эффективности управленческих решений.

Ключевые слова: банкротство, вероятность, технологии искусственного интеллекта, искусственные нейронные сети, модель, no-code/low-code платформы

Для цитирования: Санникова И.Н., Краюшкин М.Г. 2025. Прогнозирование вероятности банкротства организаций с применением no-code/low-code платформы для автоматизации ETL-процессов. *Экономика. Информатика*, 52(4): 851–860. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-851-860; EDN LJSOLI

Forecasting the Probability of Bankruptcy of Organizations Using the No-Code/Low-Code Platform for ETL Process Automation

Inna N. Sannikova, Maxim G. Krayushkin

Altai State University
61 Lenin Ave., Barnaul 656049, Russia
sannikova00@mail.ru, kramaks-97@mail.ru

Abstract. An analytical review of existing research in the field of bankruptcy probability forecasting has revealed the lack of representation of artificial intelligence models, in particular adaptive neural networks, in this area. The aim of the study is to present a variant of assessing the probability of bankruptcy applying a neural network model developed by the authors. The model takes into account financial and non-financial factors of bankruptcy and is based on a no-code/low-code platform for automating ETL processes. The key idea of the study is that there is no need to create complex systems for an effective (accurate and fast) assessment of the probability of bankruptcy: suffice it to use the free Russian no-code/low-code platform for automating ETL processes and have data on financial and non-financial bankruptcy factors. As a result of the research, the authors have developed a methodological approach and tools for predicting the probability of bankruptcy, which may be utilized for assessing the reliability of limited liability companies. The proposed approach and tools are characterized by their potential versatility in the field of forecasting economic indicators. The described results may be used in further research into forecasting and planning, as well as for evaluating the effectiveness of management decisions.

© Санникова И.Н., Краюшкин М.Г., 2025

Keywords: bankruptcy, probability, artificial intelligence technologies, artificial neural networks, model, no-code/low-code platforms

For citation: Sannikova I.N., Krayushkin M.G. 2025. Forecasting the Probability of Bankruptcy of Organizations Using the No-Code/Low-Code Platform for ETL Process Automation. *Economics. Information technologies*, 52(4): 851–860 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-851-860; EDN LJSOLI

Введение

Значимость прогнозирования банкротства остается одним из тех вопросов, которые будут актуальными при функционировании любой экономической модели того или иного технологического уклада в условиях конкурентной среды. Очевидным является вопрос значимости прогнозирования банкротства на уровне взаимодействия отдельных экономических субъектов, партнерских взаимоотношений; вовлечения бизнеса в выполнение государственных контрактов; кредитных и инвестиционных процессов. Значимость прогнозирования банкротств на макроэкономическом уровне зависит от степени и возможностей государственного регулирования макроэкономических параметров экономики. Достаточно точное прогнозирование банкротства позволяет принимать превентивные меры для снижения риска нарушения стабильности финансовой системы; снижения недобросовестных практик преднамеренного или фиктивного банкротства; снижения нагрузки на бюджет; осуществлять поддержку бизнес-среды, регулируя рынки труда, эффективно распределяя ограниченные ресурсы. Для российской экономики на все эти понятные и очевидные факторы значимости прогнозирования банкротства накладываются специфические черты, основными из которых являются:

- высокая волатильность макроэкономических параметров, увеличивающая уязвимость экономических субъектов;
- ограниченность емкости внутренних и внешних рынков в сложных геополитических условиях;
- правовая специфика банкротства, которую можно считать сложной и многоэтапной.

Требование Банка России к стресс-тестированию в целом соответствует современным западным трендам и стандартам, но имеет специфику в силу рассматриваемых сценариев, присущих исключительно российской экономике.

С учетом современного состояния и специфических особенностей российской экономики можно абсолютно справедливо отметить, что точность прогнозирования банкротства – это вопрос национальной экономической безопасности.

Цель исследования – представление варианта оценки вероятности банкротства с использованием разработанной авторами нейросетевой модели, учитывающей финансовые и нефинансовые факторы банкротства, построенной с применением no-code/low-code платформы для автоматизации ETL-процессов.

Методы исследования

Распространенные методы прогнозирования вероятности банкротства организации основываются на моделях западных классиков: Э. Альтмана [Altman, 1968], Р. Таффлера [Taffler, 1983], В. Бивера [Beaver, 1966], Г. Спрингейта [Gordon, 1978], Дж. Фулмера [Fulmer, 1984] и др. Актуальные модели российских и белорусских авторов (Г. Савицкой [Савицкая, 2025], В. Когденко [Когденко, 2025], Е. Петровой [Петрова, 2023], Е. Афанасьевой [Афанасьева, 2023], и др.) в той или иной степени адаптированы к современным условиям. Достоинства и недостатки этих моделей, ограничения в применении, в том числе и в условиях российской экономики, достаточно подробно описаны в научной и учебной литературе. Отметим лишь общую проблему применения данных моделей – все они основаны исключительно на комбинации финансовых коэффициентов, рассчитанных на основе бухгалтерской (финансовой) отчетности организации, достоверность которой подтверждается аудитором или не

подтверждается никем, если организация не является общественно значимой и не должна в обязательном порядке аудировать свою отчетность. Официальная методика проведения арбитражным управляющим финансового анализа, утвержденная еще в 2003 году [Постановление Правительства РФ...2003], и методика установления возникновения признаков несостоятельности (банкротства) организации – «Методика проведения анализа финансового состояния заинтересованного лица в целях установления угрозы возникновения признаков его несостоятельности (банкротства) в случае единовременной уплаты этим лицом налога, сбора, страхового взноса, пеней, штрафов, процентов» основаны не только на бухгалтерской (финансовой) отчетности, но и на документах налогового учета и деклараций [Приказ Минэкономразвития России...2023]. Более продвинутые методы прогнозирования угроз несостоятельности (банкротства) используются для разработки алгоритмов кредитного скоринга банками. При этом применяются традиционные методы финансового анализа, методы статистического анализа, дискриминантного анализа и методы, основанные на технологиях искусственного интеллекта [Кочеткова, 2017].

Передовые разработки по прогнозированию вероятности банкротства в основном связаны с использованием технологий искусственного интеллекта, «...исследования опираются на достижения в области статистики и компьютерных технологий, что позволяет формулировать модели с большой предсказательной силой, а применение методов искусственного интеллекта и, в частности, нейронных сетей позволяет строить более точные прогностические модели банкротства» [Апатова, 2020]. Современные средства позволяют интегрировать финансовые показатели и альтернативные источники данных, значительно повышая точность и глубину анализа вероятности несостоятельности (банкротства) организации (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Ключевые направления прогнозирования несостоятельности (банкротства)
Key areas of bankruptcy forecasting

Направление	Инструменты и методы	Применение
1	2	3
Машинное обучение	Ансамбли моделей XGBoost, LightGBM, CatBoost	Классификация финансового состояния
	Нейронные сети и глубокое обучение: сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, графовые нейронные сети	Анализ структурированных финансовых показателей; анализ временных рядов показателей с целью выявления долгосрочных трендов; анализ связей между экономическими субъектами, стейкхолдерами, собственниками, бенефициарами и т. д.
	Методы, повышающие интерпретируемость	Объяснения предсказаний «черных» ящиков, особенно актуально при принятии инвестиционных решений
Использование альтернативных (нефинансовых) показателей	Текстовый анализ	Анализ новостей, пресс-релизов, упоминание негативной и позитивной информации экономического субъекта, использование негативной лексики, уклончивых ответов руководства
	Использование данных: цепочки поставок, информация из соцсетей и отзывы; геолокация и трафик; данные сенсоров	Анализ делового окружения, деловой активности, репутационных рисков экономического субъекта

Окончание табл. 1
 End of Table 1

1	2	3
Интеграция временных рядов и динамических моделей	Survival Analysis/Модели выживания	Оценка вероятности банкротства, раннее предупреждение банкротства
Решение проблемы несбалансированности данных	Методы семплирования: SMOTE и его вариации; стоимостно-чувствительное обучение; ансамбли	Создание синтетических примеров банкротств

Примечание. Составлено авторами.

Технологии искусственного интеллекта позволяют значительно улучшить точность прогнозов, но при этом необходимо отметить, что методические проблемы прогнозирования приобретают иной характер по сравнению с традиционными моделями, среди которых:

- тестирование моделей на академических наборах данных, далеких от реальных данных компаний, отчетность которых составляется исходя из подходов к формированию учетной политики, основанной на разных стандартах (МСФО, РСБУ);
- отсутствие стандартизированных этапов обработки данных и валидации моделей;
- отсутствие стандартов по отбору альтернативных (нефинансовых) данных;
- отсутствие универсальных подходов к агрегации разрозненных источников;
- нет общепринятых подходов к метрикам данных;
- нет общепринятых подходов к выявлению дискриминации в моделях.

Настоящее исследование базируется на данных из системы «Контур.Фокус» [Контур. Фокус, 2025], на результатах контент-анализа работ исследователей, занимающихся прогнозированием вероятности банкротства организаций.

Авторский методический подход состоит из следующих этапов (рис. 1).

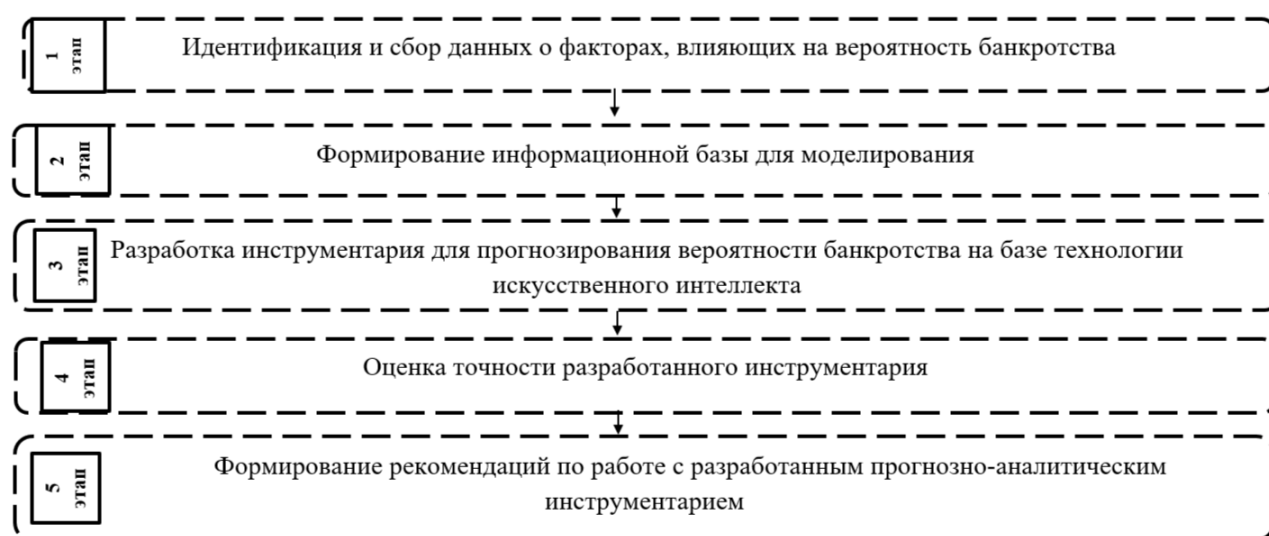


Рис. 1. Методический подход к прогнозированию вероятности банкротства
 Fig. 1. The methodological approach to predicting the probability of bankruptcy

На первом этапе (блок 1) определяются факторы, существенным образом влияющие на вероятность банкротства. При этом осуществляется качественный анализ внутренних и внешних факторов финансовых и нефинансовых индикаторов на основе экспертного знания.

Далее, с помощью статистического анализа выявляются самые значимые предикторы формирования информационной базы для построения модели.

На втором этапе (блок 2) осуществляется формирование информационной базы для последующего моделирования. Для полноценной реализации разработанного авторами исследования методического подхода целесообразно собрать данные по организациям соответствующей организационно-правовой формы, как по банкротам, так и по действующим организациям, где результативным признаком будет статус (банкрот или действующая организация). Это позволит повысить обоснованность и точность моделирования, исключить аномалии и «шумы», создать полноценный цифровой сервис для внедрения его в соответствующую аналитическую платформу (например, «Контур. Фокус»).

После сбора данных целесообразно провести кластерный анализ методами древовидной кластеризации и «k-средних». Кластерный анализ методом древовидной кластеризации необходим для определения оптимального количества качественных кластеров. По его результатам проводится кластеризация методом «k-средних».

Кластерный анализ необходим для разделения массива больших данных на схожие группы, что повысит точность моделирования.

На третьем этапе (блок 3) осуществляется создание комплекса нейросетевых моделей прогнозирования вероятности банкротства организаций соответствующей организационно-правовой формы.

При построении нейронных сетей в качестве парадигмы целесообразно использовать: обучение с учителем, правила обучения – коррекция ошибок, архитектуры – многослойная нейронная сеть, а в качестве алгоритма обучения (оптимизатора) – метод BFGS, который признан одним из наиболее эффективных методов численной оптимизации [Pattanayak, 2019; Bernard, 2019; Метод BFGS...2025].

Нейросетевые модели должны строиться для соответствующих кластеров.

На четвертом этапе (блок 4) проводится оценка точности разработанного инструментария. Для этих целей необходимо определить количество организаций, по которым модель дала некорректный результат (фактически организация является банкротом, но модель определила ее как действующую или наоборот). Затем этот результат поделить на общее количество наблюдений и умножить на 100 %. Оценку точности целесообразно проводить как в общем по всем наблюдениям, так и по обучающей, тестовой выборке и ретропрогнозу. Максимальное значение ошибки задается лицом, принимающим решение, и для решения соответствующих задач может быть разным. Например, если модель строится с целью проведения внутреннего мониторинга финансовых рисков, то точность модели может быть немного ниже, чем если модель необходима для оценки надежности организаций для предоставления им бюджетных средств в рамках реализации государственных и муниципальных программ.

На пятом этапе (блок 5) происходит использование результатов моделирования для решения соответствующих экономических задач.

Ключевыми рекомендациями по работе со сформированным прогнозно-аналитическим инструментарием могут быть:

- для органов государственной и муниципальной власти при осуществлении государственных и муниципальных закупок необходимо выбирать ту организацию, у которой вероятность банкротства минимальная среди остальных;
- для банков максимальный процент вероятности банкротства зависит от размера предоставляемого кредита, чем он выше, тем ниже должна быть вероятность банкротства;
- аналогично, как и для банков, должна производиться оценка организаций для инвесторов и поставщиков (чем больше сумма заключаемого контракта, тем меньше вероятность банкротства).

Однако в целом целесообразно, чтобы по результатам моделирования вероятность банкротства составляла оценочно менее 5 процентов.

Результаты

Рассмотрим результаты апробации авторского методического подхода к прогнозированию вероятности банкротства.

На первом этапе были собраны данные по 370 организациям (в основном обществам с ограниченной ответственностью как действующим, так и банкротам) по факторам:

- отработанное время с момента регистрации, дней;
- количество сотрудников, чел.;
- выручка, тыс. руб.;
- чистая прибыль/убыток, тыс. руб.;
- валюта баланса, тыс. руб.;
- арбитраж (ответчик), тыс. руб. (сумма проигранных исков) (данные за последний доступный год);
- общая сумма проигранных арбитражных дел, тыс. руб.;
- исполнительное производство (задолженность), тыс. руб.;
- суды общей юрисдикции, ед.;
- нарушения по госзакупкам (1 – есть, 0 – нет);
- общая сумма нарушений по госзакупкам, тыс. руб.;
- СМИ о компании, количество негативных упоминаний, ед.

При построении нейронных сетей было выбрано 20 нейронов в 2 скрытых слоях, поскольку количество нейронов должно быть примерно на порядок меньше количества наблюдений, чтобы нейросеть не была переобученной [Pattanayak, 2019; Bernard, 2019]. Необходимо указать, что нейросети, построенные подобным образом, уже показали свою эффективность, в частности, в исследовании, посвященном повышению эффективности прогнозирования индекса потребительских цен [Mezhov, 2022].

Инструментарий разработан на российской аналитической платформе Loginom – это мощная no-code/low-code платформа для автоматизации ETL-процессов, которая позволяет значительно сократить время реализации задач по обработке данных.

Платформа «Loginom» активно применяется для решения разнообразных экономических задач благодаря своим мощным возможностям ETL (извлечение, преобразование, загрузка), визуального программирования, статистического анализа, машинного обучения и прогнозирования [Официальный сайт Loginom...2025].

Ключевые преимущества Loginom в решении экономических задач [Официальный сайт Loginom...2025]:

- 1) работа с разнородными источниками: легкая интеграция с базами данных, файлами (например, Excel, CSV), веб-сервисами, корпоративными системами (в частности, 1C, SAP);
- 2) мощные инструменты анализа: широкий набор статистических методов, алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для прогнозирования экономических показателей;
- 3) масштабируемость: платформа позволяет быстро обрабатывать большие массивы данных;
- 4) интерактивная визуализация: удобные инструменты для исследования данных и представления результатов;
- 5) снижение зависимости от программирования: рядовые аналитики могут сами в автоматическом режиме строить модели машинного обучения и узкоспециализированного искусственного интеллекта, в том числе нейросетевые без специальных знаний в области нейросимуляции и программирования.

Loginom внедрен в крупных банках, страховых компаниях, федеральных ритейл-сетях, промышленных холдингах, телеком-операторах, логистических компаниях и государственных структурах (включая ФНС, Росстат, госкорпорации). Основные цели внедрения охватывают критически важные для бизнеса и госуправления направления: прогнозирование, управление рисками, оптимизацию процессов, борьбу с мошенничеством, финансовый анализ и автоматизацию отчетности. В частности, «Loginom» внедрен в торгово-

производственный холдинг «Русклимат», сети отелей «Арбат отель менеджмент», упоминался как часть аналитического инструментария в некоторых региональных управлениях ФНС для задач анализа данных, выявления рисков и построения отчетности, используется для обработки и анализа больших массивов статистических данных в Росстате. Компания-разработчик «Loginom» участвует в проектах по созданию и развитию государственных цифровых платформ (например, в рамках различных «цифровых» инициатив регионов или федеральных проектов), что говорит о доверии на высоком уровне [Продукт: Loginom Аналитическая платформа...2025].

При наличии необходимых данных на создание одной нейросети на платформе «Loginom» уходит в среднем не более 10 минут. Достаточно лишь загрузить в систему необходимые данные, настроить экспертную логику, и платформа сама построит наиболее точную нейросеть из возможных.

Граф построенной нейронной сети для прогнозирования вероятности банкротства организаций представлен на рисунке (рис. 2).

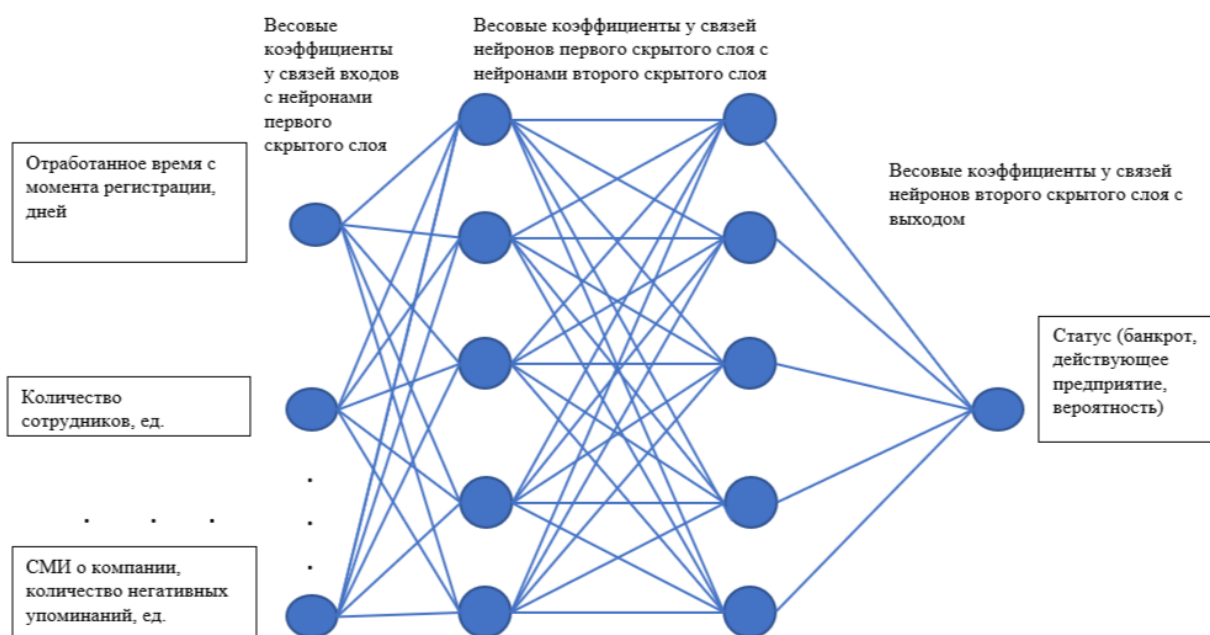


Рис. 2. Граф нейронной сети
Fig. 2. Neural network graph

Обобщенный анализ показал, что прогнозы, полученные с использованием нейросетевых моделей, характеризуются высокой точностью, что подтверждает обоснованность применения предложенного инструментария (рис. 3).

Нейросеть (классификация) • Быстрый просмотр			
Выход нейросети		Сводка	
№	Имя	Метка	Значение
1	12 TotalSamples	Всего примеров	370
2	12 TotalSelectedSamples	Всего отобранных примеров	370
3	12 TrainSamples	Примеров в обучающем множестве	259
4	9.0 TrainRMSError	Среднеквадратическая ошибка на обучающем множестве	0,08
5	9.0 TrainClsErrorPercentage	Процент ошибок классификации на обучающем множестве	0,77
6	9.0 TrainAvgCE	Средняя перекрестная энтропия на обучающем множестве	0,03
7	12 TestSamples	Примеров в тестовом множестве	111
8	9.0 TestRMSError	Среднеквадратическая ошибка на тестовом множестве	0,14
9	9.0 TestClsErrorPercentage	Процент ошибок классификации на тестовом множестве	1,80

Рис. 3. Информация об ошибке модели
Fig. 3. Model error information

Необходимо отметить, что модель дала некорректный результат всего в 4 случаях из 370, что подтверждает ее высокую точность и целесообразность использования.

Оценить вероятность того, что организация – потенциальный банкрот, можно посредством анализа апостериорной вероятности (рис. 4).

#	ab	Статус Прогноз	Апостериорная вероятность
1	Банкрот		0,6545572408

Рис. 4. Пример вывода результатов моделирования

Fig. 4. Example of simulation results output

Заключение

Результаты исследования убедительно свидетельствуют о том, что разработанный инструментарий на базе российской аналитической платформы Loginom может успешно применяться при осуществлении заявочного, поведенческого, коллекторского скоринга, антифрод-скоринга и расширенного скоринга для различных целей.

В значительной степени точность прогнозирования зависит от методик отбора факторов для моделирования, поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на решение проблем идентификации факторов, влияющих на вероятность банкротства. Если по внутренним факторам в случае достоверной информации финансовой отчетности с опорой на устоявшиеся модели финансового анализа есть понимание, то с внешними факторами – макроэкономическими и состоянием конкретного вида деятельности (отрасли) определенности нет. Дальнейшие исследования внешних факторов должны будут базироваться на стыке макро- и микроэкономики, учитывая, прежде всего, такие аспекты, как: уровень диверсификации деятельности организации (проблемы отнесения к тому или иному виду деятельности); импортозависимость и географию импортозависимости; социально-экономическое положение региона присутствия организации и т. п. С 1 января 2026 г. определенная практика моделирования несостоятельности с учетом внешних факторов будет накапливаться Федеральной налоговой службой [ФНС России...2025; Новая методика оценки бизнеса...2025]. При этом нужно понимать, что налоговая и финансовая (бухгалтерская) отчетность различаются; методически допустимые, но нестандартные настройки учетной политики могут показать неадекватную оценку финансовой устойчивости организации, а неадекватная оценка в целом может еще больше усугубить финансовое состояние организации, так как повлечет отказ контрагентов от сотрудничества. В будущем анализ результатов выписок в виде оценок о соответствии или несоответствии сведений бухгалтерской, налоговой отчетности и других данных, имеющихся у налогового органа, критериям, установленным методиками ФНС России, будет способствовать дальнейшим исследованиям применения технологий искусственного интеллекта при прогнозировании вероятности банкротства организации.

Список источников

- «Контур Фокус». Детальная проверка контрагентов // СКБ Контур. – URL: <https://kontur.ru/lp/focus> (дата обращения: 04.07.2025).
- Метод BFGS или один из самых эффективных методов оптимизации // Habr. – URL: <https://habr.com/ru/post/333356/> (дата обращения: 04.07.2025).
- Официальный сайт Loginom // Loginom. – URL: <https://loginom.ru/> (дата обращения: 21.08.2025).
- Продукт: Loginom Аналитическая платформа // Tadviser. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Loginom_Аналитическая_платформа?erid=LjN8KUa33 (дата обращения: 21.08.2025).

- ФНС России вводит официальную оценку бизнеса с 2026 года: официальное сообщение // Федеральная налоговая служба. – URL: https://www.nalog.gov.ru/rn46/news/activities_fts/16530839/ (дата обращения: 31.08.2025).
- Новая методика оценки бизнеса: как ФНС будет проверять юрлиц и ИП с 2026 года // ИнфоСтарт. – URL: https://infostart.ru/journal/news/uchet-nalogi-pravo/novaya-metodika-otsenki-biznesa-kak-fns-budet-proveryat-yurlits-i-ip-s-2026-goda_2455036/ (дата обращения: 31.08.2025).
- Постановление Правительства РФ от 25.06.2003 № 367 «Об утверждении Правил проведения арбитражным управляющим финансового анализа» // КонсультантПлюс. — URL: https://www.consultant.ru/-document/cons_doc_LAW_42901/ (дата обращения: 11.07.2025).
- Приказ Минэкономразвития России от 14.03.2023 № 169 «Об утверждении Методики проведения анализа финансового состояния заинтересованного лица в целях установления угрозы возникновения признаков его несостоятельности (банкротства) в случае одновременной уплаты этим лицом налога, сбора, страхового взноса, пеней, штрафов, процентов» // КонсультантПлюс. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=443624> (дата обращения: 11.07.2025).
- Савицкая Г.В. Анализ финансово-хозяйственной деятельности: учебник. 7-е изд., перераб. и доп. Москва: Инфра-М, 2025, 286 с.
- Bernard M. Artificial Intelligence in Practice: textbook. – Wiley, 2019. – 605 p.
- Gordon L.V. Springate Predicting the Possibility of Failure in a Canadian Firm: A Discriminant Analysis. – Burnaby: Simon Fraser University, 1978. – 164 p.
- Pattanayak S. Pro Deep Learning with TensorFlow: A Mathematical Approach to Advanced Artificial Intelligence in Python: textbook. – Apress, 2019. – 480 p.

Список литературы

- Апатова Н.В., Попов В.Б. 2020. Прогнозирование банкротства предприятий с использованием искусственного интеллекта. *Научный вестник: Финансы, банки, инвестиции*, 2: 113–120.
- Афанасьева Е.Ю., Примакова М.В., Сагдиллаева З.А. 2023. Прогнозирование вероятности банкротства в контексте антикризисного управления организациями. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки*, 3: 6–13. DOI: 10.52928/2070-1632-2023-65-3-6-13.
- Когденко В.Г. 2025. Развитие экономического анализа: прогностическая аналитика, ESG-аналитика, анализ трансформационных процессов на мезо- и микроуровнях. *Учет. Анализ. Аудит*, 12(2): 14–28. DOI: 10.26794/2408-9303-2025-12-2-14-28.
- Кочеткова В.В., Ефремова К.Д. 2017. Обзор методов кредитного скоринга. *Juvenis scientia*, 6: 22–25.
- Петрова Е.В., Наговицына В.П. 2023. Диагностика вероятности банкротства: зарубежные и отечественные модели прогнозирования. *Вектор экономики*, 12(90). DOI: 10.51691/2500-3666_2023_12_3.
- Altman E.I. 1968. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*, 23(4): 589–609. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1968.tb00843.x.
- Beaver W.H. 1966. Financial Ratios as Predictors of Failure. *Journal of Accounting Research*, 4: 71–111. DOI: 10.2307/2490171.
- Fulmer J.G., Moon J.E., Gavin T.A., Erwin M.J. 1984. A bankruptcy classification model for small firms. *Journal of Commercial Bank Lending*, 66(11): 25–37.
- Mezhov S., Krayushkin M. 2022. Comparative Analysis of Methods of Forecasting the Consumer Price Index for Food Products (on the Example of the Altai Territory). *Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT*, 10(1): 119–124.
- Taffler R.J. 1983. The Assessment of Company Solvency and Performance Using a Statistical Model. *Accounting and Business Research*, 13(52): 295–308. DOI: 10.1080/00014788.1983.9729767.

References

- Apatova N.V., Popov V.B. 2020. Predicting bankruptcy of enterprises using artificial intelligence. *Scientific Bulletin: Finance, Banks, Investments*, 2: 113-120.
- Afanasyeva E.Yu., Primakova M.V., Sagdillayeva Z.A. 2023. Forecasting the probability of bankruptcy in the context of crisis management of organizations. *Bulletin of the Polotsk State University. Series D. Economic and Legal Sciences*, 3: 6-13. DOI:10.52928/2070-1632-2023-65-3-6-13.

- Kogdenko V.G. 2025. Development of economic analysis: predictive analytics, ESG analytics, analysis of transformation processes at the meso- and micro-levels. *Accounting. Analysis. Audit*, 12(2):14–28. DOI: 10.26794/2408-9303-2025-12-2-14-28.
- Kochetkova V.V., Efremova K.D. 2017. An overview of credit scoring methods. *Juvenis scientia*, 6: 22–25.
- Petrova E.V., Nagovitsyna V.P. 2023. Diagnosis of bankruptcy probability: foreign and domestic forecasting models. *Vector of Economics*, 12(90). DOI: 10.51691/2500-3666_2023_12_3.
- Altman E.I. 1968. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*, 23(4): 589–609. DOI: 10.1111/j.1540-6261. 1968.tb00843. x.
- Beaver W.H. 1966. Financial Ratios as Predictors of Failure. *Journal of Accounting Research*, 4: 71–111. DOI: 10.2307/2490171.
- Fulmer J.G., Moon J.E., Gavin T.A., Erwin M.J. 1984. A bankruptcy classification model for small firms. *Journal of Commercial Bank Lending*, 66(11): 25–37.
- Mezhov S., Krayushkin M. 2022. Comparative Analysis of Methods of Forecasting the Consumer Price Index for Food Products (on the Example of the Altai Territory). Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT, 10(1): 119–124.
- Taffler R.J. 1983. The Assessment of Company Solvency and Performance Using a Statistical Model. *Accounting and Business Research*, 13(52): 295–308. DOI: 10.1080/00014788.1983.9729767.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 03.09.2025

Поступила после рецензирования 02.10.2025

Принята к публикации 24.11.2025

Received September 03, 2025

Revised October 02, 2025

Accepted November 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Санникова Инна Николаевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической безопасности, учета, анализа и аудита, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

Краюшкин Максим Геннадьевич, кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры экономической безопасности, учета, анализа и аудита, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Inna N. Sannikova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economic Security, Accounting, Analysis and Audit, Altai State University, Barnaul, Russia

Maxim G. Krayushkin, Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer of the Department of Economic Security, Accounting, Analysis and Audit, Altai State University, Barnaul, Russia

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION

УДК 519.7

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-861-872

EDN LYOQKV

Методы глубокого обучения в задаче обнаружения рака молочной железы

Балабанова Т.Н., Дементьева Е.И., Лозовая С.Ю.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

sozonova@bsuedu.ru, 1862515@bsuedu.ru, lozovaya@bsuedu.ru

Аннотация. В настоящее время методы и алгоритмы глубокого обучения начинают активно использоваться в медицинской сфере. Одной из задач, в которых нейронные сети добиваются хороших результатов, является диагностика. В данной работе рассмотрены современные исследования в области распознавания рака молочной железы по изображениям ультразвукового исследования, как наиболее распространенного благодаря своей неинвазивности. Анализ включает работы за последние пять лет в данной области. Также в работе представлены соображения авторов по разработке нового алгоритма глубокого обучения для распознавания рака молочной железы по изображениям ультразвукового исследования, основанного на использовании парных функций потерь при построении сети.

Ключевые слова: нейронные сети, ультразвуковое исследование, эластография, парные функции потерь, машинное обучение

Для цитирования: Балабанова Т.Н., Дементьева Е.И., Лозовая С.Ю. 2025. Методы глубокого обучения в задаче обнаружения рака молочной железы. *Экономика. Информатика*, 52(4): 861–872. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-861-872; EDN LYOQKV

Deep Learning Methods in the Problem of Breast Cancer Detection

Tatiana N. Balabanova, Elena I. Dementyeva, Svetlana Yu. Lozovaya

Belgorod State National Research University

85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

sozonova@bsuedu.ru, 1862515@bsuedu.ru, lozovaya@bsuedu.ru

Abstract. Deep learning methods and algorithms are currently being actively used in the medical field. One of the tasks in which neural networks achieve good results is diagnostics. The use of systems incorporating deep learning algorithms for diagnostic studies is particularly beneficial in situations where there is a shortage of medical personnel, particularly highly qualified specialists. This article examines current research in the field of breast cancer recognition from ultrasound images, the most common method due to its non-invasive nature. The analysis includes studies from the past five years in this field. The paper also presents the authors' considerations for developing a new deep learning algorithm for breast cancer recognition from ultrasound images, based on the use of a pair of loss functions in network construction. Advances in ultrasound technology have made it possible to obtain higher-quality and more informative images, improving the accuracy of malignant tumor diagnosis using deep learning techniques.

Keywords: neural networks, ultrasound, elastography, pairwise loss functions, machine learning

For citation: Balabanova T.N., Dementyeva E.I., Lozovaya S.Yu. 2025. Deep Learning Methods in the Problem of Breast Cancer Detection. *Economics. Information technologies*, 52(4): 861–872 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-861-872; EDN LYOQKV

Введение

Ультразвуковая визуализация – важнейшая технология медицинской визуализации, которая по сравнению с компьютерной томографией и рентгеном обеспечивает портативность, простоту и отсутствие ионизирующего излучения, что делает ее идеальной для применения в условиях ограниченных ресурсов.

Медицинская визуализация основана на различных физических явлениях для визуализации тканей человеческого тела, как внутренних, так и внешних, с помощью неинвазивных или инвазивных методов [Song et al., 2024]. Ключевые методы, такие как компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), рентгеновская радиография, ультразвук и цифровая патология, генерируют важные данные здравоохранения, составляющие около 90 % медицинской информации. Следовательно, медицинская визуализация играет жизненно важную роль в клинической оценке и медицинских вмешательствах [Liu et al., 2023; Zhang et al., 2025].

Методы визуализации, используемые при опухолях молочной железы

Для диагностики опухолей молочной железы используются различные методы визуализации, основными из которых являются маммография и ультразвук. Эти методы визуализации обычно применяются для скрининга, а если обнаруживается опухоль, то для оценки поражения обычно проводят более тщательное ультразвуковое исследование и/или магнитно-резонансную томографию (МРТ).

Ультразвуковое исследование используется на различных этапах контроля онкологических образований молочной железы, включая [Afrin et al., 2023; Chan et al., 2020]:

- скрининг в ситуации, когда ткани молочной железы являются плотными;
- диагностику и прогнозирование во время химиотерапии благодаря своим неинвазивным характеристикам, отсутствию ионизирующего излучения, портативности, способности проводить диагностику в режиме реального времени;
- проведение направленной биопсии.

В табл. 1 представлены различные методы визуализации, которые используются в процессе диагностики и лечения опухолей молочной железы, включая их метрики, оценивающие диагностическую точность:

- чувствительность (SEN) – доля истинно положительных результатов среди всех действительно больных людей;
- специфичность (SPE) – доля истинно отрицательных результатов среди всех действительно здоровых людей.

Также в табл. 1 представлены преимущества и недостатки различных методов визуализации.

Технология ультразвука, которая постоянно совершенствуется, включает в себя различные методы, такие как [Afrin et al., 2023]:

- **УЗИ с цветовым доплеровским картированием (ЦДК)** – технология, которая позволяет получать не только традиционное черно-белое изображение внутренних органов и сосудов, но и цветное изображение движения крови;
- **энергетическая доплерография (Power Doppler, CFM)** – вид УЗИ с доплером, который необходим для улавливания движения крови по самым мелким сосудам;
- **контрастное ультразвуковое исследование** (контрастный ультразвук, контрастная эхография, контраст-усиленное УЗИ, КУУЗИ) – **метод ультразвуковой диагностики с применением контрастных препаратов**, который позволяет получить более детальное изображение внутренних органов и тканей.

– **3D-ультразвук** (трёхмерное ультразвуковое исследование, 3D УЗИ) – метод ультразвукового исследования, позволяющий получать **объёмное изображение внутренних органов и структур**. В отличие от традиционного 2D-ультразвука, 3D-режим создаёт трёхмерную модель, что даёт врачу больше информации для точной диагностики;

– автоматическое ультразвуковое исследование молочной железы (Automated Breast Ultrasound, ABUS) – это метод, при котором сканирование проводится автоматически с помощью специального датчика, создающего высокоточные 3D-изображения всей груди в стандартных проекциях. Используется для дополнительного скрининга молочных желёз у женщин с повышенной плотностью ткани;

– эластография – метод ультразвуковой диагностики, при котором оценивается **жёсткость (упругость) тканей организма** (количественно и качественно). Часто используется для определения типа новообразования, его структуры и агрессивности, контроля доброкачественных процессов.

Эти методы увеличивают чувствительность и специфичность традиционного ультразвука до максимального уровня [Iranmakani et al., 2020].

Таблица 1
Table 1

Методы визуализации молочной железы
Breast imaging techniques

№	Методы визуализации	Медицинские процессы	SEN, %	SPE, %	Достоинства	Недостатки
1	Маммография	Скрининг, диагностика, прогноз	68,6–83,3	90–95	Высокая специфичность	Плохой контраст и использование ионизирующего излучения
2	Ультразвук	Скрининг, диагностика, прогноз, терапия	36–100	79–92,7	Высокая диагностическая ценность, экономическая эффективность, неинвазивность, отсутствие радиации	Высокие показатели ложноположительных результатов
3	ПЭТ-КТ (позиционно-эмиссионная томография)	Диагностика, прогноз, терапия	96	77	Высокая точность и чувствительность	Использование ионизирующего излучения, высокая стоимость
4	МРТ (магнитно-резонансная томография)	Диагностика, прогноз	88,19	67,7–85	Высокое разрешение, неионизирующее излучение	Высокая стоимость, возможность получить изображения только с одной стороны
5	Неионизирующее излучение	Диагностика	96	93	Неинвазивность, малая стоимость	Высокое рассеивание снижает контрастность изображения

Основная часть

Применение искусственного интеллекта в медицинской ультразвуковой диагностике (УЗИ) имеет давнюю историю [Wang et al., 2012]. С бурным развитием глубокого обучения его применение в медицине стало ещё более распространённым.

Глубокое обучение как краеугольный камень технологии, движущей продолжающуюся революцию искусственного интеллекта (ИИ), демонстрирует значительный потенциал в медицинской визуализации [Li, 2022]. Глубокое обучение используется в различных аспектах ультразвукового исследования:

- в формировании ультразвукового луча [Mamistvalov et al., 2022; Mamistvalov, Eldar, 2021];
- в клиническом применении ультразвука [Chen et al., 2021];
- в ультразвуковой визуализации [Van et al., 2021].

В данной работе рассматривается применение нейросетевых методов и алгоритмов в клинической диагностике с использованием ультразвукового исследования. Эмпирические данные доказали, что алгоритмы глубокого обучения демонстрируют качество обнаружения онкологических образований груди, сопоставимое с качеством распознавания, проведенного медицинскими работниками средней квалификации, при диагностике различных заболеваний на основе данных визуализации [Ohuchi et al., 2016]. А также показали лучшие результаты, нежели начинающие диагносты.

Также следует отметить, что традиционные методы, используемые для обнаружения онкологических образований груди, легко подвержены влиянию возможного низкого качества изображений. В отличие от традиционных методов, глубокое обучение может снизить влияние низкого качества ультразвукового изображения, извлекая признаки высокого уровня [Luijten et al., 2022].

Американский колледж радиологии опубликовал рекомендации по Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) для скрининга на рак молочной железы, чтобы стандартизировать интерпретацию изображений радиологами и определить рекомендации по лечению. Несмотря на улучшение согласованности, остаются ограничения в виде субъективной характеристики визуальных находок и постоянной изменчивости при интерпретации медицинских изображений. Кроме того, все еще существует нехватка специалистов для предоставления своевременной диагностики и направления пациентов к соответствующему клиническому лечению. Машинное обучение используется на протяжении многих лет в компьютерной помощи в диагностике различных типов рака, включая рак молочной железы.

Таким образом, использование нейросетевых методов при анализе снимков УЗИ является целесообразным, особенно в условиях нехватки персонала медицинских работников на периферии и в условиях массового скрининга населения.

Анализ медицинского ультразвука в основном включает сегментацию, классификацию, регистрацию и локализацию [Liu et al., 2019; Wang et al., 2021].

Юань Сюа и соавторы в своей работе «Сегментация изображений УЗИ молочной железы с помощью машинного обучения» [Xu et al., 2019] представили метод на основе свёрточных нейронных сетей для автоматической сегментации ультразвуковых изображений молочной железы на четыре основных класса: кожу, фиброгладулярную ткань, опухоль и жировую ткань.

Архитектура предложенной ими нейронной сети представлена на рис. 1.

Представленная нейронная сеть состоит из трех восьмислойных свёрточных нейронных сетей CNN-I, каждая из которых на вход получает изображение одной из трех ортогональных плоскостей ультразвукового изображения [Xu et al., 2019]. После прохождения последнего полносвязного слоя и функции Softmax данные преобразуются в массив распределения вероятностей с 4 выходными элементами, соответствующими четырем категориям тканей груди.

CNN-II представляет собой меньшую сеть, которая предназначена для объединения выводов трех CNN-I. Обучение осуществлялось с использованием алгоритма Adam. В качестве данных для тренировки и тестирования сети были использованы ультразвуковые исследования груди в Радиологическом отделении Университета Мичигана, США (более 20000 изображений).

Для оценки качества работы сети авторы использовали метрики: accuracy, precision, recall, F1 мера, значения каждой из которых превысило 80 %. Также использовался индекс сходства Жаккара (JSI) для сегментации, который оказался равным 85,1 %.

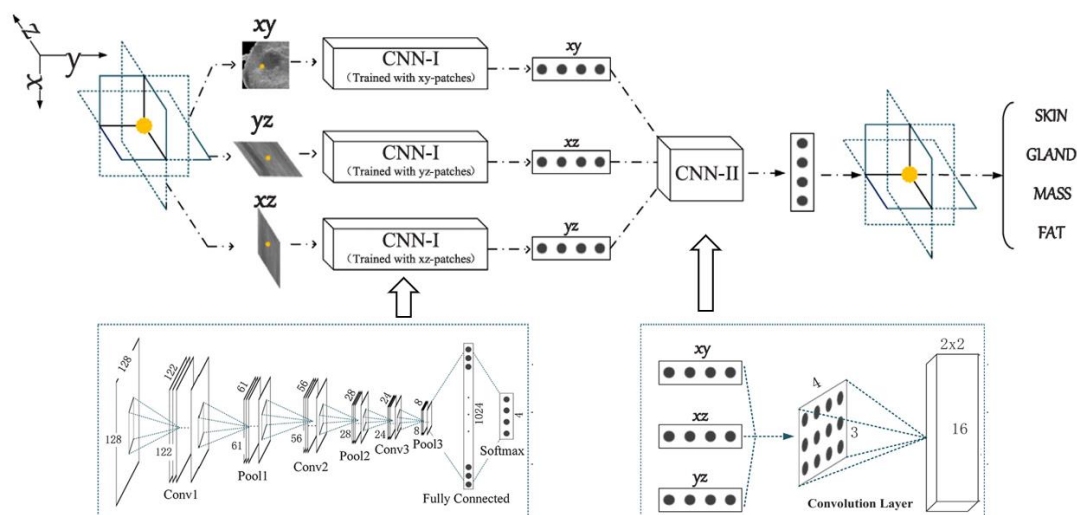


Рис. 1. Архитектура нейронной сети
Fig. 1. Neural network architecture

В работе «Перспективная оценка риска рака молочной железы по мультимодальным многопроекционным ультразвуковым изображениям с помощью клинически примененного глубокого обучения»-[Qian et al., 2021] авторами для предсказания риска онкологических образований молочной железы была предложена архитектура нейронной сети, представленная на рис. 2 [Qian et al., 2021].

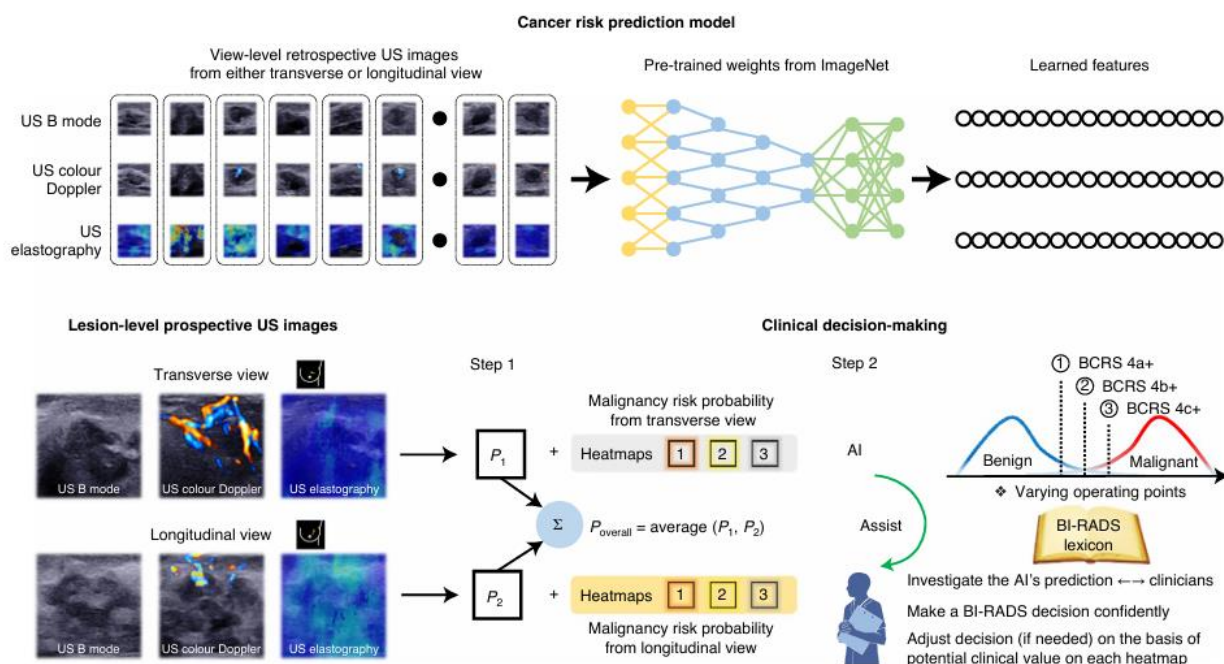


Рис. 2. Общая система ИИ для прогнозирования риска рака груди
Fig. 2. General AI system for predicting breast cancer risk

Представленная авторами глубокая свёрточная нейронная сеть была обучена с использованием многомодальных УЗИ-изображений на уровне просмотра и подтверждённых биопсией меток. В представленной архитектуре был использован блок ResNet-18 и модуль SEnet для извлечения информативных признаков из УЗИ снимков в В-режиме, УЗИ с цветовым доплеровским картированием, снимки эластографии. Полносвязный слой предназначен для извлечения значимых признаков для принятия решений.

Авторы отмечают, что использование ResNet-18 в сочетании с основой SENet показало наилучший результат. Сравнение осуществлялось с базовым ResNet-18, а также с другими распространёнными моделями, включая VGG19, ResNet-50 и Inception-v3, все из которых были интегрированы с блоком SENet для чистоты эксперимента.

В представленной системе искусственного интеллекта были задействованы две модели глубокого обучения:

- 1) бимодальная модель – в данной модели использовались входные данные с изображениями УЗИ в В-режиме и изображения цветного доплера;
- 2) мультимодальная модель – в качестве входных данных этой модели использовались изображения УЗИ в В-режиме, изображения цветного доплера и эластографии.

Авторы отмечают, что мультимодальная модель показала результаты выше по отношению к бимодальной модели в прогнозировании оценок BI-RADS. Также авторы отмечают, что оценки предложенной системы полностью согласуются с оценками опытных рентгенологов.

Для обучения и тестирования разработанного решения был использован набор данных, состоящий из 10815 изображений, полученных из 721 поражения у 634 пациентов, прошедших УЗИ молочной железы в период с октября 2016 года по декабрь 2018 года. Из 721 поражения, использованного в исследовании, 556 были доброкачественными, а 165 – злокачественными, подтвержденными биопсией.

Поражения в наборе данных были случайным образом распределены по двум группам: обучающей выборке (70 %) и валидационной выборке (30 %).

Таким образом, интеллектуальная система, предложенная Сюэцзюнь Цянь, Цзин Пей и др., соответствует текущим стандартам BI-RADS и может быть полезна в принятии решения как опытным рентгенологам, так и, в особенности, начинающим специалистам.

Работа «Глубокое обучение на основе знаний предметной области для диагностики рака молочной железы на основе видеозаписей УЗИ с контрастным усилением» Чэнь Чэнь и соавторов [Chen et al., 2021] посвящена разработке нейросетевого решения для диагностики рака молочной железы. Основной особенностью предлагаемого авторами решения является использование **контрастного ультразвукового исследования**. По сравнению со статическими изображениями УЗИ молочной железы, контрастное ультразвуковое исследование может предоставить более подробную информацию о кровоснабжении опухолей и, следовательно, помочь радиологам установить более точный диагноз.

Второй особенностью предложенного решения является тот факт, что авторы используют знание того, что радиологи обычно следуют двум специфическим паттернам при **контрастном ультразвуковом исследовании**: сосредоточенность на конкретных временных интервалах и внимание на различиях между кадрами **контрастного ультразвукового исследования** и соответствующими изображениями УЗИ [Chen et al., 2021].

Архитектура предлагаемого авторами решения представлена на рис. 3.

Представленная модель состоит из трех частей:

- 1) основой модели является 3D-свёрточная нейронная сеть (C3D). Извлекает временные и пространственные особенности из входных данных;
- 2) модуль временного внимания, основанный на знаниях из области (DKG-TAM), интегрирует временное внимание радиологов в модель, направляя модель сосредоточиться на критических временных интервалах в данных;
- 3) модуль внимания каналов, основанный на знаниях из области (DKG-CAM). Используется для конкатенации признаков, извлеченных на основе знания радиолога, с признаками, извлеченными основной сетью C3D.

В качестве набора данных авторы использовали собственный датасет, включающий исследование молочной железы из Онкологической больницы и института Пекинского объединённого медицинского колледжа, а также Китайской академии медицинских наук (CICAMS). Полученный набор данных был назван Breast-CEUS, который состоял из

221 исследования опухоли молочной железы у 217 пациентов, которые проходили обследование в SICAMS с марта 2019 года по ноябрь 2020 года и имели предварительный клинический диагноз рака груди.

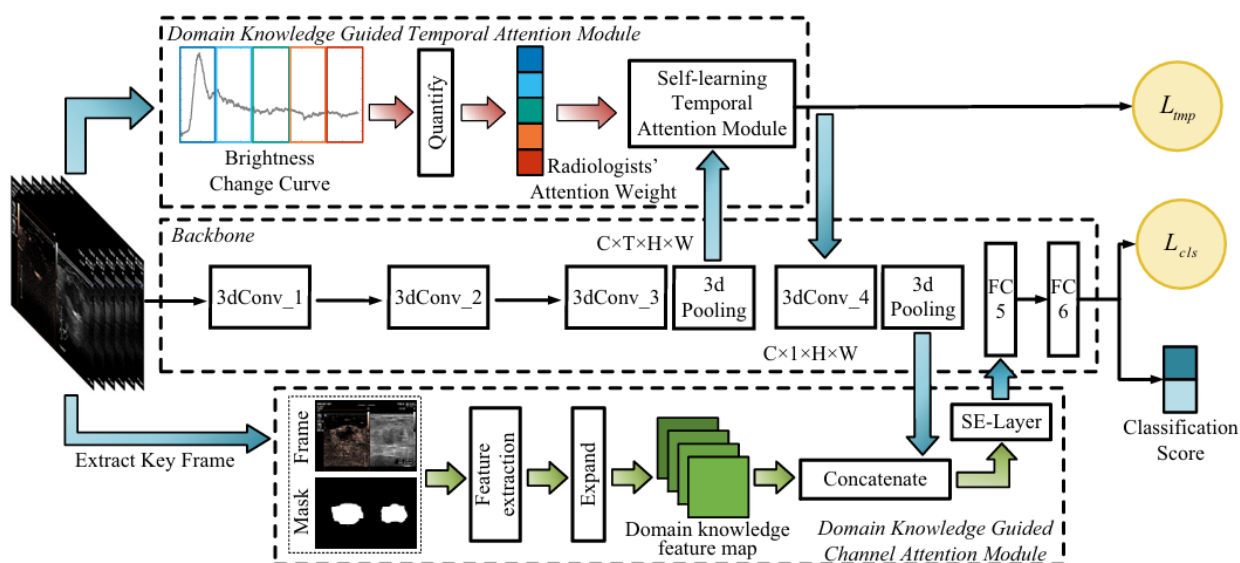


Рис. 3. Архитектура модели
Fig. 3. Model architecture

Обучение нейронной сети осуществлялось на протяжении 60 эпох. Для предотвращения переобучения был использован слой dropout с коэффициентом 0.1.

Сравнение работоспособности предложенного решения осуществлялось с некоторыми актуальными моделями классификации изображений, такими как ResNet, ResNeXt и Inception. По результатам эксперимента предложенное авторами решение является более точным.

В работе «Классификация рака молочной железы по ультразвуковым изображениям с использованием оптимального слияния признаков на основе вероятностного анализа» [Jabeen et al., 2022] авторов Киран Джабин, Мухаммад Атик Хан и др. представлено нейросетевое решение для классификации рака груди по снимкам УЗИ без дополнительной информации. Особенностью представленного авторами решения является отбор и использование лучших признаков для решения поставленной задачи. Архитектура нейронной сети представлена на рис. 4 [Jabeen et al., 2022].

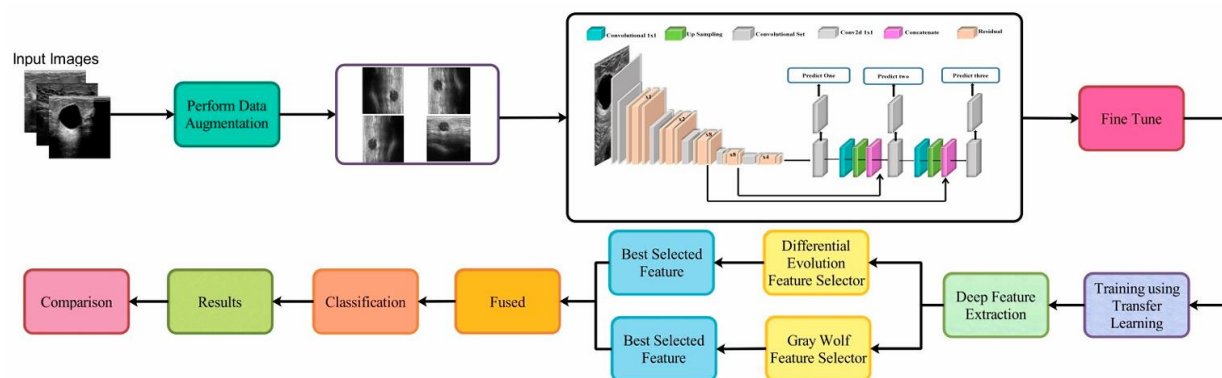


Рис. 4. Структура классификации рака молочной железы с использованием ультразвуковых изображений
Fig. 4. The framework for breast cancer classification using Ultrasound Images

Предложенное авторами решение состоит из пяти основных этапов:

1) Аугментация данных для увеличения исходного набора снимков УЗИ и, как следствие, более качественного обучения нейронной сети.

В представленной работе используется набор данных BUSI, который содержит 780 изображений ультразвукового исследования груди и включает в себя три категории: 133 изображения без новообразований, 210 изображений со злокачественными новообразованиями и 487 изображений с доброкачественными новообразованиями.

При аугментации были использованы следующие операции: горизонтальное отражение, вертикальное отражение и поворот на 90 градусов. Данные операции повторялись до тех пор, пока объем данных не составил 12000 изображений по 4000 в каждой категории.

2) Использование в основной архитектуре предварительно обученной модели DarkNet-53 с модификацией выходного слоя в зависимости от классов полученного набора данных после модификации.

3) Извлечение признаков из слоя глобального среднего объединения.

4) Отбор наиболее важных признаков с использованием двух улучшенных оптимизационных алгоритмов:

- Reformed Differential Evaluation (RDE), который является модификацией алгоритма дифференциальной эволюции и используется в контексте машинного обучения для выбора оптимальных признаков;

- reformed gray wolf (RGW), который представляет собой алгоритм оптимизации, используемый в контексте классификации медицинских изображений, в частности ультразвуковых снимков груди.

Размер вектора после выполнения алгоритма RDE составляет 4788×818 . Количество изображений – 818, количество признаков – 4788. Размер вектора после выполнения алгоритма RGW составляет 4788×734 .

5) Объединение отобранных признаков путем использования нового подхода на основе вероятности и классификация.

На данном этапе осуществляется объединение признаков после алгоритмов RDE и RGW. Объединение осуществляется в одну матрицу на основе вероятностного подхода. Таким образом решается проблема избыточности признаков. Размер вектора после слияния имеет следующую размерность: 4788×704 .

Эксперимент проводился на увеличенном наборе данных об ультразвуковых изображениях груди (BUSI), и лучшая точность составила 99,1 %, что является высоким результатом.

В работе «DeepBreastCancerNet: новая модель глубокого обучения для диагностики рака молочной железы с помощью ультразвуковых изображений» [Raza et al., 2023], авторами которой являются Асаф Раза, Наим Уллах и др., предложена модель глубокого обучения DeepBraestCancerNet для обнаружения и классификации онкологических опухолей груди, архитектура которой представлена на рис. 5.

Представленное решение состоит из трех основных компонентов: блок изменения размера изображения, блок извлечения признаков и блок классификации.

Архитектура предложенной нейронной сети состоит из слоев двумерной свертки, модулей Inception, предназначенных для извлечения признаков разного размера и сложности за счёт параллельного применения нескольких свёрточных фильтров разных размеров и полносвязного выходного слоя [Raza et al., 2023].

В качестве функций активации используются две функции: ReLu и Leaky ReLu. Также в архитектуре используются пакетная нормализация и кросс-канальная нормализация для выполнения операции нормализации.

Для аугментации данных использовался поворот на 30 градусов. Разделение данных на обучающую и тестовую выборки осуществлялось как 70 % и 30 % соответственно. Используемый оптимизатор – алгоритм стохастического градиентного спуска с импульсом

(SGDM). Нейронная сеть обучалась на протяжении 100 эпох. Набор изображений ультразвукового исследования, используемый для обучения и тестирования предложенной авторами нейронной сети, состоял из 1030 ультразвуковых изображений (537 доброкачественных новообразований, 360 злокачественных новообразований и 133 снимков без новообразований).

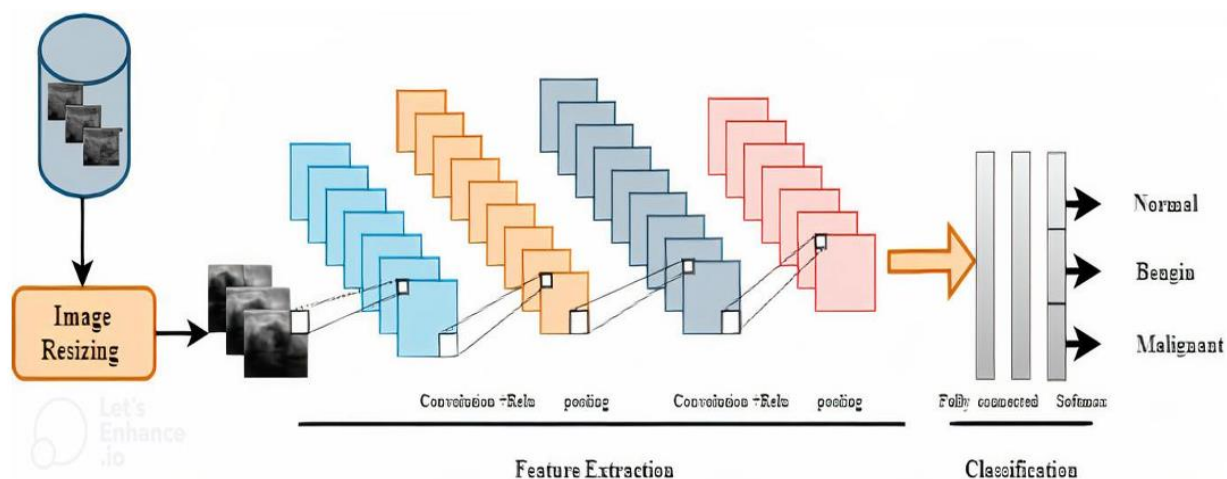


Рис. 5. Абстрактное представление технологии DeepBreastCancerNet

Fig. 5. Abstract representation of DeepBreastCancerNet technology

Предложенная модель DeepBreastCancerNet достигла наивысшей точности на сотой эпохе обучения, показав следующие результаты: accuracy=99,35 %, precision=99,60 %, recall=99,66 % и F1-score=99,60 %, что показывает эффективность представленного метода.

Выводы и дальнейшее направление исследований

По проведенному анализу представленных работ в области классификации онкологических новообразований в груди можно заключить, что в качестве основной архитектуры используется сверточная нейронная сеть, в некоторых случаях предобученные модели, например, ResNet-18, VGG19, Inception-v3 и др. В качестве оптимизатора чаще всего используется алгоритм Adam либо стохастический градиентный спуск. В качестве функций активации чаще всего используются ReLU и ее модификации и Softmax. Количество эпох для тренировки зависит от различных параметров, в том числе от объема используемой базы данных и варьируется в довольно большом диапазоне.

Следует отметить, что исследование предложенных авторами моделей осуществлялось не только на различных наборах данных, но и в некоторых случаях с использованием данных, полученных различными методами ультразвукового исследования. Это связано в том числе с проблемой имеющихся реальных наборов данных ультразвукового исследования груди в открытом доступе. Таким образом, часто группы исследователей осуществляли сбор данных для тренировки и тестирования предложенных решений самостоятельно в доступных им лечебных заведениях.

В качестве направлений собственных исследований представляются перспективными два:

- 1) Детекция, сегментация и идентификация изображений рака молочной железы на изображениях при помощи нейронных сетей семейства YOLO, что позволит с одной стороны уменьшить вычислительную сложность предлагаемых решений, а с другой стороны более точно находить зоны поражения тканей и уже, возможно, после этого использовать сети-классификаторы, например, ResNet.

2) Использование различных парных функций потерь (loss function). Предполагается, что это позволит существенно повысить уровень распознавания целевых новообразований, поскольку данные функции потерь хорошо зарекомендовали себя при решении задач поиска похожих изображений.

В качестве функций потерь предполагается использование следующих:
Contrastive Loss.

Является парной функцией потерь, при использовании которой объекты сравниваются по расстоянию друг с другом. Математический вид функции представлен в (1):

$$L = y\|f(I_p) - f(I_q)\|_2^2 + (1 - y)\max\{0, m - \|f(I_p) - f(I_q)\|_2\}^2, \quad (1)$$

где $y=1$, если изображения I_p, I_q являются позитивной парой (эмбеддинги похожи), $y=0$, если I_p, I_q являются негативной парой (эмбеддинги непохожи), m – граница, в пределах которой разные объекты должны считаться таковыми.

При использовании данной функции потерь нейронная сеть штрафует, если похожие изображения имеют отдаленные эмбеддинги и если непохожие изображения имеют близкие эмбеддинги.

Triplet Loss.

Также является парной функцией потерь, но в работе используется три объекта: якорь, изображение, похожее на якорь (позитив), отличное изображение (негатив). Математический вид функции представлен выражением (2):

$$L = \max\{0, \|f(I_a) - f(I_q)\|_2^2 - \|f(I_a) - f(I_n)\|_2^2 + m\}, \quad (2)$$

где I_a – изображение якорь, m – параметр, позволяющий избежать сходимости к тривиальным решениям.

В данном случае решается задача минимизации расстояния между эмбеддингами якоря и позитива и максимизация между эмбеддингами якоря и негатива.

N-tupled Loss.

Эта функция потерь является развитием Triplet Loss и предполагает использование нескольких негативных примеров вместо одного, то есть сравнение якоря осуществляется с одним позитивом и несколькими негативами. Математический вид функции представлен формулой (3):

$$L = \log\left[1 + \sum_{i=1}^N \exp\left(\|f(I_a) - f(I_q)\|_2^2 - \|f(I_a) - f(I_n^i)\|_2^2\right)\right], \quad (3)$$

где I_n^i – i -ое негативное изображение, $N+2$ – размер выборки негативных примеров, который выбирается эмпирически.

Однако использование рассмотренных функций потерь потребует существенного исследования, т. к. вопрос – что брать в данном случае в качестве якоря и негативных примеров, где в качестве позитивного примера используется целевое изображение нужных клеток, – требует значительного изучения. Также следует отметить, что изображения ультразвукового исследования обладают своей спецификой, которую нужно учитывать.

Разумеется, что оба указанных направления могут быть скомбинированы как полностью, так и частично.

References

- Afrin H., Larson N.B., Fatemi M., Alizad A. 2023. Deep Learning in Different Ultrasound Methods for Breast Cancer, from Diagnosis to Prognosis: Current Trends, Challenges, and an Analysis. *Cancers* 2023, 15, 3139.
- Chan H.-P., Samala R.K., Hadjiiski L.M. 2020. CAD and AI for breast cancer – Recent development and challenges. *Br. J. Radiol.* 93, 20190580.
- Chen C., Wang Y., Niu J., Liu X., Li Q., Gong X. 2021. Domain knowledge powered deep learning for breast cancer diagnosis based on contrast-enhanced ultrasound videos. *IEEE Trans Med Imaging* 40: 2439–51.

- Chen Y., Liu J., Luo X., Luo J. 2021. A self-supervised deep learning approach for high frame rate plane wave beamforming with two-way dynamic focusing. In: 2021 IEEE international ultrasonics symposium (IUS), p. 1–4.
- Iranmakani S., Mortezaazadeh T., Sajadian F., Ghaziani M.F., Ghafari A., Khezerloo D., Musa A.E. 2020. A review of various modalities in breast imaging: Technical aspects and clinical outcomes. Egypt. J. Radiol. Nucl. Med. 2020, 51, 57.
- Jabeen K., Khan M.A., Alhaisoni M., Tariq U., Zhang Y.D., Hamza A., et al. 2022. Breast cancer classification from ultrasound images using probability-based optimal deep learning feature fusion. Sensors 22: 807.
- Li Z. 2022. Design of ultrasound-based diagnostic algorithms for pneumothorax. North China University of Technology. Master's thesis.
- Liu S., Wang Y., Yang X., Lei B., Liu L., Li S.X., et al. 2019. Deep learning in medical ultrasound analysis: a review. Engineering 5: 261–75.
- Liu Z., Jin M., Chen Y., Liu H., Yang C., Xiong H. 2023. Lightweight network towards real-time image denoising on mobile devices. IEEE international conference on image processing (ICIP) (IEEE), 2270–2274.
- Luijten B., Chennakeshava N., Eldar Y.C., Mischi M., van Sloun R.J. 2022. Ultrasound signal processing: from models to deep learning. Ultrasound Med Biol 49: 677–98.
- Mamistvalov A., Amar A., Kessler N., Eldar Y.C. 2022. Deep-learning based adaptive ultrasound imaging from sub-nyquist channel data. IEEE Trans Ultrason Ferroelectrics, Frequency Control 69: 1638–48.
- Mamistvalov A., Eldar Y.C. 2021. Compressed fourier-domain convolutional beamforming for sub-nyquist ultrasound imaging. IEEE Trans Ultrason Ferroelectrics, Frequency Control 69:489–99.
- Ohuchi N., Suzuki A., Sobue T., Kawai M., Yamamoto S., Zheng Y.-F., Shiono Y.N., Saito H., Kuriyama S., Tohno E. et al. 2016. Sensitivity and specificity of mammography and adjunctive ultrasonography to screen for breast cancer in the Japan Strategic Anti-Cancer Randomized Trial (J-START): A randomised controlled trial. Lancet, 387, 341–348.
- Qian X., Pei J., Zheng H., Xie X., Yan L., Zhang H., et al. 2021. Prospective assessment of breast cancer risk from multimodal multiview ultrasound images via clinically applicable deep learning. Nat Biomed Eng 5:222–32.
- Raza A., Ullah N., Khan J.A., Assam M., Guzzo A., Aljuaid H. 2023. Deepbreastcancernet: a novel deep learning model for breast cancer detection using ultrasound images. Appl Sci 13:2082.
- Song K., Feng J., Chen D. 2024. A survey on deep learning in medical ultrasound imaging. Front. Phys. 12:1398393.
- Van Sloun R.J., Ye J.C., Eldar Y.C. 2021. 1 deep learning for ultrasound beamforming. arXiv preprint arXiv:2109.11431
- Wang H.-Y., Jiang Y.-X., Zhu Q.-L., Zhang J., Dai Q., Liu H., Lai X.-J., Sun Q. 2012. Differentiation of benign and malignant breast lesions: A comparison between automatically generated breast volume scans and handheld ultrasound examinations. Eur. J. Radiol, 81, 3190–3200.
- Wang Y., Ge X., Ma H., Qi S., Zhang G., Yao Y. 2021. Deep learning in medical ultrasound image analysis: a review. IEEE Access 9:54310–24.
- Xu Y., Wang Y., Yuan J., Cheng Q., Wang X., Carson P.L. 2019. Medical breast ultrasound image segmentation by machine learning. Ultrasonics 91:1–9.
- Zhang B., Li Z., Hao Y., Wang L., Li X., Yao Y. 2025. A review of lightweight convolutional neural networks for ultrasound signal classification. Front. Physiol. 16:1536542.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 07.10.2025

Поступила после рецензирования 28.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received October 07, 2025

Revised November 28, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Балабанова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatiana N. Balabanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



Дементьева Елена Ивановна, аспирант института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Elena I. Dementyeva, Postgraduate Student, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Svetlana Yu. Lozovaya, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.42,004.75

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-873-886

EDN PRAXZD

Эмуляция программного модуля имитации атаки на беспроводную сеть

Борисенко А.В., Акапьев В.Л., Ковалева Е.Г., Новикова Е.А.

Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина

Россия, 308024, г. Белгород, ул. Горького, 71

borisenko02.94@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования определяется необходимостью увеличения эффективности противодействия киберпреступности. Целью данной статьи является попытка эмуляции программного модуля симулятора-тренажера, имитирующего процесс проникновения в беспроводную сеть Wi-Fi с использованием принципов социальной инженерии, который может быть использован в процессе подготовки профильных специалистов. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: запустить разработанный программный модуль; выбрать программную среду; осуществить компиляцию программного модуля. В процессе решения сформулированных задач был проведен анализ криминогенной обстановки в части киберпреступности, были использованы обще- и частнонаучные методы познания (диалектический, анализ, синтез, аналогия, проецирование, прогнозирование и т. д.), главным из которых явился метод модульного проектирования аппаратно-программного комплекса. На основании выполненных работ был создан программный модуль симулятора. Проведенное исследование позволяет сделать вывод о необходимости использования подобных аппаратно-программных комплексов для подготовки сотрудников правоохранительных органов.

Ключевые слова: киберпреступность, имитация атаки на беспроводную сеть, симулятор-тренажер, эмуляция программного модуля, хендшейк

Для цитирования: Борисенко А.В., Акапьев В.Л., Ковалева Е.Г., Новикова Е.А. 2025. Эмуляция программного модуля имитации атаки на беспроводную сеть. *Экономика. Информатика*, 52(4): 873–886. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-873-886; EDN PRAXZD

Emulation of the Attack Simulation Software Module to a Wireless Network

**Aleksander V. Borisenko, Viktor L. Akapiev,
Ekaterina G. Kovaleva, Ekaterina A. Novikova**

Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

71 Gorky St., Belgorod 308024, Russia

borisenko02.94@mail.ru

Abstract. The relevance of the study is determined by the need to increase the effectiveness of countering cybercrime. The study attempts to emulate a simulator software module that imitates the process of penetration into a wireless Wi-Fi network applying principles of social engineering. Such a device may be indispensable to specialist training. To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks: launch the developed software module, select a software environment, and compile the software module. In the process of solving the formulated tasks, the authors analyzed the criminal situation in terms of cybercrime, employing general and private scientific methods of cognition (the dialectical method, analysis, synthesis, method of analogy, projection, forecasting, etc.), the main one being the method of modular design of the hardware and software complex. Based on the research findings, a simulator software module has been created. The study reveals the need to use such hardware and software complexes for training law enforcement officers.

© Борисенко А.В., Акапьев В.Л., Ковалева Е.Г., Новикова Е.А., 2025

Keywords: cybercrime, simulation of an attack on a wireless network, simulator, emulation of a software module, handshake

For citation: Borisenko A.V., Akapyev V.L., Kovaleva E.G., Novikova E.A. 2025. Emulation of the Attack Simulation Software Module to a Wireless Network. *Economics. Information technologies*, 52(4): 873–886 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-873-886; EDN PRAXZD

Введение

Рост использования цифровых решений в повседневной деятельности в сфере бизнеса и государственных услуг сопровождается увеличением количества цифровых устройств, которыми пользуются граждане. Сейчас люди регистрируются во множестве цифровых аккаунтов и проводят в интернете больше времени, чем когда-либо. В связи с этим растёт число кибератак и случаев цифрового мошенничества. Увеличивается не только количество компьютерных инцидентов, но и их сложность, а также степень негативного воздействия.

Статистические данные по состоянию киберпреступлений за январь – июль 2025 года хоть и свидетельствует о том, что общее количество зарегистрированных преступлений снизилось на 4,5 %, но позволяют считать данный вид противоправной деятельности как представляющий серьёзную угрозу обществу [В России за январь-июль 2025 года ущерб от IT-преступлений вырос на 16 % и составил почти 120 млрд рублей, 2025].

Злоумышленники находят новые способы использования уязвимостей: от похитителей информации, взламывающих миллионы учётных записей, до банд вымогателей, меняющих тактику шантажа, и киберпреступников, использующих искусственный интеллект. Продолжает расти число платформ, предлагающих услуги DDoS-атак, что в современном мире, во многом полагающемся на онлайн-сервисы, может сделать платформы недоступными.

Рост количества сетевых атак и актов кибермошенничества с начала СВО актуализирует, в частности, необходимость качественного роста уровня профессиональной подготовки сотрудников правоохранительных органов.

Решение указанной задачи осложняется отсутствием необходимого аппаратного и программного обеспечения ведомственных вузов и неповоротливостью системы закупок товаров и услуг для государственных нужд.

Для применения в образовательном процессе профильных вузов и преодоления указанных препятствий предлагается вариант использования симулятора-тренажера, имитирующего сетевые проникновения.

Объекты и методы исследования

В современную цифровую эпоху беспроводные сети стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. От смартфонов до «умных» домов [Ramadan, 2022; Abdalla, Tang, Marojevic, 2025], от предприятий до общественных мест – беспроводные технологии произвели революцию в том, как мы общаемся, работаем и живём. Эти сети обеспечивают беспрецедентное удобство, позволяя нам подключаться к интернету без проводов, что способствует удалённой работе, онлайн-покупкам, общению в социальных сетях и многому другому [Zhukabayeva, Karabayev, Nurusheva, Satybaldina, 2024].

Однако у этого удобства есть и обратная сторона: уязвимости в системе безопасности. Как и у всех технологий, у беспроводных сетей есть свои уязвимые места, которыми могут воспользоваться злоумышленники. Это палка о двух концах: беспроводные технологии невероятно удобны, но при этом создают потенциальные угрозы безопасности и открывают потенциальные возможности для киберпреступников.

Киберпреступность стала серьёзной проблемой, имеющей сложные социальные и экономические последствия, наносящие ущерб национальной безопасности. Растущая распространённость и диверсификация стратегий и методов киберпреступности стали

серьёзным препятствием как для понимания масштабов существующих рисков, так и для разработки эффективной политики предотвращения киберпреступлений для коммерческих структур, государственных учреждений и физических лиц.

Огромное количество финансово мотивированных вторжений, совершаемых ежедневно, также оказывает кумулятивный эффект, снижая конкурентоспособность национальной экономики и создавая огромную нагрузку на специалистов по кибербезопасности, что приводит к снижению их готовности к работе и выгоранию.

Правоохранительные органы стремятся разработать эффективные стратегии для предотвращения и расследования киберпреступлений [Yavorsky, Useev, Kurushin, 2021], но при этом необходимо учитывать, что процесс расследования киберпреступлений сложен и требует специальной подготовки, знаний о компьютерных системах и навыков сбора электронных доказательств.

Согласно статистике Kaspersky Threat Intelligence (рис. 1) наибольшую долю киберпреступлений за сентябрь 2025 года составляют попытки проникновения, под которыми подразумеваются попытки взлома системы извне с целью использования уязвимостей и потенциального совершения мошеннических действий, растраты или злоупотребления [Интерактивная карта киберугроз, 2025].



Рис. 1. Гистограмма сканирования выявленных угроз (в процентах)

Fig. 1. Histogram of the scan of identified threats (percentage)

Разновидностью проникновений являются атаки на беспроводную сеть, представляющие собой вредоносные действия или стратегии, направленные на использование уязвимостей систем беспроводной связи, включая сети Wi-Fi, мобильные сети передачи данных и Bluetooth-соединения.

Целью таких атак может быть что угодно: от несанкционированного перехвата и изменения данных до нарушения работы сети и управления устройствами. Поскольку беспроводные сети передают данные по радиоканалу, они по своей сути предоставляют потенциальным злоумышленникам больше возможностей для доступа, чем проводные сети. Следовательно, без надёжных мер безопасности эти сети могут быть уязвимы для несанкционированного доступа и неправомерного использования, что ставит под угрозу как персональные, так и корпоративные данные.

Наиболее эффективным средством противодействия проникновению в настоящее время является тестирование на проникновение (или пентест) [Teichmann, Boticiu, 2023; Torres-Trujillo, Meza-Alarcon, Ticono, 2024]. Тестирование на проникновение помогает организациям выявлять уязвимости и недостатки в своих системах, которые иначе они могли бы не обнаружить [Журавлева, Ткаченко, 2023]. Это позволяет предотвращать атаки до их начала [Bodenhausen, Mangel, Vogt, Henze, 2025], поскольку организации могут устранять выявленные уязвимости, что актуализирует необходимость использования в процессе подготовки правоохранительных кадров соответствующих аппаратно-программных имитаторов сетевых атак [Акапьев, Савотченко, 2015].

Однако проведение пентеста представляет собой довольно-таки дорогостоящее мероприятие [Prayatno, Tohari, Susilowati, 2024]. Именно это обуславливает необходимость разработки и использования в учебном процессе симуляторов проникновения.

Анализ готовых систем

Базовых знаний в области кибербезопасности сегодня недостаточно, поскольку злоумышленники с каждым днём становятся всё более организованными и изощрёнными. Необходимо применять безотлагательные меры для повышения эффективности формирования компетентности в области кибербезопасности у сотрудников правоохранительных органов и лучший способ сделать это – практические занятия с использованием симуляторов.

В настоящее время на отечественном и международном рынках присутствует целый ряд тренажеров и эмуляторов, которые могут быть использованы на различных уровнях подготовки сотрудников по кибербезопасности (табл. 1).

На отечественном рынке тренажеров и эмуляторов в сфере подготовки специалистов по защите информации выделяется продукция фирмы «Учтех-Профи», в перечне которой по рассматриваемой проблематике можно выделить виртуальные тренажеры «Системы контроля и управления доступом», «Средства программно-аппаратной защиты информации», «Межсетевые экраны нового поколения» и виртуальный учебник «Кибербезопасность. Анализ и управление уязвимостями». Его функциональность:

- теоретический раздел с демонстрацией различных процессов анализа и управления уязвимостями;
- структурированная навигация по разделам;
- настройки просмотра теоретического материала [Виртуальные тренажеры и эмуляторы, 2025].

Сравнительно новым направлением развития использования симуляторов в образовательном процессе является создание лабораторий кибербезопасности. Лаборатория кибербезопасности – это виртуальная среда, в которой можно пройти практическое обучение, выполняя смоделированные задания или сценарии. Обычно они используются для повышения уровня знаний и развития навыков.

Лаборатория кибербезопасности обладает теми же преимуществами, что и любое практико-ориентированное обучение работе с программным обеспечением, обеспечивая возможность проведения тренингов по информационной безопасности, предоставляя дополнительную защиту от атак с использованием социальной инженерии.

Таблица 1
Table 1

Виртуальные тренажеры и эмуляторы
Virtual simulators and emulators

Наименование и производитель	Функционал	Условия приобретения
Виртуальный тренажер «Системы контроля и управления доступом» (Учтех-Профи, Россия)	Предназначен для демонстрации и изучения принципов работы, а также монтажа и настройки системы контроля и управления доступом (СКУД)	Лицензия на 10 мест (цена требует уточнения)
Виртуальный тренажер «Применение средств программно-аппаратной защиты информации» (Учтех-Профи, Россия)	Предназначен для ознакомления с алгоритмами работы программных и программно-аппаратных средств борьбы с несанкционированным доступом.	Лицензия на 10 мест (цена требует уточнения)
Виртуальный тренажер «Кибербезопасность» (Учтех-Профи, Россия)	Предназначен для изучения принципов работы межсетевых экранов и обучения работе для защиты сетевой инфраструктуры	Лицензия на 10 мест (цена требует уточнения)
Виртуальный учебник «Кибербезопасность. Анализ и управление уязвимостями» (Учтех-Профи, Россия)	Предназначен для обучения теоретическим основам анализа и управления уязвимостями.	Лицензия на 10 мест (цена требует уточнения)
Лаборатория кибербезопасности (CloudShare, США)	Позволяет организациям проводить увлекательные практические занятия в любой отрасли кибербезопасности, моделировать угрозы	Информация закрыта
Лаборатория кибербезопасности (Hack the Box, Великобритания)	Комплексная платформа, которая помогает организациям развивать все аспекты кибербезопасности – от базовых знаний до продвинутых навыков	Информация закрыта
Лаборатории кибербезопасности (CyberDefenders, США)	Содержат реальные сценарии и библиотеку игровых задач по безопасности	Облачные лаборатории доступны по подписке
Платформа AttackDefense Labs, Pentester Academy	Содержит более 2000 уникальных лабораторных упражнений по кибербезопасности	Доступна по ежемесячной подписке на Pentester Academy
Project Juice Shop (Фонд OWASP, США)	Представляет собой намеренно небезопасное веб-приложение, предназначенное для обучения хакингу	Распространяется в соответствии с условиями лицензии MIT
Платформа для обучения навыкам кибербезопасности (Immersive Labs, Великобритания)	Геймифицированная среда для обучения, охватывающая все аспекты – от безопасности инфраструктуры и приложений до мониторинга угроз.	Информация закрыта
Центр управления безопасностью (SOC) на базе искусственного интеллекта (TryHackMe, Великобритания)	Обеспечивает управляемое иммерсивное обучение по кибербезопасности независимо от уровня подготовки.	Регистрация пользователя (от 25 долларов США за пользователя)

Лаборатории кибербезопасности могут существенно повлиять на процесс формирования профессиональной компетентности правоохранителей в части выявления угроз, реагирования на них и устранения их последствий.

На 2025 год среди лучших лабораторий по кибербезопасности выделяют платформу CloudShare, которая позволяет проводить практические занятия в области кибербезопасности. С ее помощью можно создавать собственные среды в любом облаке без написания кода и с минимальной настройкой, что позволяет моделировать угрозы, проводить тактические учения и получать полезную информацию об эффективности учебного процесса [The 8 Best Virtual Cybersecurity Practice Labs, 2025; Kumar, Niranjana, Reddy, Himanshu, Raju, Goud, 2025].

Комплексная платформа Hack the Box предоставляет широкий спектр задач для практики в области кибербезопасности: от базовых заданий до продвинутых кейсов. Платформа отлично использует геймификацию, примером которой является игра «Capture the Flag» – настраиваемая и захватывающая командная симуляция взлома. Hack the Box также предлагает широкий выбор киберполигонов, симуляций атак и практических лабораторий как для частных лиц, так и для компаний и преподавателей.

Будучи одной из ведущих компаний по обучению кибербезопасности в мире, Strybari располагает обширным каталогом обучающих материалов по кибербезопасности, разработанных отраслевыми экспертами. В библиотеке компании присутствует множество лабораторных работ, охватывающих все аспекты: от базового тестирования на проникновение и обнаружения вторжений до этичного взлома. Имеется несколько курсов о том, как создать и поддерживать собственную лабораторию.

Лаборатории Blue Team от CyberDefenders используют игровой подход, чтобы помочь специалистам по информационной безопасности развить правильное мышление и навыки для защиты от киберугроз. В лабораториях реальные сценарии сочетаются с элементами геймификации. Существует огромная библиотека игровых задач по безопасности, которые можно бесплатно загрузить и развернуть на виртуальной машине, а облачные лаборатории доступны по подписке.

Платформа AttackDefense Labs, доступная по ежемесячной подписке в Pentester Academy, включает более 2000 уникальных лабораторных упражнений. Лаборатории доступны через веб-браузер, и каждый обучающийся подключен к своей собственной выделенной лаборатории без каких-либо ограничений по использованию.

Project Juice Shop, разработанный фондом OWASP, представляет собой намеренно небезопасное веб-приложение, предназначенное для обучения хакерству. В приложении представлены десять основных уязвимостей OWASP, длинный список недостатков в системе безопасности и таблица результатов, в которой отслеживается прогресс пользователя.

Платформа Immersive Labs, признанная лидером в рейтинге Forrester Wave: платформы для обучения навыкам кибербезопасности в 2023 году, помогает как специалистам по безопасности, так и студентам вузов приобретать критически важные навыки в сфере безопасности. Платформа Immersive Labs представляет собой геймифицированную среду обучения, охватывающую все аспекты – от безопасности инфраструктуры и приложений до мониторинга угроз, – с возможностью выполнения упражнений на основе сценариев, направленных на развитие конкретных знаний и навыков. Образовательные учреждения также могут проводить полноценные симуляции кризисных ситуаций, чтобы проверить свои возможности по реагированию на инциденты.

TryHackMe – это центр управления безопасностью (SOC) на базе искусственного интеллекта, который обеспечивает управляемое иммерсивное обучение независимо от вашего уровня подготовки. Платформа с более чем 800 учебными лабораториями и множеством направлений обучения создана для того, чтобы изучение кибербезопасности было увлекательным и интересным [The 8 Best Virtual Cybersecurity Practice Labs, 2025].

При всем функциональном разнообразии и дидактической привлекательности перечисленные системы обладают одним существенным недостатком – они платные. Что

касается разработок зарубежных производителей, то их приобретение в настоящих условиях является практически невозможным.

Указанные предпосылки актуализируют необходимость реализации доктрины недорогого симулятора сетевых атак. Не вдаваясь в подробности реализации аппаратной части, мы остановимся лишь на алгоритме эмуляции программного модуля симулятора.

Результаты исследования

Процедура запуска симулятора определяется, в первую очередь, выбором операционной системы (ОС) и начинается с ее настройки. Наш выбор ОС Kali Linux. Выбор обусловлен наличием в указанной ОС всех необходимых пакетов для проведения сетевых атак. Для интеграции драйверов в Kali Linux и проведения атаки на беспроводную сеть, будет использован разработанный программный модуль [Акапьев, Ковалева, Борисенко, Панарин, 2024].

Программирование процесса идентификации сетевого оборудования, после установки драйверов проверяем корректное определение адаптеров системой (рис. 2).

```
File Actions Edit View Help
eth0      no wireless extensions.
wlan0     unassociated Nickname:"<WIFI@REALTEK>"
          Mode:Managed Frequency=2.412 GHz Access Point: Not-Associated
          Sensitivity:0/0
          Retry:off   RTS thr:off   Fragment thr:off
          Encryption key:off
          Power Management:off
          Link Quality:0 Signal level:0 Noise level:0
          Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
          Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
wlan1     unassociated Nickname:"<WIFI@REALTEK>"
          Mode:Managed Frequency=2.412 GHz Access Point: Not-Associated
          Sensitivity:0/0
          Retry:off   RTS thr:off   Fragment thr:off
          Encryption key:off
          Power Management:off
          Link Quality:0 Signal level:0 Noise level:0
          Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
          Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
wlan2     unassociated Nickname:"<WIFI@REALTEK>"
          Mode:Auto Frequency=2.412 GHz Access Point: Not-Associated
          Sensitivity:0/0
          Retry:off   RTS thr:off   Fragment thr:off
          Encryption key:off
          Power Management:off
          Link Quality:0 Signal level:0 Noise level:0
          Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
          Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

Рис. 2. Проверка корректного определения адаптеров системой
Fig. 2. Checking the correct identification of adapters by the system

Переход к запуску скрипта для имитации атаки на точку доступа (роутер). Далее осуществляются запуск и проверка с последующей установкой требуемых для работы компонентов.

После проведения процедуры включается полностью настроенная среда для проведения сетевой атаки и предлагается выбрать дальнейшее действие. Первым этапом будет перехват хендшейка [Perez, Selander, Mattsson, Watteyne, Vučinić, 2024] (т. е. процесс знакомства клиента и сервера, во время которого устройства идентифицируют друг друга и обмениваются секретными ключами [Saha, Ray, Dasgupta, 2024]) от клиентов атакуемой точки посредством их принудительного отключения [Montañez-Juan, Forteza-Domenici, García-Buades, Blahoroulou, Ortiz-Bonnin, 2025; An, Pan, Wen, Zhang, 2023]. Поэтому здесь выбирается пункт 2.

Далее выбирается интерфейс для поиска целевой точки (рис. 3).

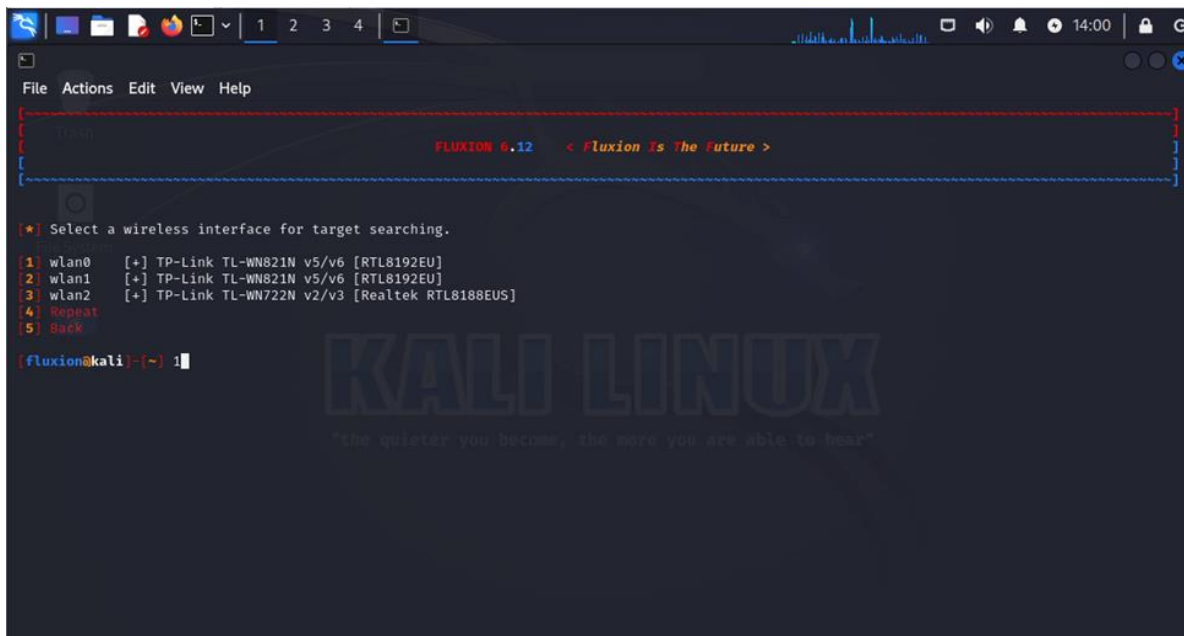


Рис. 3. Выбор интерфейса для поиска целевой точки
Fig. 3. Selecting the interface to search for a target point

В дальнейшем подбирается канал для поиска точки доступа (рис. 4). В описываемом варианте атаки роутер работает на частоте 2,4 ГГц, соответственно выбирается этот канал. Затем для поиска включается режим монитора и начинается поиск цели.

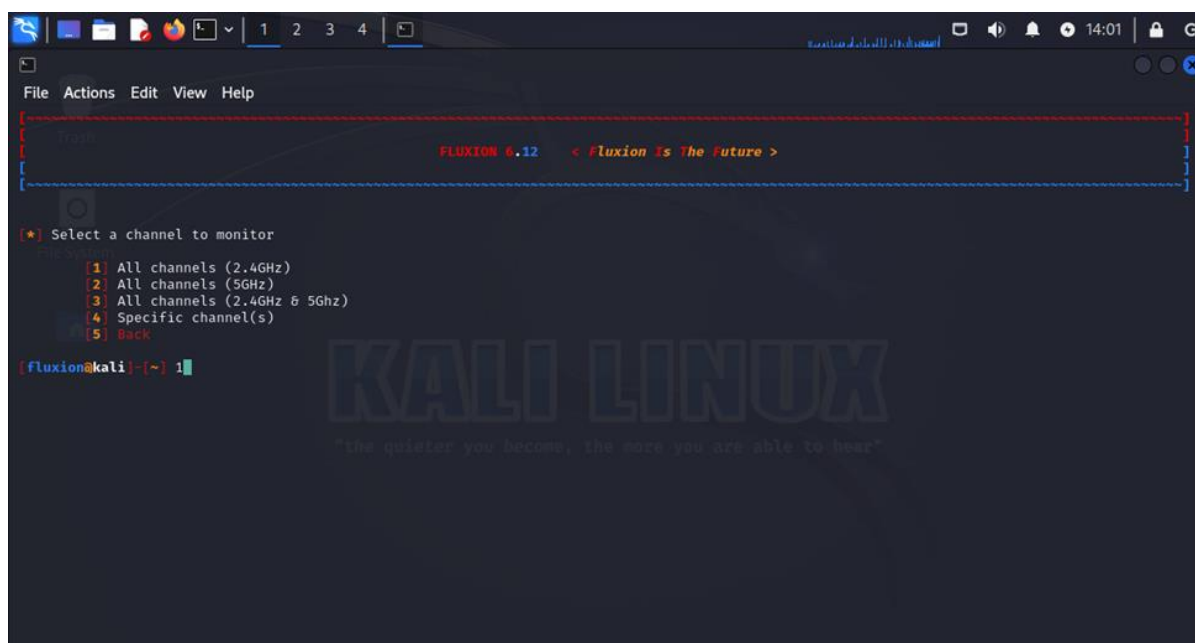


Рис. 4. Выбор канала
Fig. 4. Channel selection

Когда определены все точки доступа на канале, сканирование останавливается и на экран выводится список всех доступных точек и выбирается целевая точка (рис. 5).

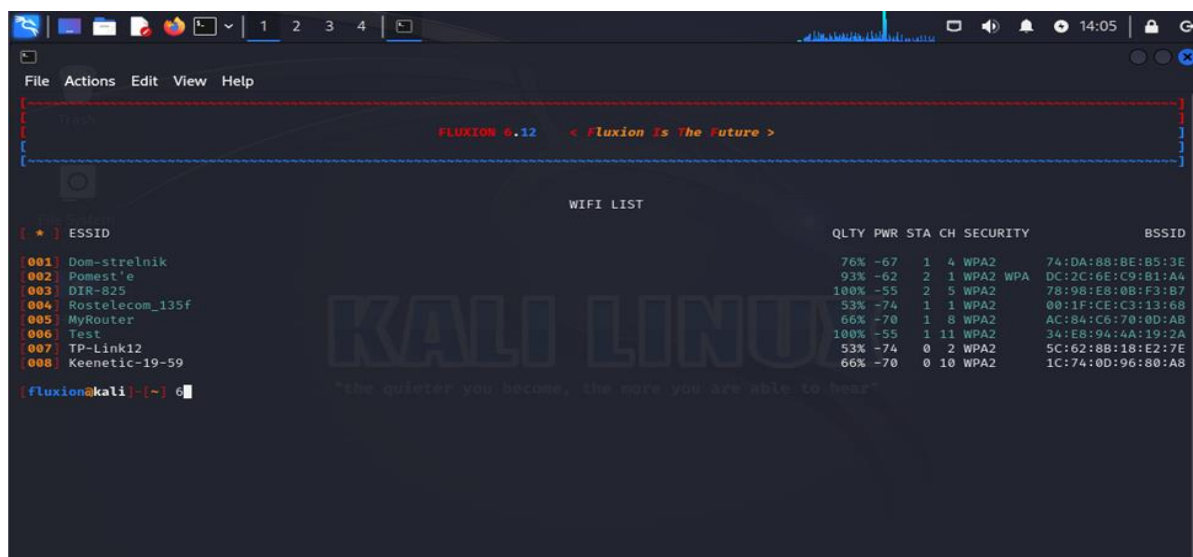


Рис. 5. Выбор целевой точки
Fig. 5. Target point selection

Теперь следует перейти к перехвату хендшейка, для чего необходимо назначить интерфейсы для отслеживания, деаутентификации и перехвата. Затем выбирается метод проверки перехваченного хендшейка (рис. 6).



Рис. 6. Выбор метода проверки перехваченного хендшейка
Fig. 6. Choosing the method of checking the intercepted handshake

После предварительной настройки оборудования можно переходить к запуску перехвата хендшейка посредством подавления целевой точки (рис. 7). Обычно это занимает одну-две минуты.

Хендшейк перехвачен, теперь необходимо сравнить его с введенным пользователем паролем, для этого поднимаем точку-двойник. Пока основная точка заглушена, клиент будет пытаться подключиться к двойнику и введет пароль, который будет сопоставлен с хендшейком.

Выбор второго этапа. Аналогично первому этапу назначаем интерфейсам функции и запускаем точку-двойник. Фейковая точка запущена, ждем подключения к ней пользователя. Тем временем у пользователя отключаются от интернета все клиенты атакуемой точки и

появляется идентичная в доступных сетях [Акапьев, Ковалева, Борисенко, Панарин, 2024], а при попытке подключения к ней выходит уведомление о необходимости ввода пароля (рис. 8).



Рис. 7. Запуск перехвата хендшейка
Fig. 7. Launching the handshake interception

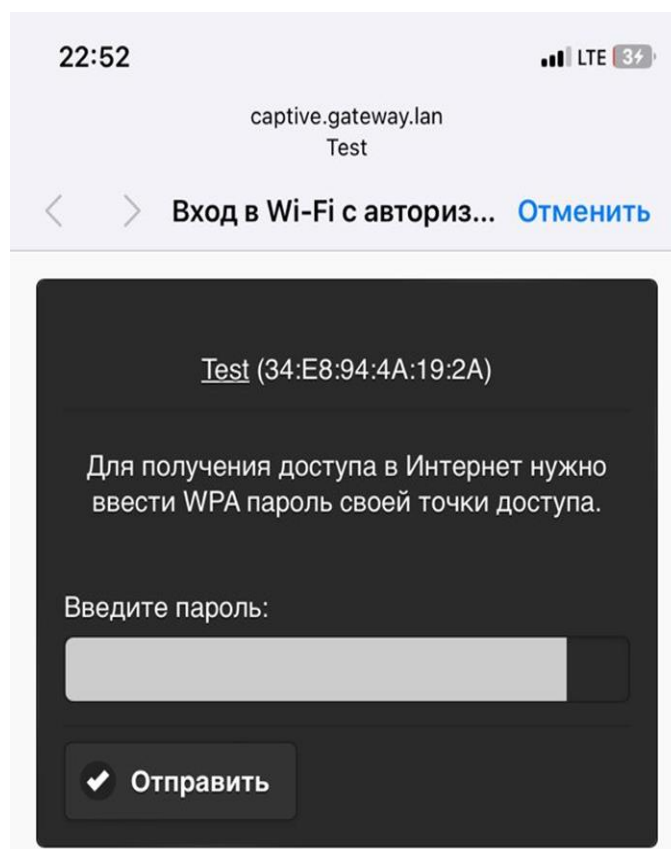


Рис. 8. Уведомление о необходимости ввода пароля
Fig. 8. Notification of the need to enter a password

Когда пароль введен и проверен, он сохраняется в системе (рис. 9).

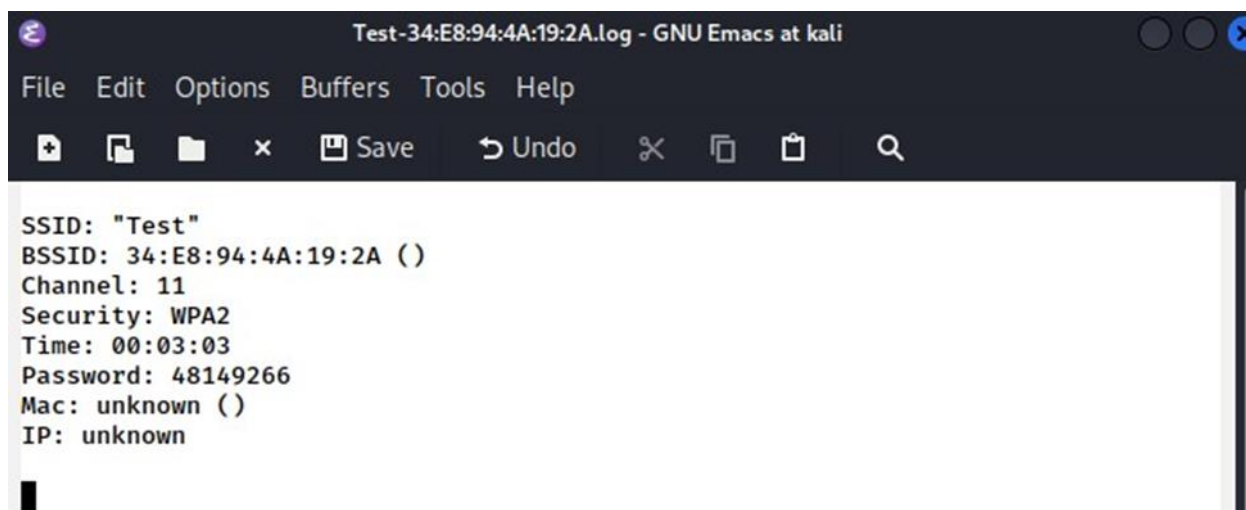


Рис. 9. Сохранение пароля
Fig. 9. Saving the password

Перехват реализован и поставленная учебная задача выполнена.

Заключение

Обеспечение информационной безопасности и противодействие киберпреступности являются непреходящими задачами, о которых в современных условиях забывать нельзя. Безусловно, невозможно защититься от попыток проникновения и воздействия на беспроводные сети на сто процентов, но можно использовать обязательные элементы защиты от атаки по Wi-Fi сети, к которым можно отнести обязательное применение сложных паролей, контроль подключения новых пользователей сети и обновление антивирусной защиты системы.

Но критическим, с точки зрения авторов, является формирование информационно-технологической компетентности специалиста в процессе подготовки его к профессиональной деятельности. В настоящее время реализация указанного процесса практически невозможна без использования обучающих тренажеров и симуляторов.

Предлагаемый авторами вариант эмуляции программного модуля имитации атаки на беспроводную сеть является малозатратным и быстрореализуемым способом демонстрации возможностей использования современных информационных технологий при подготовке сотрудников правоохранительных органов.

Таким образом, наиболее оптимальным вариантом имитации атаки на беспроводную сеть является эмуляция программного модуля симулятора-тренажера. Достигнута поставленная цель и подтверждена гипотеза исследования.

Список литературы

- Акапьев В.Л., Ковалева Е.А., Борисенко А.В., Панарин В.В. 2024. Разработка симулятора атаки на беспроводную сеть. *Вестник Воронежского института ФСИИ России*, 3: 22–34.
- Акапьев В.Л., Савотченко С.Е. 2015. Актуальные проблемы импортозамещения программного обеспечения образовательных организаций в контексте информационной безопасности. *Дистанционное и виртуальное обучение*, 11(101): 113–125.
- В России за январь – июль 2025 года ущерб от IT-преступлений вырос на 16 % и составил почти 120 млрд рублей. – URL: <https://alrf.ru/news/v-rossii-za-yanvar-iyul-2025-goda-ushcherb-ot-it-prestupleniy-vyros-na-16-i-sostavil-pochti-120-mlrd> (дата обращения 07.09.2025).
- Виртуальные тренажеры и эмуляторы. – URL: <https://labstand.ru/catalog/virtualnye-trenazhery-i-emulatory-zashhita-informaczii> (дата обращения 28.09.2025).
- Журавлева В.В., Ткаченко А.Л. 2023. Пентест и его особенности. *Дневник науки*, 11: 83.

- Интерактивная карта киберугроз. – URL: <https://cybermap.kaspersky.com/ru/stats#country=213&type=IDS&period=m> (дата обращения 08.10.2025).
- Abdalla A.S., Tang B., Marojevic V. 2025. AI at the Physical Layer for Wireless Network Security and Privacy. *Artificial Intelligence for Future Networks*, 341–380. DOI:10.1002/9781394227952.ch10
- An Z., Pan J., Wen Y., Zhang F. 2023. Secret handshakes: Full dynamicity, deniability and lattice-based design. *Theoretical Computer Science*, 940(3): 14–35. DOI:10.1016/j.tcs.2022.10.035
- Bodenhausen J., Mangel S., Vogt T., Henze M. 2025. Bidirectional TLS Handshake Caching for Constrained Industrial IoT Scenarios. 2025 IEEE 50th Conference on Local Computer Networks (LCN). 1–10.
- Kumar K.D., Niranjana D.K., Reddy P.P., Himanshu P., Raju K.S., Goud P. 2025. CloudShare: A Passwordless Cloud-Based File Storage and Sharing Framework. In 2025 International Conference on Computing Technologies (ICOCT). 1–6.
- Montañez-Juan M., Forteza-Domenici C., García-Buades M.E., Blahopoulou J., Ortiz-Bonnin S. 2025. Virtual handshakes: team emotional intelligence and digital competences in virtual settings. *Behaviour & Information Technology*, 44(14): 3501–3513. DOI:10.1080/0144929X.2025.2535740
- Perez E.L., Selander G., Mattsson J.P., Watteyne T., Vučinić M. 2024. EDHOC Is a New Security Handshake Standard: An Overview of Security Analysis. *Computer*, 57(9): 101–110.
- Prayatno C., Tohari M., Susilowati T. 2024. The Impact of Using Technology and Innovation in Law Enforcement in the Era of Digitalization. *Jurnal Ekonomi Teknologi dan Bisnis (JETBIS)*, 3(8): 1026–1033.
- Ramadan R. 2022. Internet of things (iot) security vulnerabilities: A review. *PLOMS AI*, 2(1).
- Saha K.K., Ray S., Dasgupta M. 2024. ECMHP: ECC-based secure handshake protocol for multicasting in CCN-IoT environment. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 21(5): 5826–5842.
- Teichmann F.M., Boticiu S.R. 2023. An overview of the benefits, challenges, and legal aspects of penetration testing and red teaming. *International Cybersecurity Law Review*, 4(4): 387–397.
- The 8 Best Virtual Cybersecurity Practice Labs – URL: <https://www.cloudshare.com/blog/cybersecurity-practice-labs> (access data: 01.10.2025).
- Torres-Trujillo J., Meza-Alarcon A.J., Ticona W. 2024. Test and Pentesting Methods for Identifying Vulnerabilities in IoT Devices: A Systematic Review. *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software*, 28–41.
- Yavorsky M.A., Useev R.Z., Kurushin S.A. 2021. Information technologies in law enforcement: Overview of implements and opportunities. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*.
- Zhukabayeva T., Karabayev N., Nurusheva A., Satybaldina D. 2024. A method of vulnerability analysis in wireless internet of things networks for smart city infrastructures. *Scientific Journal of Astana IT University*. Vol. 20. DOI:10.37943/20VPSX8675

References

- Akap'ev V.L., Kovaleva E.A., Borisenko A.V., Panarin V.V. 2024. Razrabotka simuljatora ataki na besprovodnuju set' [Development of a Wireless Network Attack Simulator.] *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia], 3: 22–34.
- Akap'ev V.L., Savotchenko S.E. 2015. Aktual'nye problemy importozameshhenija programmnogo obespechenija obrazovatel'nyh organizacij v kontekste informacionnoj bezopasnosti [Current Issues of Import Substitution of Educational Software in the Context of Information Security]. *Distancionnoe i virtual'noe obuchenie* [Distance and Virtual Learning], 11(101): 113–125.
- V Rossii za janvar'-ijul' 2025 goda ushherb ot IT-prestuplenij vyros na 16 % i sostavil pochti 120 mlrd rublej [In Russia, damage from IT crimes increased by 16 % from January to July 2025, amounting to almost 120 billion rubles]. URL: <https://alrf.ru/news/v-rossii-za-yanvar-iyul-2025-goda-ushcherb-ot-it-prestupleniy-vyros-na-16-i-sostavil-pochti-120-mlrd> (access data: 07.09.2025).
- Virtual'nye trenazhery i jemuljatory [Virtual simulators and emulators]. URL: <https://labstand.ru/catalog/virtualnye-trenazhery-i-emulyatory-zashhita-informaczii> (access data: 28.09.2025).
- Zhuravleva V.V., Tkachenko A.L. 2023. Pentest i ego osobennosti [Pentesting and its features] *Dnevnik nauki* [Science Diary], 11: 83.
- Abdalla A.S., Tang B., Marojevic V. 2025. AI at the Physical Layer for Wireless Network Security and Privacy. *Artificial Intelligence for Future Networks*, 341–380. DOI:10.1002/9781394227952.ch10

- An Z., Pan J., Wen Y., Zhang F. 2023. Secret handshakes: Full dynamicity, deniability and lattice-based design. *Theoretical Computer Science*, 940(3): 14–35. DOI: 10.1016/j.tcs.2022.10.035
- Bodenhausen J., Mangel S., Vogt T., Henze M. 2025. Bidirectional TLS Handshake Caching for Constrained Industrial IoT Scenarios. 2025 IEEE 50th Conference on Local Computer Networks (LCN). 1–10.
- Kumar K.D., Niranjan D.K., Reddy P.P., Himanshu P., Raju K.S., Goud P. 2025. CloudShare: A Passwordless Cloud-Based File Storage and Sharing Framework. In 2025 International Conference on Computing Technologies (ICOCT). 1–6.
- Montañez-Juan M., Forteza-Domenici C., García-Buades M.E., Blahopoulou J., Ortiz-Bonnin S. 2025. Virtual handshakes: team emotional intelligence and digital competences in virtual settings. *Behaviour & Information Technology*, 44(14): 3501–3513. DOI:10.1080/0144929X.2025.2535740
- Perez E.L., Selander G., Mattsson J.P., Watteyne T., Vučinić M. 2024. EDHOC Is a New Security Handshake Standard: An Overview of Security Analysis. *Computer*, 57(9): 101–110.
- Prayatno C., Tohari M., Susilowati T. 2024. The Impact of Using Technology and Innovation in Law Enforcement in the Era of Digitalization. *Jurnal Ekonomi Teknologi dan Bisnis (JETBIS)*, 3(8): 1026–1033.
- Ramadan R. 2022. Internet of things (iot) security vulnerabilities: A review. *PLOMS AI*, 2(1).
- Saha K.K., Ray S., Dasgupta M. 2024. ECMHP: ECC-based secure handshake protocol for multicasting in CCN-IoT environment. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 21(5): 5826–5842.
- Teichmann F.M., Boticiu S.R. 2023. An overview of the benefits, challenges, and legal aspects of penetration testing and red teaming. *International Cybersecurity Law Review*, 4(4): 387–397.
- The 8 Best Virtual Cybersecurity Practice Labs – URL: <https://www.cloudshare.com/blog/cybersecurity-practice-labs> (access data: 01.10.2025).
- Torres-Trujillo J., Meza-Alarcon A.J., Ticona W. 2024. Test and Pentesting Methods for Identifying Vulnerabilities in IoT Devices: A Systematic Review. *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software*, 28–41.
- Yavorsky M.A., Useev R.Z., Kurushin S.A. 2021. Information technologies in law enforcement: Overview of implements and opportunities. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*.
- Zhukabayeva T., Karabayev N., Nurushева A., Satybaldina D. 2024. A method of vulnerability analysis in wireless internet of things networks for smart city infrastructures. *Scientific Journal of Astana IT University*, Vol. 20. DOI:10.37943/20VPSX8675

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 10.10.2025

Поступила после рецензирования 29.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received October 10, 2025

Revised November 29, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борисенко Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности ОВД, Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Акапьев Виктор Львович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности ОВД, Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksander V. Borisenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer at the Department of Information and Computer Technologies in the Activities of the Internal Affairs Directorate, Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Belgorod, Russia

Viktor L. Akapyev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Computer Technologies in the Activities of the Internal Affairs Directorate, Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Belgorod, Russia



Ковалева Екатерина Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности ОВД, Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Новикова Екатерина Анатольевна, кандидат юридических наук, начальник кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности ОВД, Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Ekaterina G. Kovaleva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Computer Technologies in the Activities of the Internal Affairs Directorate, Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Belgorod, Russia

Ekaterina A. Novikova, Candidate of Law Sciences, Head of the Department of Information and Computer Technologies in the Activities of the Internal Affairs Directorate, Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Belgorod, Russia

УДК 004.4:336.7

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-887-896

EDN SBZJQE

ИИ-ассистент для моделирования арбитражных стратегий в финансах: архитектура, математическая модель и дидактический потенциал

Леонов М.В., Брычкина М.С.

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
Россия, 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7
leonov@istu.ru

Аннотация. Целью исследования является преодоление разрыва между теоретической подготовкой и практическими требованиями к современным финансистам путем проектирования архитектуры специализированного ИИ-ассистента для моделирования арбитражных стратегий. В качестве методологической основы предлагается модульная архитектура системы, интегрирующая сбор рыночных данных, аналитическое ядро, симулятор торгов и диалоговый интерфейс. Ключевым элементом является математическая модель генерации адаптивных учебных сценариев на основе парадигмы обучения с подкреплением, где ИИ-ассистент выступает в роли мета-агента, динамически настраивающего сложность среды под уровень студента. Наиболее важные результаты включают формализованную архитектуру системы, дидактическую модель, обеспечивающую глубокое погружение в предметную область, и критерии оценки педагогической эффективности. Значение работы заключается в создании научно-технического основания для персонализированного практико-ориентированного обучения, способного кардинально повысить качество подготовки кадров для цифровой экономики.

Ключевые слова: ИИ-ассистент, модульная архитектура, арбитражная стратегия, финансовое моделирование, адаптивная обучающая система

Для цитирования: Леонов М.В., Брычкина М.С. 2025. ИИ-ассистент для моделирования арбитражных стратегий в финансах: архитектура, математическая модель и дидактический потенциал. *Экономика. Информатика*, 52(4): 887–896. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-887-896; EDN SBZJQE

AI Assistant for Simulating Arbitrage Strategies in Finance: Architecture, Mathematical Model, and Didactic Potential

Mikhail V. Leonov, Marya S. Brychkina

M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University
7 Studencheskaya St., Izhevsk 420069, Udmurt Republic, Russia
leonov@istu.ru

Abstract. This research addresses the critical gap between theoretical knowledge and practical skills in modern financial education by designing a specialized AI assistant for simulating arbitrage strategies. The study aims to develop a comprehensive solution that moves beyond traditional static teaching methods. The proposed methodology is based on a modular system architecture that integrates real-time data collection, an analytical core for identifying opportunities, a trading simulator, and an AI-powered dialog interface for feedback. A key innovation is the application of a reinforcement learning model, where the AI assistant acts as a meta-agent, dynamically adapting the complexity of the market simulation to the student's proficiency level. The main results include the formalized architecture of the system and a set of criteria for evaluating its pedagogical effectiveness. The study concludes that the implemented AI assistant creates an

© Леонов М.В., Брычкина М.С., 2025

intelligent learning environment capable of providing personalized, hands-on training, thereby significantly enhancing the quality of future financiers' preparation for the digital economy.

Keywords: AI Assistant, modular architecture, arbitrage strategy, financial modeling, adaptive learning system

For citation: Leonov M.V., Brychkina M.S. 2025. AI Assistant for Simulating Arbitrage Strategies in Finance: Architecture, Mathematical Model, and Didactic Potential. *Economics. Information technologies*, 52(4): 887–896 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-887-896; EDN SBZJQE

Введение

Современное высшее финансовое образование сталкивается с комплексом взаимосвязанных вызовов, обусловленных как глобальными трендами цифровизации экономики, так и внутренней спецификой развития финансового сектора. Ключевыми проблемами являются необходимость оперативной адаптации учебных программ к стремительно меняющимся условиям цифровой экономики, международным санкционным реалиям и глубинной трансформации финансовых рынков [Абраменко, 2024; Синь, 2024]. Традиционная лекционно-семинарская модель, сохраняющая доминирующие позиции во многих российских вузах, демонстрирует растущее отставание от динамики предметной области и зачастую не способна обеспечить формирование у студентов практических компетенций и прикладных навыков, реально востребованных работодателями [Воробьева, 2024, Singun, 2025]. Возникает устойчивый институциональный разрыв между теоретической подготовкой и практическими задачами, такими как построение финансовых моделей в условиях макроэкономической нестабильности, анализ неструктурированных данных или принятие инвестиционных решений при ограниченном доступе к глобальным информационным ресурсам и аналитическим платформам.

Особую актуальность данной теме придает тот факт, что современное поколение студентов еще со школьной скамьи активно и в большинстве случаев бессистемно использует публичные ИИ-инструменты для подготовки домашних заданий, решения задач и выполнения творческих работ [Галагузова, Перекальский, 2024]. Это стихийное нерегламентированное применение формирует у них навыки поверхностного взаимодействия с искусственным интеллектом и создает серьезные риски академической недобросовестности, что ставит преподавателей перед стратегическим выбором: продолжать запретительную политику в отношении новых технологий или создать принципиально новую педагогическую модель их легитимного и эффективного использования в образовательном процессе [Heung, Chiu, 2025; Naque, Li, 2025].

В контексте данного исследования указанные системные вызовы наиболее остро проявляются при изучении специализированных разделов финансовых дисциплин, таких как, например, арбитраж на финансовых рынках. Арбитражные стратегии, требующие глубокого понимания микроструктуры рынка, алгоритмической торговли и анализа больших объемов данных в режиме, близком к реальному времени, практически не поддаются эффективному освоению в рамках традиционных форматов [Berlinger et al., 2025]. Существующие текстовые наборы учебных задач, как правило, не обладают необходимой гибкостью, реализмом и аналитической глубиной для адекватного моделирования быстротекущих арбитражных возможностей [Tzirides et al., 2024]. В результате студенты лишены возможности безопасно отрабатывать и закреплять соответствующие компетенции, что делает данный раздел учебной программы одним из наименее проработанных в практическом отношении.

Проблема исследования заключается в противоречии между объективной необходимостью формирования у будущих финансистов практических навыков анализа и исполнения арбитражных стратегий и отсутствием в образовательном процессе адаптивных, реалистичных и дидактически выверенных инструментов, которые бы не только моделировали рыночную среду, но и интеллектуально поддерживали процесс обучения.

Целью исследования является преодоление противоречия путем проектирования архитектуры ИИ-ассистента, предназначенного для моделирования арбитражных стратегий в преподавании финансовых дисциплин.

В настоящее время изучение арбитражных стратегий получает новый импульс благодаря развитию нового класса финансовых активов – криптовалют и криптоактивов [Marei, 2023]. Децентрализованная природа крипторынка, характеризующаяся фрагментарной ликвидностью, одновременным существованием множества торговых площадок (как централизованных, так и децентрализованных бирж) и высокой волатильностью, создает перманентно существующий широкий спектр арбитражных возможностей. В отличие от традиционных финансовых рынков, где классические пространственные арбитражные окна практически мгновенно закрываются высокочастотными алгоритмами, криптографический рынок в силу своей архитектурной незрелости и продолжающегося процесса институционализации демонстрирует более продолжительные ценовые диспропорции [Алешина, Булгаков, 2022]. Это позволяет рассматривать криптоактивы как уникальный полигон для отработки и исследования арбитражных стратегий различных типов – от простого пространственного арбитража между биржами до более сложных форм, таких как триангуляционный арбитраж на децентрализованных биржах с использованием смарт-контрактов, что открывает перед образовательным процессом новые методические перспективы.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- провести анализ предметной области и сформулировать функциональные требования к ИИ-ассистенту, ориентированному на образовательные задачи;
- разработать модульную архитектуру системы, интегрирующую блоки сбора данных, аналитики, симуляции торгов и диалоговой поддержки на основе ИИ;
- описать дидактический потенциал системы и ожидаемые педагогические результаты ее внедрения.

Формализация задачи моделирования арбитражной стратегии

Арбитраж представляет собой финансовую операцию, целью которой является получение безрисковой прибыли путем одновременной покупки и продажи одного и того же актива (или экономически эквивалентных активов) на разных рынках или в разных формах в условиях ценового дисбаланса [Huberman, Wang, 2017]. Существование арбитражных возможностей свидетельствует о невыполнении гипотезы об эффективности финансовых рынков, что может быть вызвано асимметрией информации, задержками в распространении данных или институциональными ограничениями [Проскураков, 2019].

В контексте разработки ИИ-ассистента арбитражная стратегия определяется как формализованный набор правил и алгоритмов для идентификации, оценки и реализации арбитражных возможностей. Ключевые компоненты арбитражной стратегии представлены в табл. 1.

Для описания принципа работы ИИ-ассистента рассмотрим модель классического пространственного арбитража для идентичного финансового актива, торгуемого на двух финансовых площадках А и В. Учебная задача в данной постановке заключается в обнаружении ценовой диспропорции и оценке экономической целесообразности ее использования.

Пусть в момент времени t цены актива на площадках А и В составляют P_t^A и P_t^B соответственно. Абсолютный ценовой спред $Spread_t$ вычисляется как:

$$Spread_t = |P_t^A - P_t^B|.$$

Чистая прибыль π_t от арбитражной операции определяется с учетом совокупных транзакционных издержек C (например, комиссии бирж, плата за вывод средств, сетевые комиссии):

$$\pi_t = Spread_t - C.$$

Таблица 1
Table 1

Ключевые компоненты арбитражной стратегии
Key Components of an Arbitrage Strategy

№	Компонент стратегии	Содержание и функциональное назначение
1	Критерии обнаружения неэффективности рынка	математические условия, при которых разница в ценах становится статистически значимой и экономически целесообразной для извлечения прибыли
2	Модель управления рисками	система ограничений и параметров, учитывающая транзакционные издержки, валютные риски, риск ликвидности, временной риск исполнения сделок
3	Механизм исполнения сделок	алгоритм одновременного открытия и закрытия позиций, учитывающий объем операций, временные интервалы и технологические ограничения
4	Система мониторинга и адаптации	процедуры постоянного отслеживания эффективности стратегии и её корректировки в условиях изменяющейся рыночной конъюнктуры

Источник: составлено авторами

Условие совершения арбитражной сделки формализуется неравенством:

$$\pi_t > \Theta,$$

где Θ – порог прибыльности, который может быть статическим или динамическим параметром, зависящим, например, от стоимости капитала r .

Таким образом, в рамках учебной симуляции от студента требуется не только идентифицировать ценовой спред *Spread*, но и провести комплексную оценку чистой прибыльности операции π_t , оперативно управляя параметрами издержек C и порога прибыльности Θ в условиях непрерывного потока рыночных данных.

Модель генерации учебных сценариев

Ключевой функциональной возможностью проектируемого ИИ-ассистента является генерация и адаптация учебных сценариев в режиме реального времени. Для реализации этой задачи предлагается использование модели, основанной на парадигме обучения с подкреплением [Memarian, Doleck, 2024; Riedmann et al., 2025], где взаимодействие студента с ИИ-ассистентом формализуется как марковский процесс принятия решений [Еремеев, Подогов, 2008]. В контексте обучения с подкреплением среда представляет собой имитационную модель финансового рынка, агентом является студент, осуществляющий торговые операции, а мета-агентом выступает ИИ-ассистент, управляющий сложностью и параметрами среды. Формальная модель описывается классическим кортежем, приведенным в табл. 2.

Адаптивная сложность сценария достигается за счет модификации параметров среды ИИ-ассистентом, который стремится максимизировать совокупное вознаграждение студента в долгосрочной перспективе. Политика ИИ-ассистента $\pi_t(s_t / a_t)$ определяет, какие рыночные условия s_t генерировать в ответ на текущий уровень компетенций студента.

Предложенная модель обладает значительным дидактическим потенциалом за счет возможности тонкой настройки функции вознаграждения. Преподаватель может динамически корректировать весовые коэффициенты α и β , смещая фокус обучения студента. Например, на начальном этапе доминирующий вес α позволяет акцентировать внимание на механике выявления и реализации арбитражных возможностей. По мере роста компетенций студента вес β , отвечающий за управление рисками, может быть увеличен, моделируя работу в условиях

повышенной волатильности или низкой ликвидности, что характерно для крипторынка. Такой подход позволяет реализовать принцип постепенного усложнения учебных задач в рамках индивидуальной образовательной траектории.

Таблица 2
Table 2

Формальная модель взаимодействия студента и ИИ-ассистента
Formal Model of the Student-AI Assistant Interaction

Компонент модели	Обозначение	Описание и составляющие элементы
Пространство состояний среды	$s_t \in S$	Совокупность данных, специфичных для криптовалютного рынка: временные ряды цен пар криптовалют, комиссии в сети блокчейнов, текущие открытые арбитражные позиции на различных площадках, рыночные показатели торговой активности.
Пространство действий студента	$a_t \in A$	Множество доступных студенту операций с учетом специфики криптоактивов: пространственный арбитраж, расчет и хеджирование риска, установка параметров проскальзывания, корректировка порога прибыльности.
Функция вознаграждения	$R(s_t, a_t)$	Скалярная функция, комплексно оценивающая эффективность действия студента в условиях крипторынка: $R(s_t, a_t) = \alpha * \pi_t(s_t, a_t) - \beta * Risk(s_t)$, где $\pi_t(s_t, a_t)$ – реализованная прибыль, $Risk(s_t)$ – метрика риска, включающая просадку и риск ликвидности, α, β – весовые коэффициенты, смещающие фокус обучения между доходностью и риск-менеджментом.

Источник: составлено авторами

Модульная архитектура ИИ-ассистента для моделирования арбитражных стратегий

Для реализации образовательных задач в области арбитража на криптовалютном рынке была разработана модульная архитектура ИИ-ассистента. Архитектура спроектирована как система взаимосвязанных сервисов [Thaiya et al., 2023; Çelik, 2024], обеспечивающих полный цикл обучения: от сбора данных до интеллектуального анализа результатов студента. Общая схема архитектуры ИИ-ассистента представлена на рис. 1.

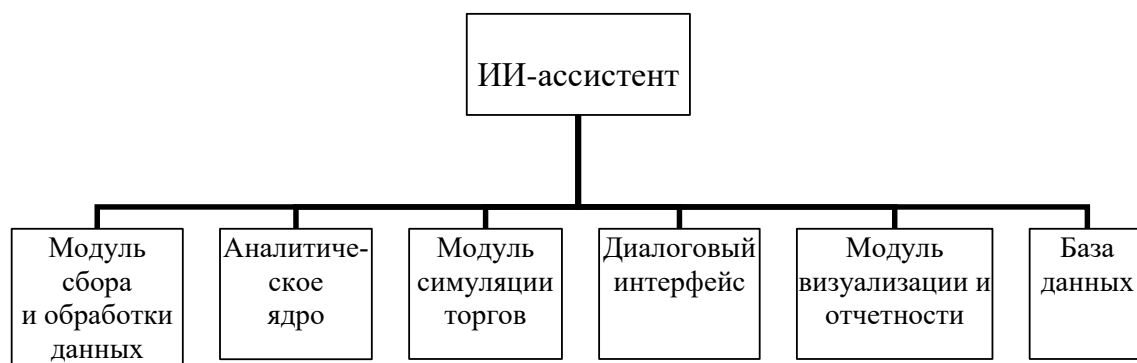


Рис. 1. Модульная архитектура ИИ-ассистента
Fig. 1. General Architecture of the AI Assistant

Модуль сбора и обработки данных отвечает за получение и первичную нормализацию рыночной информации из множества гетерогенных источников. Модуль выполняет очистку

данных от аномалий, синхронизацию временных меток, приведение к единому формату и обогащение данных базовыми индикаторами.

Аналитическое ядро является центральным модулем системы, реализующим интеллектуальные функции. Входящий в него блок обнаружения арбитражных возможностей на основе поступающих данных в реальном времени вычисляет потенциально прибыльные сценарии. Блок управления рисками оценивает потенциальные риски стратегий, введенных студентом. Блок адаптивной генерации сценариев, используя подходы машинного обучения, динамически корректирует сложность учебной среды: ИИ-ассистент получает состояние среды, характеризующее текущую успеваемость студента (историческая прибыльность, типичные ошибки), и выбирает действие, изменяя параметры рынка для максимизации учебного эффекта.

Модуль симуляции торгов представляет собой изолированную среду для исполнения виртуальных сделок. Модуль эмулирует порядок выставления и исполнения ордеров на подключенных биржах, ведет учет виртуального портфеля студента и рассчитывает прибыли и убытки.

Диалоговый интерфейс обеспечивает естественное взаимодействие, позволяя системе объяснять причины возникновения конкретной арбитражной возможности, анализировать ошибки студента, допущенные в ходе симуляции, давать теоретические справки.

Модуль визуализации и отчетности предоставляет студенту и преподавателю инструменты для анализа результатов. В данном модуле приводится визуализация графиков цен с отмеченными точками входа/выхода, отображение динамики изменения портфеля, формирование детальных отчетов по эффективности стратегии.

Данная архитектура позволяет создать замкнутый контур обучения, где каждый модуль вносит вклад в достижение основной цели – формирование у студента устойчивых практических навыков в области арбитражного трейдинга. Таким образом, архитектура представляет собой целостную систему, которая не только моделирует рыночную среду, но и активно способствует обучающему процессу за счет адаптивности и интеллектуальной обратной связи, что выводит практическую подготовку финансистов на качественно новый уровень.

Ожидаемые результаты и критерии оценки педагогической эффективности

Ожидаемая педагогическая эффективность системы определяется ее способностью преодолевать ключевые ограничения традиционных методов обучения за счет обеспечения глубокого погружения в предметную область, адаптивности и непрерывной интеллектуальной поддержки [Chigbu, 2023; Канатьев, 2024]. В отличие от решения статических учебных задач, работа с ИИ-ассистентом позволяет студенту действовать в динамичной, приближенной к реальности среде. Это способствует формированию не разрозненных знаний, а целостного навыка, включающего идентификацию арбитражной возможности, оценку ее риск-профиля, оперативное исполнение сделок и последующий анализ результатов. Студент учится работать с «шумными» данными, учитывать транзакционные издержки и управлять капиталом в условиях неопределенности, что напрямую соответствует требованиям современных финансовых работодателей.

Способность системы генерировать учебные сценарии сложности, адекватной текущему уровню подготовки студента, позволяет индивидуализировать образовательный процесс. Начинающий участник может отрабатывать базовые стратегии пространственного арбитража в упрощенных условиях, в то время как продвинутый студент – переходить к сложным формам с повышенным уровнем волатильности и риска ликвидности. Это предотвращает ситуации как чрезмерной когнитивной нагрузки, так и учебной стагнации.

Диалоговый интерфейс и система развернутой обратной связи стимулируют рефлексию. Студент не просто фиксирует прибыль или убыток, но и получает от ИИ-ассистента объяснение причинно-следственных связей: почему стратегия сработала или

оказалась убыточной, какие факторы риска не были учтены, как можно оптимизировать алгоритм. Это формирует способность к самоанализу и критической оценке собственных действий, что является ключевым метапредметным навыком.

Критерии оценки эффективности внедрения ИИ-ассистента предлагается разделить на две группы: критерии оценки учебных достижений студентов и критерии оценки функционирования самой системы (табл. 3). Комплексная оценка эффективности предлагаемого решения будет включать как объективные количественные данные о прогрессе студентов, так и качественный анализ функционирования системы и обратной связи от всех участников образовательного процесса.

Таблица 3
Table 3

Критерии оценки эффективности внедрения ИИ-ассистента в образовательный процесс
Criteria for Evaluating the Effectiveness of AI Assistant Introduction in the Educational Process

Учебные достижения студентов	Функционирование ИИ-ассистента
1. Динамика итогового вознаграждения в симуляциях	1. Адекватность адаптации
2. Коэффициент Шарпа и другие метрики риск-менеджмента	2. Качество и полезность обратной связи
3. Сложность успешно реализуемых стратегий	3. Стабильность и реалистичность симуляции
4. Данные рефлексии и самооценки	4. Удовлетворенность пользователей

Ожидаемые педагогические результаты внедрения ИИ-ассистента включают:

- глубокое понимание рыночной микроструктуры через возможность изучать реальные механизмы формирования цен и ликвидности на различных торговых площадках;
- формирование устойчивых навыков управления рисками, так как система в реальном времени рассчитывает и визуализирует их влияние;
- развитие алгоритмического мышления благодаря необходимости формализации стратегии в виде набора правил и параметров;
- снижение когнитивных искажений (например, чрезмерной уверенности) за счет возможности наблюдать статистику успехов и неудач в безопасной среде. Многократное повторение симуляций способствует формированию более объективной оценке собственных возможностей.

Таким образом, предлагаемый ИИ-ассистент представляет собой не просто симулятор, а комплексную интеллектуальную образовательную среду, способную кардинально повысить качество практической подготовки специалистов для работы на современных финансовых рынках.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую актуальность и практическую значимость проектирования ИИ-ассистента для моделирования арбитражных стратегий при преподавании финансовых дисциплин. Разработанная модульная архитектура системы, интегрирующая сбор данных, аналитическое ядро, симулятор торгов и диалоговый интерфейс, позволяет преодолеть ключевой разрыв между теоретической подготовкой и практическими требованиями к современным финансистам. Научная новизна работы заключается в систематизации требований к подобным системам и междисциплинарном синтезе, что создает основу для персонализированного и глубоко практико-ориентированного обучения.

Внедрение предложенного ИИ-ассистента в образовательный процесс позволит повысить качество подготовки студентов финансовых дисциплин. Применение ИИ-ассистента не только сформирует устойчивые навыки анализа и исполнения арбитражных стратегий, но и будет способствовать развитию критически важных компетенций: алгоритмического мышления, управления рисками и системного понимания рыночной микроструктуры. Адаптивный характер обучения, обеспечиваемый замкнутым контуром взаимодействия с интеллектуальным ассистентом, может привести к более глубокому усвоению материала и снижению когнитивных искажений. В перспективе предполагается расширение предметной области на другие классы финансовых стратегий, углубление интеллектуальных функций за счет использования передовых методов ИИ, а также в проведении масштабного педагогического эксперимента для валидации эффективности ИИ-ассистента.

Список литературы

- Абраменко Н.Ю. 2024. Использование нейросети в системе обучения в высшей школе. *Современное педагогическое образование*, 10: 167–172.
- Алешина А.В., Булгаков А.Л. 2022. Децентрализованные финансы (DeFi): риски, перспективы и регулирование. *Финансовые рынки и банки*, 12: 23–28.
- Воробьева М.В. 2024. Применение нейросетей в образовательном процессе: примеры, возможности и риски. *Педагогическое образование и наука*, 3: 102–108. <https://doi.org/10.56163/2072-2524-2024-3-102-107>.
- Галагузова Ю.Н., Перекальский И.Н. 2024. Искусственный интеллект на уроках информатики: вызовы и реальность. *Педагогическое образование в России*, 4: 112–118.
- Еремеев А.П., Подогов И.Ю. 2008. Обобщенный метод иерархического подкрепленного обучения для интеллектуальных систем поддержки принятия решений. *Программные продукты и системы*, 2: 35–39.
- Канатьев П.В. 2024. Применение нейросетей в образовательном процессе среднего и высшего профессионального образования. *Проблемы современного педагогического образования*, 84(4): 67–69.
- Проскуряков И.М. 2019. Особенности отдельных видов арбитража и типология арбитражных стратегий. *Инновации и инвестиции*, 1: 116–121.
- Синь В. 2024. Искусственный интеллект как фактор модернизации высшего образования в современном Китае. *Труды БГТУ. Сер. 6, История, философия*: 1(281): 155–163. <https://doi.org/10.52065/2520-6885-2024-281-29>.
- Berlinger E., Domotor B., Megyeri K., Walter G. 2025. Financial literacy of finance students: a behavioral gender gap. *International Journal of Educational Management*, 39(8): 116–133. <https://doi.org/10.1108/IJEM-04-2024-0221>
- Celik T. 2024. AI-Driven Production in Modular Architecture: An Examination of Design Processes and Methods. *Computer and Decision Making: An International Journal*, 1: 320–339. <https://doi.org/10.59543/comdem.v1i.10825>
- Chigbu B. I., Ngwevu V., Jojo A. 2023. The effectiveness of innovative pedagogy in the industry 4.0: Educational ecosystem perspective. *Social Sciences & Humanities Open*, 7(1): 100419. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100419>
- Haque M.A., Li S. 2025. Exploring ChatGPT and its impact on society. *AI and Ethics*, 5(2): 791–803. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00435-4>
- Heung Y.M.E., Chiu T.K.F. 2025. How ChatGPT impacts student engagement from a systematic review and meta-analysis study. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8: 100361. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100361>
- Huberman G., Wang Z. 2017. Arbitrage pricing theory. *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan, London: 197–205. https://doi.org/10.1007/978-1-349-58802-2_53
- Marei Y., Almasarwah A., Bahloul M., Afifa M. 2023. Cryptocurrencies in accounting schools? *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 13(6): 1158–1173. <https://doi.org/10.1108/HESWBL-12-2022-0284>
- Memarian B., Doleck T. 2024. A scoping review of reinforcement learning in education. *Computers and Education Open*, 6: 100175. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100175>

- Riedmann A., Schaper P., Lugin B. 2025. Reinforcement learning in education: A systematic literature review. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1: 1–55. <https://doi.org/10.1007/s40593-025-00494-6>
- Singun A.J. 2025. Unveiling the barriers to digital transformation in higher education institutions: a systematic literature review. *Discover Education*, 4(1): 37. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00430-9>
- Thaiya M.S., Julia K., Mbugua S. 2022. On software modular architecture: concepts, metrics and trends. *International Journal of Computer and Organization Trends*, 12(1): 3–10.
- Tzirides A.O.O. 2024. Combining human and artificial intelligence for enhanced AI literacy in higher education. *Computers and Education Open*, 6: 100184. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100184>

References

- Abramenko N.Yu. 2024. Ispol'zovanie neiroseti v sisteme obucheniya v vysshei shkole [The Use of Neural Networks in the Higher Education System]. *Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie*, 10: 167–172.
- Alyoshina A.V., Bulgakov A.L. 2022. Decentralizovannyye finansy (DeFi): riski, perspektivy i regulirovanie [Decentralized Finance (DeFi): Risks, Prospects and Regulation]. *Finansovye rynki i banki*, 12: 23–28.
- Vorobyeva M.V. 2024. Primenenie neirosetei v obrazovatel'nom protsesse: primery, vozmozhnosti i riski [The Use of Neural Networks in the Educational Process: Examples, Opportunities and Risks]. *Pedagogicheskoe obrazovanie i nauka*, 3: 102–108. <https://doi.org/10.56163/2072-2524-2024-3-102-107>.
- Galaguzova Yu.N., Perekalsky I.N. 2024. Iskusstvennyi intellekt na urokakh informatiki: vyzovy i real'nost' [Artificial Intelligence in Computer Science Lessons: Challenges and Reality]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*, 4: 112–118.
- Yeremeyev A.P., Podogov I.Yu. 2008. Obobshchennyy metod ierarkhicheskogo podkreplennogo obucheniya dlya intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii [A Generalized Method of Hierarchical Reinforcement Learning for Intelligent Decision Support Systems]. *Programmye produkty i sistemy*, 2: 35–39.
- Kanat'ev P.V. 2024. Primenenie neirosetei v obrazovatel'nom protsesse srednego i vysshego professional'nogo obrazovaniya [The Use of Neural Networks in the Educational Process of Secondary and Higher Professional Education]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 84(4): 67–69.
- Proskuryakov I.M. 2019. Osobennosti otdel'nykh vidov arbitrazha i tipologiya arbitrazhnykh strategii [Features of Certain Types of Arbitrage and Typology of Arbitrage Strategies]. *Innovatsii i investitsii*, 1: 116–121.
- Sin V. 2024. Iskusstvennyi intellekt kak faktor modernizatsii vysshego obrazovaniya v sovremennom Kitae [Artificial Intelligence as a Factor in the Modernization of Higher Education in Modern China]. *Trudy BSTU. Ser. 6, Istoriya, filosofiya*: 1(281): 155–163. <https://doi.org/10.52065/2520-6885-2024-281-29>.
- Berlinger E., Domotor B., Megyeri K., Walter G. 2025. Financial literacy of finance students: a behavioral gender gap. *International Journal of Educational Management*, 39(8): 116–133. <https://doi.org/10.1108/IJEM-04-2024-0221>
- Celik T. 2024. AI-Driven Production in Modular Architecture: An Examination of Design Processes and Methods. *Computer and Decision Making: An International Journal*, 1: 320–339. <https://doi.org/10.59543/comdem.v1i.10825>
- Chigbu B.I., Ngwevu V., Jojo A. 2023. The effectiveness of innovative pedagogy in the industry 4.0: Educational ecosystem perspective. *Social Sciences & Humanities Open*, 7(1): 100419. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100419>
- Haque M.A., Li S. 2025. Exploring ChatGPT and its impact on society. *AI and Ethics*, 5(2): 791–803. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00435-4>
- Heung Y.M.E., Chiu T.K.F. 2025. How ChatGPT impacts student engagement from a systematic review and meta-analysis study. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8: 100361. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100361>
- Huberman G., Wang Z. 2017. Arbitrage pricing theory. *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan, London: 197–205. https://doi.org/10.1007/978-1-349-58802-2_53
- Marei Y., Almasarwah A., Bahloul M., Afifa M. 2023. Cryptocurrencies in accounting schools? *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 13(6): 1158–1173. <https://doi.org/10.1108/HESWBL-12-2022-0284>
- Memarian B., Doleck T. 2024. A scoping review of reinforcement learning in education. *Computers and Education Open*, 6: 100175. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100175>



- Riedmann A., Schaper P., Lugin B. 2025. Reinforcement learning in education: A systematic literature review. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1: 1–55. <https://doi.org/10.1007/s40593-025-00494-6>
- Singun A.J. 2025. Unveiling the barriers to digital transformation in higher education institutions: a systematic literature review. *Discover Education*, 4(1): 37. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00430-9>
- Thaiya M.S., Julia K., Mbugua S. 2022. On software modular architecture: concepts, metrics and trends. *International Journal of Computer and Organization Trends*, 12(1): 3–10.
- Tzirides A.O.O. 2024. Combining human and artificial intelligence for enhanced AI literacy in higher education. *Computers and Education Open*, 6: 100184. <https://doi.org/10.1016/j.cao.2024.100184>

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 14.10.2025

Поступила после рецензирования 25.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received October 14, 2025

Revised November 25, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Леонов Михаил Витальевич, доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Программное обеспечение», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

Брычкина Мария Сергеевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail V. Leonov, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Software, M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

Marya S. Brychkina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Software, M.T. Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

УДК 004.89
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-897-927
EDN SFNWSH

Обзор методов машинного обучения в протезировании

¹Арсёнов А.В., ²Моракс В.Д., ^{2,3}Донская А.Р., ²Ломакин А.С.

¹Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Россия, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14

²Волгоградский государственный технический университет

Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28

³Волгоградский государственный медицинский университет Минздрава России

Россия, 400066, г. Волгоград, пл. Павших Борцов, 1

al.arsenov@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является анализ современных методов машинного обучения для обработки электромиографических (ЭМГ) сигналов, применяемых в управлении технологичными протезами. Исследование направлено на сравнение эффективности классических и нейросетевых подходов, оценку их точности и выявление ключевых факторов, влияющих на результаты. В статье проведён обзор существующих исследований, посвящённых обработке ЭМГ-сигналов с использованием машинного обучения. Рассмотрены популярные наборы данных (например, NinaPro), а также различные методы обработки сигналов: классические (LDA, KNN) и современные нейросетевые архитектуры (EMGHandNet, CNN-RNN и др.). Особое внимание уделено сравнительному анализу точности моделей в зависимости от используемых данных, архитектур и параметров методов. Анализ показал, что современные нейросетевые модели (ConTraNet, CNN-RNN) демонстрируют более высокую точность по сравнению с классическими методами (SVM, LDA, RF и др.), однако их эффективность сильно зависит от качества и разнообразия данных. Выявлены ограничения, связанные с недостаточным тестированием на различных наборах данных, что указывает на необходимость стандартизации экспериментов. Также подтверждена важность предварительной обработки сигналов и качества ЭМГ-датчиков для достижения стабильных результатов. Применение методов машинного обучения, особенно нейросетевых архитектур, перспективно для создания более точных и адаптивных протезов. Однако для дальнейшего развития технологии требуется решение проблем универсализации моделей, расширения тестовых данных и улучшения их качества. Дополнительные исследования должны быть направлены на интеграцию систем в реальные условия эксплуатации и повышение интерпретируемости результатов.

Ключевые слова: машинное обучение в протезировании, электромиографические сигналы, нейронные сети, управление протезами, обработка ЭМГ-сигналов

Для цитирования: Арсёнов А.В., Моракс В.Д., Донская А.Р., Ломакин А.С. 2025. Обзор методов машинного обучения в протезировании. *Экономика. Информатика*, 52(4): 897–927. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-897-927; EDN SFNWSH

Overview of Machine Learning Methods in Prosthetics

¹Aleksei V. Arsenov, ²Viktor D. Moraks, ^{2,3}Anastasia R. Donskaia, ²Arseniy S. Lomakin

¹National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

14 Krasnokazarmennaya St., Moscow 111250, Russia

²Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia

³Volgograd State Medical University of Public Health Ministry of the Russian Federation

1 Pavshikh Bortsov Sq., Volgograd 400131, Russia

al.arsenov@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to analyze modern machine learning methods for processing electromyographic (EMG) signals used in the control of advanced prosthetics. The study aims to compare the

effectiveness of classical and neural network approaches, evaluate their accuracy, and identify key factors influencing the results. The article provides a review of existing research dedicated to the processing of EMG signals using machine learning. Popular datasets (e.g., NinaPro) as well as various signal processing methods were reviewed: classical ones (LDA, KNN) and modern neural network architectures (EMGHandNet, CNN-RNN, etc.). Special attention is given to the comparative analysis of model accuracy depending on the used data, architectures, and method parameters. The analysis showed that modern neural network models (ConTraNet, CNN-RNN) demonstrate higher accuracy compared to classical methods (SVM, LDA, RF, etc.), however, their effectiveness heavily depends on the quality and diversity of the data. Limitations have been identified related to insufficient testing on various datasets, indicating the need for standardization of experiments. The importance of signal preprocessing and the quality of EMG sensors for achieving stable results has also been confirmed. The application of machine learning methods, especially neural network architectures, is promising for creating more accurate and adaptive prosthetics. However, further development of the technology requires addressing the issues of model generalization, expanding test data, and improving their quality. Additional research should focus on integrating systems into real-world operating conditions and improving the interpretability of results.

Keywords: machine learning in prosthetics, electromyographic signals, neural networks, prosthetic control, EMG signal processing

For citation: Arsenov A.V., Moraks V.D., Donskaia A.R., Lomakin A.S. 2025. Overview of Machine Learning Methods in Prosthetics. *Economics. Information technologies*, 52(4): 897–927 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-897-927; EDN SFNWSH

Введение

Современное протезирование конечностей стремительно развивается, переходя от механических и пассивных конструкций к интеллектуальным системам, способным эффективно взаимодействовать с человеком и адаптироваться к его потребностям. Потеря конечности – это не только физическая, но и психологическая травма, поэтому одной из ключевых задач биомедицинской инженерии остается создание функциональных протезов, которые максимально могли бы воспроизвести естественные движения и вернуть пациенту нормальное качество жизни. Традиционные методы протезирования включают в себя как простые механические устройства, так и миоэлектрические системы, которые используют поверхностные сигналы электромиографии (ЭМГ) для управления протезами. В последние годы наблюдается бурный рост применения методов машинного обучения для анализа ЭМГ-сигналов и повышения точности управления. Эти методы могут помочь улучшить распознавание жестов пользователя протезом, учитывать индивидуальные особенности мышечной активности и обеспечивать более плавное и интуитивное управление. Целью работы является систематизирование и сравнение классических методов машинного обучения и нейронных сетей, используемых при обработке ЭМГ-сигналов для управления протезами, выделив наиболее перспективные подходы. Полученные выводы позволяют оценить текущее состояние технологий, связанных с использованием машинного обучения в протезировании, перспективы развития и общие проблемы исследований.

Классификация протезов

Протезы верхних и нижних конечностей классифицируются по следующим типам:

Косметические – предназначены для воссоздания внешнего (физического) вида конечности. Такие устройства (особенно заменители кисти) часто изготавливают из силикона как наиболее мягкого, упругого и естественно выглядящего материала [Коробенков и др., 2019].

Активные – протезы управляются тягами, которые приводятся в действие определёнными движениями человека или непосредственно за счёт движений культи или сегмента поражённой конечности.

Протезы с микропроцессорным управлением (бионические) – движения его исполнительными механизмами осуществляются за счёт электроприводов, управляются с помощью электронных устройств, с использованием микропроцессоров, датчиков ЭМГ-сигнала [Уразбахтина и др., 2022] или другими техническими компонентами.

Рабочие – протезы с приёмниками и различного рода насадками (например, под молоток, ключ, ножницы, зубило, зажим для отверток и т. п. [Коробенков и др., 2019]) для выполнения специализированных бытовых и рабочих операций. Количество насадок и их назначение зависят от пожеланий владельца.

Протезы существенно различаются по своей конструкции, уровню управления и функциональности – от простейших механических устройств до интеллектуальных миоэлектрических систем. Однако для современного технологичного протеза ключевым условием эффективного использования остается надежная система управления, способная точно интерпретировать намерения пользователя.

В этом контексте особую роль играют датчики электромиографии (ЭМГ), которые обеспечивают связь между мышечной активностью и движением протеза. Их точность, чувствительность и особенности размещения непосредственно влияют на качество управления. Далее рассмотрены характеристики ЭМГ-датчиков и их принцип работы, а также применение методов машинного обучения как ключевого инструмента для обработки ЭМГ-сигналов и построения интеллектуальных систем управления протезами.

ЭМГ-датчики

Электромиографические (ЭМГ) датчики используются для измерения электрической активности мышц, что позволяет применять их не только в медицине и реабилитации, но и в разработке протезов. В данный момент исследования сосредоточены на улучшении их функциональности, а также надежности и точности. В протезировании используются электрические сигналы, генерируемые во время сокращения остаточных мышц конечностей для управления сервоприводами [Kuiken et al., 2009; Resnik, 2011].

Наиболее часто используемыми являются поверхностные ЭМГ-датчики. Они представляют собой гибкие емкостные датчики, обеспечивающие неинвазивное измерение мышечной активности и обладают возможностью интеграции в носимые устройства для мониторинга состояния здоровья и управления протезами [Ng et al., 2024; Ng et al., 2023]. Их недостатками являются:

- ограниченное пространство для размещения и чувствительность к изменению положения электродов [Resnik, 2011; Персон, 1969];

- слабые сигналы для управления протезом.

Существуют также инвазивные, внутримышечные ЭМГ-датчики, которые устанавливаются с помощью иглы в целевую мышцу [Becerra-Fajardo et al., 2024]. Имплантируемые датчики обладают рядом преимуществ, заключающихся в:

- устойчивости к смещению и исключении необходимости замены перед каждым использованием (что требует перекалибровки системы) [Young et al., 2011];

- устранении перекрёстных помех и возможности управлять большим числом степеней свободы за счёт использования нескольких электродов [Dewald et al., 2019];

- осуществлении доступа к более изолированным и специфическим сигналам от отдельных мышц;

- присутствии меньшего количества артефактов и внешних помех при считывании сигнала.

Однако инвазивность процедуры установки, анатомические особенности людей, биосовместимость компонентов, способы передачи данных и энергопитания датчиков, находящихся внутри тела человека, становятся серьезными сложностями в протезировании.

Современные ЭМГ-системы используют множество различных технологий, включая многоканальные беспроводные системы, обеспечивающие высокую точность и низкое

энергопотребление, что позволяет сделать систему удобнее для использования людьми и упростить интеграцию в компоненты протезов. Новые разработки включают в себя использование многослойных сенсоров, которые позволяют одновременно измерять ЭМГ, механомиографию и ближнюю инфракрасную спектроскопию, что дает возможность более детально анализировать мышечную активность [Kimoto et al., 2023].

Применение машинного обучения для обработки ЭМГ-сигнала

Анализ исследований применения машинного обучения для обработки ЭМГ-сигналов представлен в виде трех таблиц. В табл. 1 указаны наборы данных и их составляющие, используемые в исследованиях, а также методы, их архитектура, параметры и гиперпараметры.

Таблица 1
Table 1

Наборы данных и методы, используемые в исследовании
Datasets and methods used in the research

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
An Improved Performance of Deep Learning Based on Convolution Neural Network to Classify the Hand Motion by Evaluating Hyper Parameter, 2020 [Triwiyanto et al., 2020]	EMG-сигналы (сырые), частота дискретизации 4000 Гц [Khushaba et al., 2012]	10 жестов: движения пальцев (сжатия: большой палец, указательный, средний, безымянный, мизинец; комбинированные сжатия: большого пальца с указательным, большого пальца со средним, большого пальца с безымянным, большого пальца с мизинцем, Сжатие кисти)	Каждый субъект: 2 канала, 10 движений, 20 000 выборок, 6 испытаний	CNN: Размер окна: 200 мс (800 выборок) Перекрытие окна: 100 выборок Фильтры: 100 Размер ядра: 8 Паддинг: 0 Шаг: 1 Функция активации: ReLU Оптимизатор: Adam Dropout: 0.5 SVM, KNN, LDA: Выделенные признаки: RMS, MAV, WL, ZC, SSC [Hudgins et al., 1993; Triwiyanto et al., 2017; Kilic, 2017] Оконная длина: 200 мс Перекрытие окна: 100 мс

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
A Novel Attention-Based Hybrid CNN-RNN Architecture for sEMG-Based Gesture Recognition, 2018 [Hu et al., 2018]	sEMG-сигналы (NinaPro DB1) [Atzori et al., 2014]	52	14040	Сеть состоит из семи слоев: два свёрточных слоя с 64 фильтрами 3×3, два локально-связанных слоя с 64 фильтрами 1×1, три полносвязных слоя (512, 512 и 128 нейронов), LSTM с 512 нейронами, механизм внимания, полносвязный слой G-way и Softmax
	sEMG-сигналы (NinaPro DB2) [Atzori et al., 2014]	50	12 000	
	sEMG-сигналы (BioPatRec26MOV) [Ortiz-Catalan et al., 2013]	26	1326	
	sEMG-сигналы (CapgMyo-DBa) [Geng et al., 2016]	8	1440	
	sEMG-сигналы (csl-hdemg) [Ammal et al., 2015]	27	1350	
Анализ эффективности методов машинного обучения в задаче распознавания жестов на основе данных электромиографических сигналов, 2021 [Козырь, Савельев, 2021] / Analysis of the Effectiveness of Machine Learning Methods in the Problem of Gesture Recognition Based on the Data of Electromyographic Signals	Электромиографические сигналы (ЭМГ)	Сжатие кулака, знак «большой палец», знак «Виктория», сжатие указательного пальца, взмах рукой справа налево	5000 жестов на эксперимент, три эксперимента	Метод опорных векторов (SVM): C=1.0, kernel=rbf, gamma=0.33 Дерево решений: criterion=gini, splitter=best, max_depth=None, min_samples_split=2 Наивный Байесовский классификатор (НБК): priors=None, var_smoothing=1e ⁻⁹ Случайный лес: n_estimators=100, criterion=gini, max_depth=None, min_samples_split=2 Метод k-ближайших

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				соседей (kNN): n_neighbors=3, weights=uniform, algorithm=auto, leaf_size=30, metric=minkowski, p=2 Градиентный бустинг (XGBoost): objective=multi:softprob, max_depth=6, subsample=1, tree_method=exact, booster=gbtrees, base_score=0.5 Ансамбли методов (разные комбинации НБК, дерева решений и градиентного бустинга) с voting=hard и weights от (1.1) до (2.1)
ConTraNet: A Hybrid Network for Improving the Classification of EEG and EMG Signals with Limited Training Data, 2023 [Ali et al., 2023]	MI-EEG (Physionet MI-EEG [Goldberger et al., 2000])	Левый кулак (L) или правый кулак (R) – воображаемое движение. Также три повторения задания MI для обоих кулаков (B) или обеих стоп (F).	Каждое повторение длится 120 секунд и содержит 14 испытаний MI, всего 42 испытания (21 испытание на класс) на участника.	ConTraNet: алгоритм оптимизации: Adam; Количество эпох: 100; Скорость обучения: 0.001 (эпохи 0–50), 0.0001 (эпохи 51–100); Количество свёрточных ядер: 16; Dropout в CNN-блоке: 0.5; Dropout в MLP-блоке: 0.7 CNN-LSTM: Один свёрточный слой с 32 ядрами размером (1.125). Шаг 1, padding 'valid'. Активация ReLU. Один слой LSTM с 200
	sEMG (Mendeley Data – sEMG [Ozdemir et al., 2022])	Покой (нейтральное состояние), разгибание запястья, сгибание запястья, локтевое отклонение запястья, лучевое отклонение	Каждый участник прошел пять повторяющихся циклов. Каждый цикл длится 104 секунды, каждое движение кисти –	

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
		запястья, хват, отведение всех пальцев, приведение всех пальцев, супинация и пронация.	6 секунд с 4 секундами отдыха между ними.	нейронами и один полносвязный слой с 100 нейронами.
	sEMG (Mendeley Data – sEMG V1 [Ozdemir, 2021])	Покой (нейтральное состояние), разгибание запястья, сгибание запястья, локтевое отклонение запястья, лучевое отклонение запястья, удар кулаком, открытая ладонь.	Каждый цикл длится 74 секунды, каждое движение кисти – 6 секунд с 4 секундами отдыха между ними.	
Classification of Electromyographic Hand Gesture Signals Using Machine Learning Techniques, 2020 [Jia et al., 2020]	Электромиографические (EMG) сигналы	10 жестов	480 записей (320 тренировочные, 160 тестовые), каждый сегмент 20000×2	CAE+CNN: 250 эпох, размер пакета 20, оптимизация: Adam, функция потерь: MSE, структура: свёрточный автоэнкодер (CAE) с Conv2D, BatchNormalization, ReLU, MaxPooling CNN: 100 эпох, размер пакета 15, оптимизация: Adam Нейронная сеть (NN): 3 скрытых слоя, 21 нейрон в каждом, оптимизация: LM, CGB, Adam К-ближайших соседей (KNN): Число соседей: 5, метрика:

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				Минковского, размер листа: 30 Метод случайного леса (Random Forest): Bootstrap: True, критерий: Gini, вес классов: 1.0 Решающее дерево (Decision Tree): Splitter: Best, критерий: Gini, вес классов: 1.0 Метод опорных векторов (SVM): Ядро: RBF, Coefficient: 0.0, Регуляризация: 1.0 Логистическая регрессия: Регуляризация: L2, Fit intercept: True, Cross-validation: Stratified K-Folds Наивный байесовский классификатор (Naive Bayes): Гладкость дисперсии: 10^{-9}
Classification of EMG Signals Using Convolution Neural Network, 2020 [Bakırcıoğlu, Ozkurt, 2020]	Электромиографические (EMG) сигналы	6 жестов: Cylindrical, Tip, Hook, Palmar, Spherical, Lateral	86 400 образцов окон размером 150 точек	Алгоритм SGD с моментом (SGDM), начальная скорость обучения 0.01, 6 эпох, данные перемешиваются в каждой эпохе. CNN1: input layer (2, 150); convolution layer (1, 50), 80; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 60), 100; max

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				pooling (1, 2); convolution layer (1, 70), 120; fully connected layer (6). CNN2: input layer (2, 150); convolution layer (1, 10), 100; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 20), 120; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 30), 140; fully connected layer (6). CNN3: input layer (2, 150); convolution layer (1, 15), 80; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 20), 100; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 25), 120; fully connected layer (6). CNN4: input layer (6, 150); convolution layer (1, 50), 80; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 60), 100; max pooling (1, 2); convolution layer (1, 70), 120; fully connected layer (6).
Intra-Subject Approach for Gait-Event Prediction by Neural Network Interpretation of EMG Signals, 2019 [Di Nardo, 2019]	sEMG-сигналы (электромиография)	Фазы походки: stance (опорная) и swing (маятниковая), моменты heel-strike (HS) и toe-off (TO) [Lerner et al., 2014]	Примерно 10 000 шагов, 10 sEMG сигналов на участника (5 мышц на каждую ногу)	Модель: многослойный персептрон (MLP) с 3 скрытыми слоями (512, 256, 128 нейронов) Функция активации: ReLU

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				Выходной слой: сигмоидная функция (порог 0.5) Оптимизатор: стохастический градиентный спуск (SGD) Функция потерь: бинарная кросс-энтропия Скорость обучения: 0.01 Ранняя остановка: прекращение обучения после 10 эпох без улучшений Количество эпох: до 100 Кросс-валидация: 10-кратная (intra-subject) и leave-one-out (inter-subject)
A Novel Channel Selection Method for Multiple Motion Classification Using High-Density Electromyography, 2014 [Geng et al., 2014]	Высокоплотные EMG-сигналы	21 движение руки и кисти, одно "без движения"	Каждое движение выполнялось в течение 6 секунд, повторялось 6 раз, всего 1524 элемента.	Linear Discriminant Analysis (LDA) и K-Nearest Neighbors (KNN) . Параметры обработки: "скользящее окно анализа длиной 150 мс с шагом 100 мс (50 мс перекрытие)". Экстрагированы два набора признаков: 1) Четыре временных признака (TD) [Hudgins et al., 1993]: среднее абсолютное значение (MAV), количество пересечений нуля (ZC), количество

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				изменений знака наклона (SSC), длина волны (WL). 2) Шестипорядковая авторегрессионная модель (AR) [Graupe, Cline, 1975] и корень среднеквадратичного значения (RMS).
Performance Evaluation of Convolutional Neural Network for Hand Gesture Recognition Using EMG, 2020 [Asif et al., 2020]	sEMG (электромиография)	10 жестов: открытая ладонь, закрытая ладонь, сгибание запястья, разгибание запястья, пронация предплечья, супинация предплечья, захват предмета перпендикулярно предплечью, тонкий захват, указательный палец вытянут, большой палец вверх	Массивы размером 6×1200 были получены, где 6 – количество каналов, а 1200 – количество выборок в каждом окне 150 мс ($8000 \text{ Гц} \times 0,15 \text{ с}$)	Архитектура сети: 15 слоев, 3 свёрточных слоя (16, 64, 32 фильтра 3×3), 3 слоя нормализации, 2 слоя пулинга (2×2 и 3×3), 3 слоя ReLU, полносвязный слой, SoftMax-классификатор, выходной слой. Алгоритм обучения: стохастический градиентный спуск с моментом (SGDM). Гиперпараметры: диапазон скоростей обучения (0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1), число эпох (20, 40, 60, 80, 100), размер мини-пакета – 128.
Cross-Domain MLP and CNN Transfer Learning for Biological Signal Processing: EEG and EMG, 2020 [Bird et al., 2020a]	EMG	Кулак сжат/разжат, пальцы разведены/сжаты, взмах вправо, взмах влево	EMG: 60 сек. \times 4 жеста \times 2 руки \times 10 участников	CNN: (слой, выходной размер, параметры): Conv2D (ReLU), (0, 14, 14, 32), 320; Conv2D (ReLU), (0, 12, 12, 64), 18496; Max Pooling, (0, 6, 6, 64), 0; Dropout

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				<p>(0.25), (0, 6, 6, 64), 0; Flatten, (0, 2304), 0; Dense (ReLU), (0, 512), 1180160; Dropout (0.5), (0, 512), 0; Dense (Softmax), (0, 3 или 4), 1539 [Ashford et al., 2019].</p> <p>Оптимизатор: Adam; функция потерь: Кросс-энтропия; количество эпох: до 100; dropout: 0.25 после сверточных слоев, 0.5 перед входным слоем.</p> <p>MLP: на основе алгоритма Devo [Bird et al., 2019b] была составлена топология: 5 скрытых слоёв (206, 226, 298, 167, 363 нейронов), функция активации – ReLU (для скрытых слоев), выходной слой – Softmax (для классификации). Оптимизатор: Adam; функция потерь: Кросс-энтропия; количество эпох: 100 для эволюционного поиска топологии; кросс-валидация: 10-fold (перемешивание данных перед обучением).</p>

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
Electromyogram-Based Classification of Hand and Finger Gestures Using Artificial Neural Networks, 2021 [Lee et al., 2021]	ЭМГ-сигналы (3 канала), 6 временных признаков на канал	10 жестов: 2 жеста всей рукой (камень, бумага), 7 жестов отдельными пальцами (ножницы, один, три, четыре, хорошо, окей, пистолет), состояние покоя	Использованы 5-секундные записи для каждого жеста, 5 повторений в сете, 4 раунда для каждого жеста, 90 % перекрытие окон (250 мс, шаг 25 мс)	Искусственная нейронная сеть (ANN): количество скрытых слоев (2, 3 и 4), нейроны в каждом слое (300, 600 и 1000), уровень dropout (0.2 и 0.3), использование batch normalization Метод опорных векторов (SVM): ядро (linear и rbf), C (1, 10, 100 и 1000), gamma (1, 0.1, 0.01, 0.001 и 0.0001) Случайный лес (RF): количество деревьев (100, 500, 1000) и вес классов balanced subsample и none Логистическая регрессия (LR): штраф (L1, L2, elasticnet и none), C (1, 0.1, 0.01, 0.001 и 0.0001), вес классов (balanced и none), решатель (lbfgs и saga)
EMGHandNet: A Hybrid CNN and Bi-LSTM Architecture for Hand Activity Classification Using Surface EMG Signals, 2022 [Karnam et al., 2022]	sEMG-сигналы (NinaPro DB1 [Atzori et al., 2014])	Упражнение «А» включает сгибание и разгибание отдельных пальцев, упражнение «В» включает множественные сгибания и разгибания пальцев, а также движения запястья,	Общее количество паттернов 14040	EMGHandNet (предложенная модель): реализована со следующими параметрами: Kernel initializer: he_normal; strides: 2; Kernel regularizer: 10^{-4} ; скорость обучения (l1) = 10^{-3} ; batch size = 16; optimizer: Adam b1 (0.9),

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
		упражнение «С» включает захват бытовых предметов.		Adam b2 (0.999); функции активации: Tanh, Relu; dropout: 0.2093; epochs: 200; Bi-LSTM: cells = 200 MsCNN: параметры использованы из исследования [Wei et al., 2019] EvCNN: параметры использованы из исследования [Olsson et al., 2020] CNNLM: параметры использованы из исследования [Chen et al., 2021]
	sEMG-сигналы (NinaPro DB2 [Atzori et al., 2014])	49 классов действий, объединённых в упражнения В, С и D. Упражнения В и С аналогичны NinaPro DB1. Упражнение D включает 9 паттернов силы, полученных при нажатии пальцами на датчики силы.	Общее количество паттернов 11760	
	sEMG-сигналы (NinaPro DB4 [Pizzolato et al., 2017])	Действия рук аналогичны NinaPro DB1, но данные записаны с более высокой частотой дискретизации.	Общее количество паттернов 3120	
	sEMG-сигналы (BioPatRec DB2 [Ortiz-Catalan et al., 2013])	Включает 6 основных движений руки (открытие/ закрытие, пронация/ супинация, сгибание/ разгибание запястья) и 20 комбинаций этих движений.	Общее количество паттернов 1326	
	sEMG-сигналы (UCI Gesture [Lobov et al., 2018])	7 основных движений: сжатие кулака, сгибание/ разгибание запястья, радиальное/ульнарное отклонение запястья,	Общее количество паттернов 864	

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
		раскрытая ладонь, состояние покоя.		
EMG-Driven Hand Model Based on the Classification of Individual Finger Movement, 2019 [Arteaga et al., 2019]	EMG-сигналы	6 жестов: 5 индивидуальных сгибаний/разгибаний пальцев и 1 жест закрытия руки	2400 событий (400 на жест)	k-NN : число соседей: Fine (1), Medium (10); метрики расстояния: Euclidean, Cosine, Weighted, Cubic
Design of a Flexible Wearable Smart sEMG Recorder Integrated Gradient Boosting Decision Tree Based Hand Gesture Recognition, 2019 [Song et al., 2019]	sEMG сигналы с 16 каналов	12 жестов (включая комбинации движений пальцев и жесты с участием запястья)	Каждый участник выполнил 12 жестов по 10 раз, каждый жест длился 5 секунд (частота дискретизации 500 S/s)	Gradient Boosting Decision Tree (GBDT) [Friedman, 2001]: максимальная глубина дерева: 5, количество деревьев для каждого жеста: 80, общее количество деревьев: $12 \times 80 = 960$, обучение с использованием библиотеки XGBoost [Chen, Guestrin, 2016], кросс-валидация: 70 % данных для обучения, 30 % для тестирования, использованы временные признаки (9 признаков на канал, всего 144 признака)
Recognition of Hand Gestures Based on EMG Signals with Deep and Double-Deep Q-Networks, 2023 [Valdivieso et al., 2023]	EMG-сигналы	fist, wave in, open, wave out, pinch, relax (no gesture) [Benalcázar et al., 2020]	183,600 (300 на пользователя)	DQN [Vásconez et al., 2022]: архитектура: 40-50-50-6 нейронов (вход-скрытые-выход), скорость обучения: 0.0003, буфер опыта: 1×10^6 , размер батча: 64,

Название и год исследования / Name and year of the research	Тип данных в датасете / Type of data in the dataset	Жесты / Gestures	Оценка объема данных в датасете / Estimating the amount of data in a dataset	Параметры и архитектура решений / Parameters and architecture of solutions
				оптимизатор: Adam, γ : 0.99 DQN-LSTM : архитектура: 40-50-50-6 и LSTM (27 нейронов), α : 0.00009, Dropout в LSTM
Fully Embedded Myoelectric Control for a Wearable Robotic Hand Orthosis, 2017 [Ryser et al., 2017]	EMG-сигналы с Myo armband	rest, close, open, precision pinch, key pinch	5 жестов, удерживались по 60 секунд (здоровые); 3 жеста (rest, close, open), удерживались по 60 секунд (пациенты)	SVM с RBF-ядром [Englehart, Hudgins, 2003]: тип ядра: радиальное базисное (RBF), оптимизация γ и C методом grid search, длина окна обработки: 300 мс (офлайн), 150 мс (онлайн), шаг сдвига окна: 20 мс, нормализация по максимальному мышечному сокращению (MVC)
Real-Time Surface EMG Pattern Recognition for Hand Gestures Based on an Artificial Neural Network, 2019 [Zhang et al., 2019]	sEMG-сигналы	Fist, Wave In, Wave Out, Fingers Spread, Double Tap	5 повторений \times 5 жестов \times 2 секунды (тренировка), 30 повторений \times 5 жестов \times 5 секунд (тест)	Искусственная нейронная сеть (ANN) : трехслойная сеть: входной слой, скрытый слой (число узлов = половина длины вектора признаков), выходной слой (6 узлов), функция активации: сигмоида, метод обучения: полный пакетный градиентный спуск, функция потерь: кросс-энтропия, скользящее окно: размер окна: 400 мс, шаг окна: 5 мс (1 точка), порог активации: 40.

Большинство исследований используют собранные авторами EMG-сигналы (82 %), это может подчёркивать:

- важность контроля параметров (частота дискретизации, тип электродов);
- узкую направленность задач (например, реабилитация или специфичные жесты).

Публичные наборы данных используются в 18 % работ, это может показывать, что:

- готовые наборы данных применяются в фундаментальных работах для сравнения алгоритмов;
- чаще встречаются в исследованиях с большим количеством участников или жестов;
- исследования методов и моделей машинного обучения проще сравнить с другими методами и моделями, так как набор данных одинаковый.

Среди исследований, где использовались наборы данных из открытого доступа, наиболее распространёнными являются NinaPro (особенно DB1 и DB2). Это может быть связано с их доступностью, разнообразием жестов и большим количеством участников. В исследованиях используются как простые жесты (например, сжатие кулака), так и сложные комбинации движений пальцев и запястья.

Касательно используемых методов стоит отметить, что в рамках данной комбинации исследований свёрточные нейронные сети (CNN) используются в 8 из 17 исследований (47 %), присутствуют также и объединение CNN с другими слоями (LSTM, механизмы внимания) для улучшения классификации временных последовательностей. В 6 исследованиях (35 %) используются и другие нейросетевые модели (MLP, ANN, DQN). Традиционные методы машинного обучения (SVM, KNN, LDA, RF) встречаются в 9 исследованиях (53 %), в некоторых исследованиях используются как нейросетевые методы, так и классические.

В статьях присутствует описание элементов использованных методов, анализ параметров, гиперпараметров и архитектуры решений может помочь определить, какие настройки метода дают преимущество в определенных задачах. А это, в свою очередь, может способствовать изучению отдельных элементов метода и, при необходимости, воспроизведению эксперимента.

Часто используемыми гиперпараметрами и настройками являются: оптимизаторы – Adam (5 исследований) и SGD (3 исследования); функции активации – ReLU (доминирует в CNN и MLP), Softmax – для классификации и сигмоида – для бинарных задач; регуляризация – Dropout 0.2 – 0.7. Обработка сигналов и признаки: оконная обработка имеет параметры: длины окна 150–400 мс, перекрытия 50–100 мс, признаки – временные (MAV, RMS, ZC, SSC, WL) в 2 исследованиях, либо без выделения признаков, нормализация сигналов ЭМГ выполнялась по максимальному добровольному сокращению (MVC), методом Z-нормализации, либо использовались сырые данные.

В табл. 2 представлены результаты средней точности моделей и их краткая характеристика.

Поскольку в исследованиях в основном используются разные наборы данных (собранные вручную и находящиеся в открытом доступе), прямое сравнение точности моделей затруднительно без учета контекста. На рис. 1 представлена общая тенденция методов. Из-за недостаточности тестовых данных таких методов, как деревья решений, случайный лес, линейный дискриминантный анализ, линейная регрессия, наивный байесовский классификатор их точность была объединена.

У нейросетевых методов наибольшая медианная точность (87,37 %) среди всех методов, что говорит об их высокой эффективности в среднем. KNN и SVM могут достигать точности, близкой к нейросетям, но их результаты менее стабильны. Градиентный бустинг – стабильный, но не всегда точный метод, узкий разброс может говорить о том, что градиентный бустинг менее чувствителен к вариациям данных, но и редко достигает высоких точностей. Другие методы имеют самую низкую медианную точность (78,13 %), а также большой разброс, данные методы хуже подходят для ЭМГ-сигналов.

Таблица 2
 Table 2

Точность и краткая характеристика методов
 Accuracy and brief description of methods

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
An Improved Performance of Deep Learning Based on Convolution Neural Network to Classify the Hand Motion by Evaluating Hyper Parameter	CNN: 86,3 %	Прямая обработка сырых EMG-сигналов без извлечения признаков, высокая точность классификации, возможность использования одного канала (CH2) без значительной потери точности, но большие вычислительные затраты на обучение (56.3 секунды для 100 фильтров) и длительное время обработки одного сегмента: 250.6 мкс.
	KNN: 60,4 %	Быстрое вычисление (до 50 мкс для одного сегмента), простота реализации, но требуется выделение признаков, ниже точность, плохая классификация некоторых жестов.
	SVM: 50,7 %	Средняя скорость обработки, хорошая точность для некоторых жестов, но общая точность является низкой
	LDA: 49,9 %	Быстрая обработка, хорошая точность для комбинированных признаков, но имеет самую низкую общую точность среди всех методов и неспособность классифицировать некоторые жесты
A Novel Attention-Based Hybrid CNN-RNN Architecture for sEMG-Based Gesture Recognition	CNN-RNN: 87,0 % (NinaPro DB1), 82,2 % (NinaPro DB2), 94,1 % (BioPatRec26MOV), 99,7 % (CapgMyo-DBa), 94,5 % (csl-hdemg)	Гибридная архитектура CNN-RNN объединяет пространственную и временную информацию, а механизм внимания улучшает фокусировку на значимых частях сигнала. Недостатки: вычислительная сложность и требование тонкой настройки параметров.
Анализ эффективности методов машинного обучения в задаче распознавания жестов на основе данных электромиографических сигналов / Analysis of the Effectiveness of Machine Learning Methods in the Problem of Gesture Recognition Based on the Data of Electromyographic Signals	НБК: 73,58 %	Из преимуществ можно выделить низкую временную сложность, малое время работы и возможность использования с данными большого объема. Недостатками являются низкая точность и не постоянное выполнение предположения о независимости признаков.
	Метод / k-ближайших соседей (kNN): 80,73 %	Обладает высокой точностью, но имеет значительную временную сложность
	Метод опорных векторов: 75,92 %	Эффективен для пространств высокой размерности, но долго обучается (для больших наборов данных)
	Градиентный бустинг: 80,32 %	Высокий баланс между точностью и скоростью, но требует больше вычислительных ресурсов и детальной настройки гиперпараметров

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
	Дерево решений: 79,12 %	Простота интерпретации и хорошая скорость, но уступает в точности и имеет нестабильность предсказаний
	Случайный лес: 81,19 %	Более высокая точность, но присутствует временная сложность
	Ансамбль НБК и градиентного бустинга: 81,55 %	Лучшая точность среди всех методов в исследовании. Требует больше времени для классификации, чем другие методы.
	Ансамбль (НБК, дерево решений): 80,60 %	Компенсация ошибок базовых методов, среднее время работы
	Ансамбль (градиентный бустинг, дерево решений): 79,56 %	Улучшение точности относительно базовых методов, но более высокая сложность и время работы
ConTraNet: A Hybrid Network for Improving the Classification of EEG and EMG Signals with Limited Training Data	ConTraNet (BCI Comp. IV, 2-классовый MI-EEG): 83,61 %	Хорошая обобщающая способность. Надежное извлечение признаков из EEG. Немного снижает точность на ограниченных данных.
	ConTraNet (sEMG, 10-классовый Mendeley Data): 77,15 %	Значительное улучшение по сравнению с CNN-LSTM. Хорошо справляется с шумными sEMG-данными.
	EEGNet (2-классовый MI-EEG) [Lawhern et al., 2018]: 81,81 %	Компактная архитектура, но проигрывает на сложных задачах.
	ShallowNet (2-классовый MI-EEG) [Schirrmeister et al., 2017]: 78,73 %	Простая архитектура, испытывает трудности с большим числом классов.
	CNN-LSTM _{1,32} (2-классовый MI-EEG): 64,31 %	Плохо обобщается, уступает другим методам. Вероятно, LSTM неэффективен для этой задачи
	CNN-LSTM _{1,32} (3-классовый MI-EEG): 46,61 %	Низкая точность. Не справляется с увеличением сложности задачи.
	CNN-LSTM _{1,32} (4-классовый MI-EEG): 34,50 %	Низкая точность.
	CNN-LSTM _{1,32} (10-классовый sEMG): 23,55 %	Крайне низкая точность для sEMG, не годится для практического применения.
	CNN-LSTM _{1,32} (7-классовый sEMG V1, 6 сек): 39,93 %	Точность лучше, чем у двух предыдущих моделей, но остается низкой, относительно других моделей.

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
	CNN-LSTM1,32 (7-классовый sEMG V1, 4 сек): 43,69 %	Точность немного лучше на коротких сигналах, но уступает другим методам.
Classification of Electromyographic Hand Gesture Signals Using Machine Learning Techniques	CAE+CNN: 99,38 %	Высокая точность в случаях (с) и (d), устойчива к шуму, но требует большого количества данных, имеет довольно низкую точность в случаях (a) и (b).
	CNN: 95,00 %	Имеет преимущество при обработке высокоразмерных данных, но удовлетворительную производительность и низкую точность в некоторых случаях (в исследовании в случае (a) и (b)).
	Нейронная сеть (NN): 86,88 %	Высокая точность в случаях (a), (с), (d), хорошая устойчивость, но требует большого количества оперативной памяти для обучения и имеет низкий уровень точности в случае (b).
	К-ближайших соседей (KNN): 38,42 %	Показал высокую точность в случаях (a) и (с), но крайне низкую точность в случаях (b) и (d).
	Метод случайного леса (Random Forest): 78,13 %	Хорошая точность в случаях (a), (с), (d), но низкая точность в случае (b).
	Решающее дерево (Decision Tree): 84,00 %	Быстрая интерпретируемая модель, показала высокую точность в случаях (a), (с), (d), но крайне низкую точность в случае (b).
	Метод опорных векторов (SVM): 16,25 %	Показал хорошую точность в случае (с), но крайне низкую точность в случаях (b) и (d).
	Логистическая регрессия: 23,12 %	Плохо подходит для сложных задач, не справляется с нелинейными зависимостями, показала плохую точность во всех случаях.
	Наивный байес (Naive Bayes): 17,50 %	Очень низкая точность во всех случаях.
Classification of EMG Signals Using Convolution Neural Network	CNN1 (Raw Signal): 90,62 % [Sapsanis et al., 2013]	Приемлемая точность даже без предобработки.
	CNN2 (FFT): 67,30 %	Низкая точность, метод не подходит для таких задач.
	CNN3 (RMS): 88,59 %	Хорошие результаты точности, но хуже, чем у CNN4.
	CNN4 (EMD): 95,90 %	Лучший результат, позволяет выделить значимые компоненты сигнала, что улучшает классификацию.
Intra Subject Approach for Gait Event Prediction by Neural Network Interpretation of EMG Signals	NN: 96,1 %	Из преимуществ можно выделить: высокую точность, сниженную ошибку (MAE) при прогнозировании событий HS и TO. Недостатки выражаются в требовании персонализированного обучения модели для каждого нового пациента и высокой вычислительной сложности.

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
A Novel Channel Selection Method for Multiple Motion Classification Using High-Density Electromyography	Linear Discriminant Analysis (LDA), в исследовании точное значение не указано, но исходя из представленных графиков: 91,5 % (18 монополярных ЭМГ-каналов) 93,3 % (18 биполярных ЭМГ-каналов)	Преимущества заключаются в простоте алгоритма и низкой вычислительной стоимости [Englehart et al., 1999], но метод имеет зависимость от признаков.
	K-Nearest Neighbors (KNN): 93,03 % (18 монополярных ЭМГ-каналов) 94,50 % (56 монополярных ЭМГ-каналов) 95,58 % (18 биполярных ЭМГ-каналов) 98,17 % (45 биполярных ЭМГ-каналов)	Присутствует толерантность к произвольному распределению данных [Nazarpour et al., 2007], но модель имеет высокую вычислительную сложность.
Performance Evaluation of Convolutional Neural Network for Hand Gesture Recognition Using EMG	CNN: 92 %	Результаты показали, что скорость обучения 0.001 с 100 эпохами значительно превосходила ($p < 0.05$) другие параметры, относительно результатов точности. В результате исследования модель показала высокую точность. Из недостатков можно выделить высокую вычислительную сложность.
Cross-Domain MLP and CNN Transfer Learning for Biological Signal Processing: EEG and EMG	MLP (Random Init – EMG): 84,76 %	Хорошая базовая точность для классификации жестов EMG, но требуется ручная обработка признаков и ресурсоемкий поиск топологии через алгоритм DEvo.
	CNN (Random Init – EMG): 88,55 %	Наивысшая точность среди всех моделей и эффективная работа с 2D-представлением сигналов, но требуется преобразование сигналов в изображения.
	ResNet50 (ImageNet Init) [He et al., 2016]: 74,92 %	Наименьшая точность среди всех моделей и плохая адаптация к EMG-данным.
Electromyogram-Based Classification of Hand and Finger Gestures	ANN: 94 %	Лучшая точность среди использованных в исследовании методов, устойчивость к индивидуальным различиям в ЭМГ-сигналах,

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
Using Artificial Neural Networks		эффективность даже с малым числом каналов и только временными признаками. Но присутствует высокая вычислительная сложность (2000 эпох, большой размер сети), требование тщательного подбора гиперпараметров.
	SVM: 87,6 %	Хорошая обобщающая способность на данном наборе данных и эффективность на малых выборках, но требует ручного подбора ядра и параметров.
	RF: 83,1 %	Средняя точность, подходит для задач с большим количеством признаков. Из недостатков можно выделить более низкую точность, чем у ANN и SVM и более высокую дисперсию, чем у ANN.
	LR: 53,9 %	Из преимуществ можно выделить простоту алгоритма, а также быстрое обучение. Недостатки выражены в довольно низкой точности, плохой работе с нелинейными зависимостями в данных.
EMGHandNet: A Hybrid CNN and Bi-LSTM Architecture for Hand Activity Classification Using Surface EMG Signals	EMGHandNet: NinaPro DB1: 95,77 % NinaPro DB2: 95,9 % NinaPro DB4: 91,65 % UCI Gesture: 98,33 % BioPatRec DB2: 91,29 %	Гибридная архитектура CNN и Bi-LSTM позволяет извлекать кросс-канальные и временные признаки. Поддерживает end-to-end обучение. Двухнаправленный LSTM улучшает понимание динамики жеста. Но имеет высокую вычислительную сложность и нуждается в перенастройке под отдельные наборы данных.
	MsCNN [Wei et al., 2019]: NinaPro DB1: 74,25 % NinaPro DB2: 50,99 % NinaPro DB4: 34,1 % UCI Gesture: 95,58 % BioPatRec DB2: 66,18 %	Показал наихудшую производительность среди сравниваемых методов в данном исследовании
	EvCNN [Olsson et al., 2020]: NinaPro DB1: 68,06 % NinaPro DB2: 80,54 % NinaPro DB4: 22,3 %	Метод имеет автоматическую генерацию топологии CNN, имеет низкую вычислительную сложность, но уступает в точности и не оптимизирован для долгосрочных временных зависимостей.

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
	UCI Gesture: 45,55 % BioPatRec DB2: 84,19 %	
	CNNLM [Chen et al., 2021]: NinaPro DB1: 92,99 % NinaPro DB2: 87,17 % NinaPro DB4: 87,37 % UCI Gesture: 86,51 % BioPatRec DB2: 89,17 %	Близка к EMGHandNet по точности, но всё же уступает. Существует риск потери временной информации из-за плотных слоев. Имеет ограниченную способность к двунаправленному анализу.
EMG-Driven Hand Model Based on the Classification of Individual Finger Movements	Fine и Weighted k-NN: 98 %	Имеет высокую точность для всех жестов. Но чувствителен к выбору метрики и расстояния, а также числа соседей.
Design of a Flexible Wearable Smart sEMG Recorder Integrated Gradient Boosting Decision Tree Based Hand Gesture Recognition	GBDT: 91 %	Из преимуществ можно выделить: низкую задержку благодаря параллельной реализации GBDT на FPGA и хорошую точность для 12 жестов, низкую зависимость от выбора признаков, отсутствие необходимости в сложных вычислениях, но существует сложность аппаратной реализации.
Recognition of Hand Gestures Based on EMG Signals with Deep and Double-Deep Q-Networks	DQN (без LSTM): 90,37 % (классификация), 82,52 % (распознавание)	Имеет лучшую точность в исследовании и подходит для онлайн-обучения, но присутствует зависимость от тщательной настройки гиперпараметров и ограниченная интерпретируемость.
	DQN-LSTM: 51,6 % (классификация), 26,6 % (распознавание)	Теоретически лучше для временных данных, но имеет крайне низкую точность в данном случае.
Fully Embedded Myoelectric Control for a Wearable Robotic Hand Orthosis	SVM (автономно, 5 жестов): 98,0 %	Высокая точность для 5 жестов и подходит для жестов, записанных вручную, но сильно зависит от качества тренировочных данных
	SVM (онлайн, 3 жеста): 94,3 %	Работает в реальном времени и интегрирован в портативную систему, но имеет задержку в 600 мс и ложные срабатывания (2.3–3.3 % для rest/open)
Real-Time Surface EMG Pattern Recognition for Hand Gestures Based on an	ANN (модель, разработанная в исследовании): 98,7 %	Высокая точность распознавания, реальное время отклика (227.76 мс), возможность распознавания до завершения жеста, но имеется зависимость от размера скользящего окна и порога активации.

Название исследования / Name of the research	Точность, указанная в исследованиях / Accuracy indicated in the research	Краткая характеристика / Brief description
Artificial Neural Network	ANN [He et al., 2016]: 90,7 % .	Простота архитектуры, но точность ниже и не учитывается отклик в реальном времени
	k-NN [He et al., 2016]: 90,54 % .	Время отклика в исследовании не измерялось или не удовлетворяет требованиям к реальному времени.
	SVM [Motoche, Benalcázar, 2018]: 93,99 % .	SVM имеет лучшую точность, чем k-NN, но все еще уступает ANN. В исследовании этот метод не рассматривается как подходящий для реального времени.

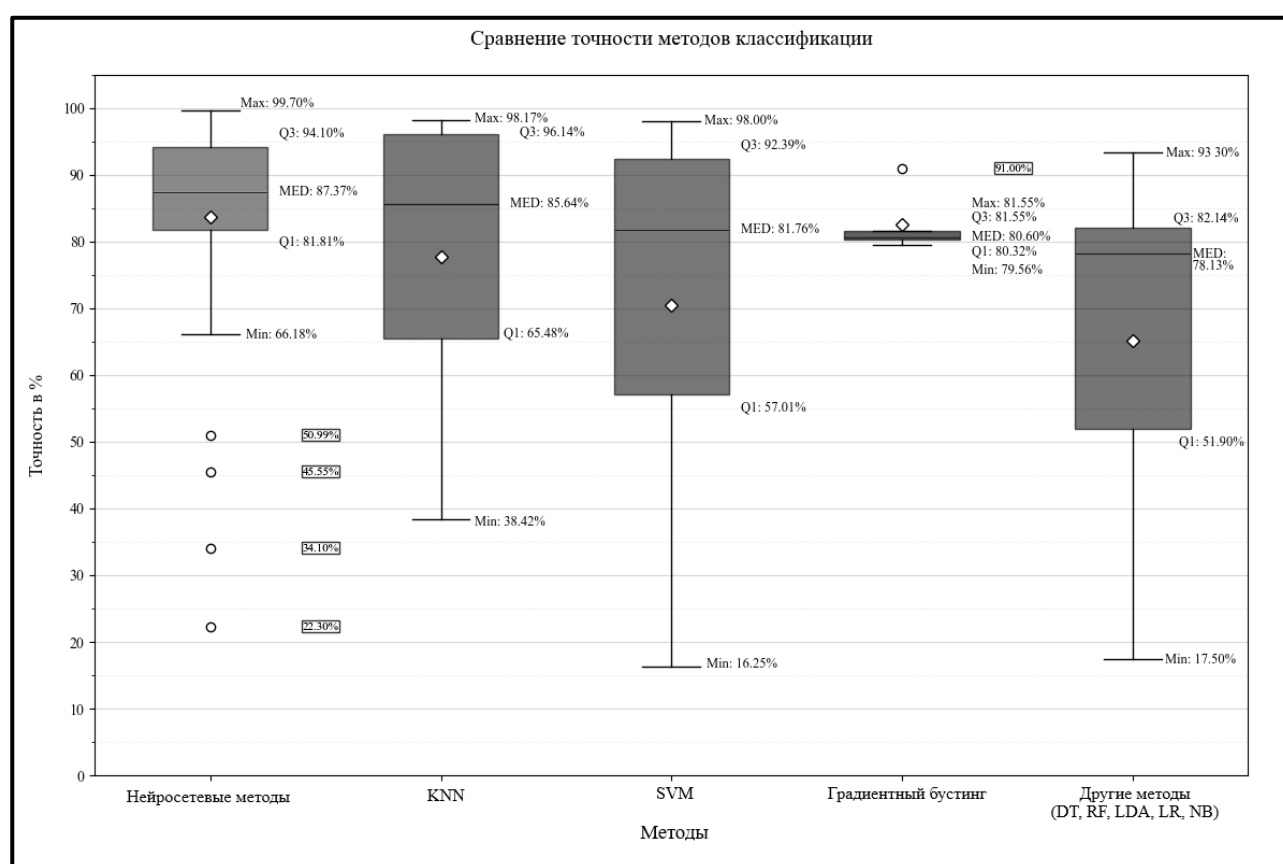


Рис. 1. Общая тенденция точности методов
Fig. 1. General trend of method accuracy

Также для определения точности моделей возможно использовать сравнение их результатов на открытых наборах данных, если такие проверки проводились в исследованиях. На рис. 2 изображены значения средней точности методов, если на одном наборе данных проверялось минимум 2 метода.

Модели, сочетающие CNN и RNN/Bi-LSTM, имеют преимущество в точности и стабильности в исследовании на открытых наборах данных. CNNLM, хотя и уступает гибридным методам, но имеет баланс между точностью и простотой. Простые архитектуры (MsCNN, EvCNN) показывают нестабильность и проявляют сильную зависимость результатов от наборов данных. ConTraNet демонстрирует хорошую обобщающую способность, но необходимо тестирование на большем количестве наборов данных.



Рис. 2. Средняя точность методов на открытых наборах данных ЭМГ-сигналов
Fig. 2. Average accuracy of the methods on open datasets of EMG signals

Заключение

Развитие современных протезов конечностей все чаще связано с внедрением интеллектуальных систем управления, в частности основанных на ЭМГ-сигналах и методах машинного обучения для их обработки. В ходе анализа существующих исследований и сравнительной оценки методов можно сделать ряд выводов.

Во-первых, современные нейросетевые архитектуры демонстрируют более высокую точность по сравнению с классическими методами (SVM, LDA, RF, DT, LR, NB), однако для более детального сравнения отсутствует достаточное количество тестовых данных.

Во-вторых, несмотря на успехи нейросетевого подхода, эффективность моделей во многом зависит от используемого набора данных. Некоторые методы (например, **ConTraNet** или **CNN-RNN**) показали хорошие результаты, но тестировались только на двух наборах данных, что ограничивает анализ их точности. Это подчеркивает необходимость стандартизации экспериментов и более широкого тестирования на разнообразных данных.

В-третьих, эффективное использование ЭМГ-датчиков и качественная предварительная обработка сигналов остаются критически важными элементами успешной работы системы. Это может проявляться в сильном разбросе значений точности по различным наборам данных из открытого доступа.

В данной статье были рассмотрены основные типы используемых протезов и их характеристики. Изучены исследования, применяющие технологии машинного обучения для обработки ЭМГ-сигнала, наборы данных, параметры и гиперпараметры используемых методов, а также точность каждого метода. В целом, анализ показывает, что применение методов машинного обучения, особенно нейросетевых моделей, открывает новые горизонты в создании более точных, адаптивных и «интуитивных» протезов. Однако для дальнейшего прогресса необходимо сосредоточиться на решении проблем универсализации моделей и наборов данных, более широком использовании моделей на открытых наборах данных, улучшении качества самих данных и интеграции систем в реальные условия использования.

Список литературы

- Козырь П.С., Савельев А.И. 2021. Анализ эффективности методов машинного обучения в задаче распознавания жестов на основе данных электромиографических сигналов. *Компьютерные исследования и моделирование*, 13(1): 175–194. DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-1-175-194. – EDN OTBBNJ.
- Коробенков Н.О., Кочетов С.С., Григоров П.А. 2019. Бионическое протезирование конечности. *Сибирский медицинский журнал*, 158(3), 22–27.
- Персон Р.С. 1969. Электромиография в исследованиях человека. М.: Наука, 231.
- Уразбахтина Ю.О., Камалова К.Р., Морозова Е.С. 2022. Бионические протезы верхних конечностей: сравнительный анализ и перспективы использования. *Международный научно-исследовательский журнал*, 1-2(115): 125–130.
- Ali O., Saif ur R.M., Glasmachers T., Iossifidis I., Klaes C. 2023. ConTraNet: A hybrid network for improving the classification of EEG and EMG signals with limited training data. *Computers in Biology and Medicine*, 168. 107649. 10.1016/j.combiomed.2023.107649.
- Amma C., Krings T., Boer J., Schultz T. 2015. Advancing Muscle-Computer Interfaces with High-Density Electromyography. In: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. 929–938.
- Arteaga M., Castiblanco J., Mondragón I., Colorado Ju., Alvarado-Rojas C. 2020. EMG-driven hand model based on the classification of individual finger movements. *Biomedical Signal Processing and Control*, 58. 101834. 10.1016/j.bspc.2019.101834.
- Ashford J., Bird J.J., Campelo F., Faria D.R. 2019. Classification of EEG signals based on image representation of statistical features. Proc. UK Workshop Comput. Intell. Portsmouth, U.K.: Springer,
- Asif A.R., Waris M., Gilani S. Jamil M. Ashraf H., Shafique M. Niazi I. 2020. Performance Evaluation of Convolutional Neural Network for Hand Gesture Recognition Using EMG. *Sensors*, 20. 10.3390/s20061642.
- Atzori M., Gijssberts A., Castellini C., Caputo B., Hager A.G.M., Elsig S., et al. 2014. Electromyography data for noninvasive naturally-controlled robotic hand prostheses. *Scientific data*, 1.
- Bakircioğlu K., Ozkurt N. 2020. Classification of Emg Signals Using Convolution Neural Network. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 8. 10.18100/ijamec.795227.
- Becerra-Fajardo L., Minguillon Je., Krob M., Rodrigues de C.C., Gonzalez-Sanchez M., Megía-García Á., Galán C., Henares F., Comerma A., del-Ama A., Gil-Agudo A., Grandas F., Schneider-Ickert A., Barroso F., Ivorra A. 2024. First-in-human demonstration of floating EMG sensors and stimulators wirelessly powered and operated by volume conduction. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21. 10.1186/s12984-023-01295-5.
- Benalcázar M., Barona L., Valdivieso L., Aguas X., Zea J. 2020. EMG-EPN-612 Dataset; CERN: Geneva, Switzerland.
- Bird J., Kobylarz Jh., Faria D, Ekárt A., Ribeiro E. 2020. Cross-domain MLP and CNN Transfer Learning for Biological Signal Processing: EEG and EMG. *IEEE Access*, 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.2979074.
- Bird J.J., Faria D.R., Manso L.J., Ekárt A., Buckingham C.D. 2019. A deep evolutionary approach to bioinspired classifier optimisation for brain-machine interaction. *Complexity*, vol. 2019, 1–14, Mar.
- Chen T., Guestrin C. 2016. Xgboost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. *ACM*, 785–794.
- Chen X., Li Y., Hu R., Zhang X., Chen X. 2021. Hand gesture recognition based on surface electromyography using convolutional neural network with transfer learning method. *IEEE J Biomed Health Inform*, 25(4): 1292–1304.
- Dewald H.A., Lukyanenko P., Lambrecht J.M., Anderson J.R., Tyler D.J., Kirsch R.F., et al. 2019. Stable, three degree-of-freedom myoelectric prosthetic control via chronic bipolar intramuscular electrodes: a case study. *J Neuroeng Rehabil*, 16(1): 147.
- Di Nardo F. 2019. Intra-subject classification of gait phases by neural network interpretation of EMG signals.
- Englehart K., Hudgins B. 2003. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 50(7): 848–854.
- Englehart K., Hudgins B., Parker P.A., Stevenson M. 1999. Classification of the myoelectric signal using time-frequency based representations. *Med. Eng. Phys.*, 21: 431–438
- Friedman J.H. 2001. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189–1232.

- Geng W., Du Y., Jin W., Wei W., Hu Y., Li J. 2016. Gesture recognition by instantaneous surface EMG images. *Scientific Reports*, 6: 36571.
- Geng Ya., Zhang X., Zhang Y.T., Li P. 2014. A novel channel selection method for multiple motion classification using high-density electromyography. *Biomedical engineering online*, 13: 102. 10.1186/1475-925X-13-102.
- Goldberger A.L., et al. 2000. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23): 215–220.
- Graupe D., Cline W.K. 1975. Functional separation of EMG signals via ARMA identification methods for prosthesis control purposes. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, SMC-5: 252–259.
- He K., Zhang X., Ren S., Sun J. 2016. Deep residual learning for image recognition. Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR), Jun. 2016, 770–778.
- Hu Yu., Wong Yo., Wei W., Du Yu., Kankanhalli M., Geng W. 2018. A novel attention-based hybrid CNN-RNN architecture for sEMG-based gesture recognition. *PLOS One*, 13. e0206049. 10.1371/journal.pone.0206049.
- Hudgins B., Parker P., Scott R.N. 1993. A New Strategy for Multifunction Myoelectric Control. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 40(1): 82–94.
- Jia G., Lam H.-K., Liao Ju., Wang R. 2020. Classification of Electromyographic Hand Gesture Signals using Machine Learning Techniques. *Neurocomputing*, 401. 10.1016/j.neucom.2020.03.009.
- Karnam N.K., Dubey Sh.R., Turlapaty A., Gokaraju B. 2022. EMGHandNet: A hybrid CNN and Bi-LSTM architecture for hand activity classification using surface EMG signals. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 42. 10.1016/j.bbe.2022.02.005.
- Khushaba R.N., Kodagoda S., Takruri M., Dissanayake G. 2012. Toward improved control of prosthetic fingers using surface electromyogram (EMG) signals. *Expert Syst. Appl.*, 39(12): 10731–10738, Sep.
- Kilic E. 2017. EMG based neural network and admittance control of an active wrist orthosis, *J. Mech. Sci. Technol.*, 31(12): 6093–6106,
- Kimoto A., Fujiyama H., Machida M. 2023. A Wireless Multi-Layered EMG/MMG/NIRS Sensor for Muscular Activity Evaluation. *Sensors*, 23. 1539. 10.3390/s23031539.
- Kuiken T.A., Li G., Lock B.A. et al. 2009. Targeted muscle reinnervation for real-time myoelectric control of multifunction artificial arms. *JAMA*, 2009 Feb 11. 301(6): 619–628.
- Lawhern V.J., Solon A.J., Waytowich N.R., Gordon S.M., Hung C.P., Lance B.J. 2018. EEGNet: a compact convolutional neural network for EEG-based brain–computer interfaces, *J. Neural. Eng.*, (Oct. 2018), 15(5). 056013.
- Lee K.H., Min Ji., Byun S. 2021. Electromyogram-Based Classification of Hand and Finger Gestures Using Artificial Neural Networks. *Sensors*, 22: 225. 10.3390/s22010225.
- Lerner Z.F., Board W.J., Browning R.C. 2014. Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds. *Gait Posture*, 39(3): 978–984.
- Lobov S., Krilova N., Kastalskiy I., Kazantsev V., Makarov V.A. 2018. Latent factors limiting the performance of sEMG-interfaces. *Sensors*, 18(4): 1122.
- Motoche C., Benalcázar M.E. 2018. Real-time hand gesture recognition based on electromyographic signals and artificial neural networks. In Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks, Rhodes, Greece, 4–7 October 2018; 352–361.
- Nazarpour K., Sharafat A.R., Firoozabadi S.M.P. 2007. Application of higher order statistics to surface electromyogram signal classification. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 54:1762–1769.
- Ng C.L., Reaz M.B.I., Crespo M., Cicuttin A., Shapiai M., Ali S. 2024. A Versatile and Wireless Multichannel Capacitive EMG Measurement System for Digital Healthcare. *IEEE Internet of Things Journal*, 1-1. 10.1109/JIOT.2024.3370960.
- Ng Ch.L., Reaz M.B.I., Crespo M., Cicuttin A., Shapiai M., Ali S., Kamal N. 2023. A Flexible Capacitive Electromyography Biomedical Sensor for Wearable Healthcare Applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1-1. 10.1109/TIM.2023.3281563.
- Olsson A.E., Bjorkman A., Antfolk C. 2020. Automatic discovery of resource-restricted convolutional neural network topologies for myoelectric pattern recognition. *Comput. Biol. Med.*, 120: 103723.
- Ortiz-Catalan M., Branemark R., Hakansson B. 2013. BioPatRec: A modular research platform for the control of artificial limbs based on pattern recognition algorithms. *Source Code Biol. Med.*, 8(1): 11.
- Ozdemir M.A. 2021. Dataset for multi-channel surface electromyography (sEMG) signals of hand gestures, Mendeley, 15.

- Ozdemir M.A., Kisa D.H., Guren O., Akan A. 2022. Dataset for multi-channel surface electromyography (sEMG) signals of hand gestures, *Data Brief*, 41. 107921.
- Pizzolato S., Tagliapietra L., Cognolato M., Reggiani M., Muller H., Atzori M. 2017. Comparison of six electromyography acquisition setups on hand movement classification tasks. *PLOS One*, 10; 12(10): 1–17.
- Resnik L. 2011. Development and testing of new upper-limb prosthetic devices: research designs for usability testing. *J. Rehabil. Res. Dev*, 48(6): 697–706.
- Ryser F., Butzer T., Held J.P., Lambercy O., Gassert R. 2017. Fully embedded myoelectric control for a wearable robotic hand orthosis. *IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.* 2017 Jul. 615–621. doi: 10.1109/ICORR.2017.8009316. PMID: 28813888.
- Sapsanis C., Georgoulas G., Tzes A., Lymberopoulos D. 2013. Improving EMG based classification of basic hand movements using EMD.
- Schirrmeister R.T., et al. 2017. Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding and visualization: convolutional Neural Networks in EEG Analysis, *Hum. Brain Mapp*, 38(11): 5391–5420.
- Song W., Wang A., Chen Ya., Bai Sh., Lin Zh., Yan N., Luo D., Liao Yi., Zhang M., Wang Zh., Xie X. 2019. Design of a Wearable Smart sEMG Recorder Integrated Gradient Boosting Decision Tree based Hand Gesture Recognition. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, 10.1109/TBCAS.2019.2953998.
- Triwiyanto T., Wahyunggoro O., Nugroho H.A., Herianto H. 2017. An investigation into time domain features of surface electromyography to estimate the elbow joint angle. *Adv. Electr. Electron. Eng.*, 15(3): 448–458,
- Triwiyanto T., Pawana I., Purnomo M. 2020. An Improved Performance of Deep Learning Based on Convolution Neural Network to Classify the Hand Motion by Evaluating Hyper Parameter. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 1-1. 10.1109/TNSRE.2020.2999505.
- Valdivieso L., Váscónez H.Ju., Barona L., Benalcázar M. 2023. Recognition of Hand Gestures Based on EMG Signals with Deep and Double-Deep Q-Networks. *Sensors*, 23. 10.3390/s23083905.
- Váscónez J.P., Barona L.L.I., Valdivieso C.A.L., Benalcázar M.E. 2022. Hand Gesture Recognition Using EMG-IMU Signals and Deep Q-Networks. *Sensors*, 22, 9613.
- Wei W., Wong Y., Du Y., Hu Y., Kankanhalli M., Geng W. 2019. A multi-stream convolutional neural network for sEMG-based gesture recognition in musclecomputer interface. *Pattern Recognit. Lett.*, 119: 131–138.
- Young A.J., Hargrove L.J., Kuiken T.A. 2011. The effects of electrode size and orientation on the sensitivity of myoelectric pattern recognition systems to electrode shift. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 58(9): 2537–2544
- Zhang Ch., Shih Ya.-H., Qian Ji. 2019. Real-Time Surface EMG Pattern Recognition for Hand Gestures Based on an Artificial Neural Network. *Sensors*, 19. 3170. 10.3390/s19143170.

References

- Kozyr P.S., Saveliev A.I. 2021. Analysis of the effectiveness of machine learning methods in the problem of gesture recognition based on the data of electromyographic signals. *Computer research and modeling*, 13(1): 175–194 (in Russian). DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-1-175-194. EDN OTBBNJ.
- Korobnikov N.O., Kochetov S.S., Grigorov P.A. 2019. Bionic limb prosthetics. *Siberian Medical Journal*, 158(3), 22–27 (in Russian).
- Person R.S. 1969. Ehlektromiografiya v issledovaniyakh cheloveka [Electromyography in human research]. M.: Nauka, 231 (in Russian).
- Urazbakhtina Yu.O., Kamalova K.R., Morozova E.S. 2022. Bionic upper limb prostheses: comparative analysis and prospects of use. *International research journal*, 1-2(115): 125–130 (in Russian).
- Ali O., Saif ur R.M., Glasmachers T., Iossifidis I., Klaes C. 2023. ConTraNet: A hybrid network for improving the classification of EEG and EMG signals with limited training data. *Computers in Biology and Medicine*, 168. 107649. 10.1016/j.compbiomed.2023.107649.
- Amma C., Krings T., Boëer J., Schultz T. 2015. Advancing Muscle-Computer Interfaces with High-Density Electromyography. In: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. 929–938.
- Arteaga M., Castiblanco J., Mondragón I., Colorado Ju., Alvarado-Rojas C. 2020. EMG-driven hand model based on the classification of individual finger movements. *Biomedical Signal Processing and Control*, 58. 101834. 10.1016/j.bspc.2019.101834.
- Ashford J., Bird J.J., Campelo F., Faria D.R. 2019. Classification of EEG signals based on image representation of statistical features. Proc. UK Workshop Comput. Intell. Portsmouth, U.K.: Springer,

- Asif A.R., Waris M., Gilani S. Jamil M. Ashraf H., Shafique M. Niazi I. 2020. Performance Evaluation of Convolutional Neural Network for Hand Gesture Recognition Using EMG. *Sensors*, 20. 10.3390/s20061642.
- Atzori M., Gijssberts A., Castellini C., Caputo B., Hager A.G.M., Elsig S., et al. 2014. Electromyography data for noninvasive naturally-controlled robotic hand prostheses. *Scientific data*, 1.
- Bakırcıoğlu K., Ozkurt N. 2020. Classification of Emg Signals Using Convolution Neural Network. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 8. 10.18100/ijamec.795227.
- Becerra-Fajardo L., Minguillon Je., Krob M., Rodrigues de C.C., Gonzalez-Sanchez M., Megía-García Á., Galán C., Henares F., Comerma A., del-Ama A., Gil-Agudo A., Grandas F., Schneider-Ickert A., Barroso F., Ivorra A. 2024. First-in-human demonstration of floating EMG sensors and stimulators wirelessly powered and operated by volume conduction. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21. 10.1186/s12984-023-01295-5.
- Benalcázar M., Barona L., Valdivieso L., Aguas X., Zea J. 2020. EMG-EPN-612 Dataset; CERN: Geneva, Switzerland.
- Bird J., Kobylarz Jh., Faria D, Ekárt A., Ribeiro E. 2020. Cross-domain MLP and CNN Transfer Learning for Biological Signal Processing: EEG and EMG. *IEEE Access*, 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.2979074.
- Bird J.J., Faria D.R., Manso L.J., Ekárt A., Buckingham C.D. 2019. A deep evolutionary approach to bioinspired classifier optimisation for brain-machine interaction. *Complexity*, vol. 2019, 1–14, Mar.
- Chen T., Guestrin C. 2016. Xgboost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. *ACM*, 785–794.
- Chen X., Li Y., Hu R., Zhang X., Chen X. 2021. Hand gesture recognition based on surface electromyography using convolutional neural network with transfer learning method. *IEEE J Biomed Health Inform*, 25(4): 1292–1304.
- Dewald H.A., Lukyanenko P., Lambrecht J.M., Anderson J.R., Tyler D.J., Kirsch R.F., et al. 2019. Stable, three degree-of-freedom myoelectric prosthetic control via chronic bipolar intramuscular electrodes: a case study. *J Neuroeng Rehabil*, 16(1): 147.
- Di Nardo F. 2019. Intra-subject classification of gait phases by neural network interpretation of EMG signals.
- Englehart K., Hudgins B. 2003. A robust, real-time control scheme for multifunction myoelectric control. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*. 50(7): 848–854.
- Englehart K., Hudgins B., Parker P.A., Stevenson M. 1999. Classification of the myoelectric signal using time-frequency based representations. *Med. Eng. Phys.*, 21: 431–438
- Friedman J.H. 2001. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189–1232.
- Geng W., Du Y., Jin W., Wei W., Hu Y., Li J. 2016. Gesture recognition by instantaneous surface EMG images. *Scientific Reports*, 6: 36571.
- Geng Ya., Zhang X., Zhang Y.T., Li P. 2014. A novel channel selection method for multiple motion classification using high-density electromyography. *Biomedical engineering online*, 13: 102. 10.1186/1475-925X-13-102.
- Goldberger A.L., et al. 2000. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23): 215–220.
- Graupe D., Cline W.K. 1975. Functional separation of EMG signals via ARMA identification methods for prosthesis control purposes. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, SMC-5: 252–259.
- He K., Zhang X., Ren S., Sun J. 2016. Deep residual learning for image recognition. Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR), Jun. 2016, 770–778.
- Hu Yu., Wong Yo., Wei W., Du Yu., Kankanhalli M., Geng W. 2018. A novel attention-based hybrid CNN-RNN architecture for sEMG-based gesture recognition. *PLOS One*, 13. e0206049. 10.1371/journal.pone.0206049.
- Hudgins B., Parker P., Scott R.N. 1993. A New Strategy for Multifunction Myoelectric Control. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 40(1): 82– 94.
- Jia G., Lam H.-K., Liao Ju., Wang R. 2020. Classification of Electromyographic Hand Gesture Signals using Machine Learning Techniques. *Neurocomputing*, 401. 10.1016/j.neucom.2020.03.009.
- Karnam N.K., Dubey Sh.R., Turlapaty A., Gokaraju B. 2022. EMGHandNet: A hybrid CNN and Bi-LSTM architecture for hand activity classification using surface EMG signals. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 42. 10.1016/j.bbe.2022.02.005.
- Khushaba R.N., Kodagoda S., Takruri M., Dissanayake G. 2012. Toward improved control of prosthetic fingers using surface electromyogram (EMG) signals. *Expert Syst. Appl.*, 39(12): 10731–10738, Sep.

- Kilic E. 2017. EMG based neural network and admittance control of an active wrist orthosis, *J. Mech. Sci. Technol.*, 31(12): 6093–6106.
- Kimoto A., Fujiyama H., Machida M. 2023. A Wireless Multi-Layered EMG/MMG/NIRS Sensor for Muscular Activity Evaluation. *Sensors*, 23. 1539. 10.3390/s23031539.
- Kuiken T.A., Li G., Lock B.A. et al. 2009. Targeted muscle reinnervation for real-time myoelectric control of multifunction artificial arms. *JAMA*. 2009 Feb 11. 301(6): 619–628.
- Lawhern V.J., Solon A.J., Waytowich N.R., Gordon S.M., Hung C.P., Lance B.J. 2018. EEGNet: a compact convolutional neural network for EEG-based brain–computer interfaces, *J. Neural. Eng.*, (Oct. 2018), 15(5). 056013.
- Lee K.H., Min Ji., Byun S. 2021. Electromyogram-Based Classification of Hand and Finger Gestures Using Artificial Neural Networks. *Sensors*, 22: 225. 10.3390/s22010225.
- Lerner Z.F., Board W.J., Browning R.C. 2014. Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds. *Gait Posture*, 39(3): 978–984.
- Lobov S., Krilova N., Kastalskiy I., Kazantsev V., Makarov V.A. 2018. Latent factors limiting the performance of sEMG-interfaces. *Sensors*, 18(4): 1122.
- Motoche C., Benalcázar M.E. 2018. Real-time hand gesture recognition based on electromyographic signals and artificial neural networks. In Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks, Rhodes, Greece, 4–7 October 2018; 352–361.
- Nazarpour K., Sharafat A.R., Firoozabadi S.M.P. 2007. Application of higher order statistics to surface electromyogram signal classification. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 54:1762–1769.
- Ng C.L., Reaz M.B.I., Crespo M., Cicuttin A., Shapiai M., Ali S. 2024. A Versatile and Wireless Multichannel Capacitive EMG Measurement System for Digital Healthcare. *IEEE Internet of Things Journal*, 1-1. 10.1109/JIOT.2024.3370960.
- Ng Ch.L., Reaz M.B.I., Crespo M., Cicuttin A., Shapiai M., Ali S., Kamal N. 2023. A Flexible Capacitive Electromyography Biomedical Sensor for Wearable Healthcare Applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1-1. 10.1109/TIM.2023.3281563.
- Olsson A.E., Bjorkman A., Antfolk C. 2020. Automatic discovery of resource-restricted convolutional neural network topologies for myoelectric pattern recognition. *Comput. Biol. Med.*, 120: 103723.
- Ortiz-Catalan M., Branemark R., Hakansson B. 2013. BioPatRec: A modular research platform for the control of artificial limbs based on pattern recognition algorithms. *Source Code Biol. Med.*, 8(1): 11.
- Ozdemir M.A. 2021. Dataset for multi-channel surface electromyography (sEMG) signals of hand gestures, Mendeley, 15.
- Ozdemir M.A., Kisa D.H., Guren O., Akan A. 2022. Dataset for multi-channel surface electromyography (sEMG) signals of hand gestures, *Data Brief*, 41. 107921.
- Pizzolato S., Tagliapietra L., Cognolato M., Reggiani M., Muller H., Atzori M. 2017. Comparison of six electromyography acquisition setups on hand movement classification tasks. *PLOS One*, 10; 12(10): 1–17.
- Resnik L. 2011. Development and testing of new upper-limb prosthetic devices: research designs for usability testing. *J. Rehabil. Res. Dev.*, 48(6): 697–706.
- Ryser F., Butzer T., Held J.P., Lambercy O., Gassert R. 2017. Fully embedded myoelectric control for a wearable robotic hand orthosis. *IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot.* 2017 Jul. 615–621. doi: 10.1109/ICORR.2017.8009316. PMID: 28813888.
- Sapsanis C., Georgoulas G., Tzes A., Lymberopoulos D. 2013. Improving EMG based classification of basic hand movements using EMD.
- Schirrmeister R.T., et al. 2017. Deep learning with convolutional neural networks for EEG decoding and visualization: convolutional Neural Networks in EEG Analysis, *Hum. Brain Mapp.*, 38(11): 5391–5420.
- Song W., Wang A., Chen Ya., Bai Sh., Lin Zh., Yan N., Luo D., Liao Yi., Zhang M., Wang Zh., Xie X. 2019. Design of a Wearable Smart sEMG Recorder Integrated Gradient Boosting Decision Tree based Hand Gesture Recognition. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, 10.1109/TBCAS.2019.2953998.
- Triwiyanto T., Wahyunggoro O., Nugroho H.A., Herianto H. 2017. An investigation into time domain features of surface electromyography to estimate the elbow joint angle. *Adv. Electr. Electron. Eng.*, 15(3): 448–458.
- Triwiyanto T., Pawana I., Purnomo M. 2020. An Improved Performance of Deep Learning Based on Convolution Neural Network to Classify the Hand Motion by Evaluating Hyper Parameter. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 1-1. 10.1109/TNSRE.2020.2999505.
- Valdivieso L., Váscquez H.Ju., Barona L., Benalcázar M. 2023. Recognition of Hand Gestures Based on EMG Signals with Deep and Double-Deep Q-Networks. *Sensors*, 23. 10.3390/s23083905.

- Vásconez J.P., Barona L.L.I., Valdivieso C.A.L., Benalcázar M.E. 2022. Hand Gesture Recognition Using EMG-IMU Signals and Deep Q-Networks. *Sensors*, 22, 9613.
- Wei W., Wong Y., Du Y., Hu Y., Kankanhalli M., Geng W. 2019. A multi-stream convolutional neural network for sEMG-based gesture recognition in musclecomputer interface. *Pattern Recognit. Lett.*, 119: 131–138.
- Young A.J., Hargrove L.J., Kuiken T.A. 2011. The effects of electrode size and orientation on the sensitivity of myoelectric pattern recognition systems to electrode shift. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 58(9): 2537–2544
- Zhang Ch., Shih Ya.-H., Qian Ji. 2019. Real-Time Surface EMG Pattern Recognition for Hand Gestures Based on an Artificial Neural Network. *Sensors*, 19. 3170. 10.3390/s19143170.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 24.06.2025
Поступила после рецензирования 28.11.2025
Принята к публикации 02.12.2025

Received June 24, 2025
Revised November 28, 2025
Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Арсёнов Алексей Владимирович, бакалавр по направлению «Информатика и вычислительная техника», Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

Моракс Виктор Денисович, студент бакалавриата 2 курса кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем» по направлению «Программная инженерия», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Донская Анастасия Романовна, старший преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет; старший преподаватель кафедры клинической инженерии и технологий искусственного интеллекта, Волгоградский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Волгоград, Россия

Ломакин Арсений Сергеевич, студент магистратуры 1 курса кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksei V. Arsenov, Bachelor's student in Computer Science and Engineering, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia

Viktor D. Moraks, 2nd year Bachelor's student Student of the Department of Software Engineering, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Anastasia R. Donskaia, Senior Lecturer at the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University; Senior Lecturer of the Department of Clinical Engineering and Artificial Intelligence Technologies, Volgograd State Medical University of Public Health Ministry of the Russian Federation, Volgograd, Russia

Arseniy S. Lomakin, 1st year Master's student of the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND MANAGEMENT

УДК 504.53.052

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-928-945

EDN TMEYRY

Методика извлечения типовых требований из описания вакансий методами графо-семантического анализа

¹Логинов И.В., ²Щербин А.А.

¹ Академия ФСО России,

Россия, 302020, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 35

² Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС,

Россия, 302028, г. Орел, бульвар Победы, д. 5а

loginov_iv@bk.ru, alex.sherbin1@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрена проблема извлечения и обобщения информации о требованиях к компетенциям специалистов на основе анализа наборов текстовых описаний вакансий. Цель исследования – повышение обоснованности обобщения и извлечения данных с учетом дополнительной информации об уровне требований. Достижение цели исследования обеспечивается за счет применения подхода к анализу текстовых данных на основе объединения графо-семантического анализа с нечеткой лингвистической моделью уровня «желательности». На основе указанного подхода предложена формальная модель описания вакансий и методика извлечения обобщенных требований к профессиональным навыкам из текстовых описаний вакансий специалистов. Результаты применения предложенного подхода к корпусу вакансий для профессий бизнес-аналитика, разработчика и DevOps-инженера с использованием разработанного программного средства «ВекторКогнитив» показали возможность комбинации нечеткой лингвистической модели и графо-семантического анализа для формирования обобщенных требований к специалистам.

Ключевые слова: семантический анализ, графы, вакансии, обобщение, обработка естественного языка, лингвистические выражения, нечеткие множества

Для цитирования: Логинов И.В., Щербин А.А. 2025. Методика извлечения типовых требований из описания вакансий методами графо-семантического анализа. *Экономика. Информатика*, 52(4): 928–945. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-928-945; EDN TMEYRY

The Method of Extracting Typical Requirements from Job Descriptions by Grapho-Semantic Analysis

¹Ilia V. Loginov, ²Alex A. Sherbin

¹ The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation,
35 Priborostroitel'naya St., Orel 302020, Russia

² Mid-Russia Institute of Management, RANEPa branch in Orel,
5a Pobedy Blvd., Orel 302028, Russia

loginov_iv@bk.ru, alex.sherbin1@mail.ru

Abstract. The paper addresses the problem of extracting and summarizing information about the requirements for the competencies of specialists based on the analysis of sets of textual job descriptions. The purpose of the

© Логинов И.В., Щербин А.А., 2025

study is to increase the validity of the generalization and extraction of data, taking into account additional information about the level of requirements. The achievement of the research goal is ensured by applying an approach to the analysis of textual data based on combining grapho-semantic analysis with a fuzzy linguistic model of the "desirability" level. Based on this approach, a formal model of job descriptions and a methodology for extracting generalized professional skills requirements from textual job descriptions of specialists are proposed. The results of applying the proposed approach to the vacancy corpus for the professions of business analyst, developer and DevOps engineer using the developed VectorCognitive software tool showed the possibility of combining a fuzzy linguistic model and grapho-semantic analysis to form generalized requirements for specialists.

Keywords: semantic analysis, graphs, vacancies, generalization, natural language processing, linguistic expressions, fuzzy sets

For citation: Loginov I.V., Shcherbin A.A. 2025. The Method of Extracting Typical Requirements from Job Descriptions by Grapho-Semantic Analysis. *Economics. Information technologies*, 52(4): 928–945 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-928-945; EDN TMEYRY

Введение

Развитие технологий и изменения рынка труда приводят к изменению в требованиях к профессиональным навыкам и знаниям специалистов. При этом изменения происходят довольно быстро, что требует непрерывного уточнения профессиональных стандартов и соответственно адаптации учебных программ. Возникает необходимость разработки инструментария выявления изменений и соответственно формирования новых требований. Исходное множество описаний вакансий представляет собой текстовые документы, в которых изложены основные требования к профессиональным знаниям и навыкам, а также содержатся общие положения об условиях рабочей деятельности. Исходя из указанного формата исходных данных задача извлечения типовых требований относится к классу задач семантического анализа. Высокая интенсивность изменений требований к ИТ-специалистам и развитие методов графо-семантического анализа показывает актуальность разработки механизмов обобщения типовых требований на основе анализа описаний множества вакансий от работодателей.

Обзор подходов к обобщению информации из описаний вакансий в ИТ-сфере

Проблема извлечения и обобщения информации из наборов текстовых данных является частью задач семантического анализа текстов. Цель настоящей работы заключается в разработке механизма обобщения навыков, знаний и умений, заданных в интернет-вакансиях ИТ-специалистов на естественном языке, и формирования наборов формальных требований:

$$\{V\} \rightarrow \{Tr\},$$

где V – структурированное текстовое описание вакансии ИТ-специалиста (в работе рассматриваются вакансии ИТ-специалистов на русском языке); $\{Tr\}$ – множество устойчиво повторяющихся требований к профессиональным навыкам, знаниям и умениям специалистов, указанных в вакансиях.

Анализ подходов к извлечению информации из текстовых описаний вакансий

Извлечение информации из вакансий нашло широкое применение при решении прикладных задач образования, подготовки и подбора кадров. Исходными данными в общем случае является первоисточник – объявление о вакансии, которое размещают потенциальные работодатели.

Задача определения потребностей в навыках (знаниях, а также дополнительные требования) широко рассмотрены в литературе. Так, в работе [Деев, 2024] выполнено исследование для сравнительного анализа компетентностных требований к образовательному

процессу. В работе [Wowczko, 2015] решена задача разработки эффективного метода мониторинга потребностей в профессиональных навыках. В работе [Минаев, 2022] рассматривалась задача выделения характерных укрупненных трудовых функций на материале текстовых требований. Полученные результаты могут быть использованы как специалистами – для адаптации портфеля компетенций в соответствии с требованиями, предъявляемыми к реальным работам, для получения более высокой заработной платы и большей мобильности в условиях неопределенности, так и образовательными организациями (в первую очередь курсами переподготовки) – для оперативной корректировки образовательных программ.

Математические методы обработки текстов вакансий заключаются в использовании двух подходов: на основе поисковых запросов и извлечения информации из заранее подготовленного корпуса вакансий, либо на основе непосредственной обработки корпуса текстовых вакансий.

В рамках первого подхода широко используются методы на основе построения модели предметной области: например, в работе [Яруллин, 2019] для получения упрощенной модели предметной области использован метод автоматического построения денотатного графа гипертекста [Курушин и др. 2018], либо на основе извлечения данных с использованием поисковых запросов: с использованием инструментария RapidMiner и R, модуля KNIME, Topic Extractor (Parallel LDA). Вариант алгоритма [Минаев, 2022] разработан на основе библиотеки моделирования MALLET: A Machine Learning for Language Toolkit.

В рамках второго подхода использовались семантические подходы обработки текстов. Так в статье [Vanetik, Kogan, 2023] выполнен сравнительный анализ оригинального алгоритма OKAPI BM25, модифицированного BERT метода – BERT-rank, на основе комбинации 4 классов текстовых описаний и 5 вариантов представлений текста (n-граммы слов и символов, BERT вложения в предложения, векторы tf-idf и объединения всех этих векторов). Для выделения семантических элементов стандартно использовались лемматизация, токенизация, удаление стоп-слов [Перстенева, Кучко, 2020], создание векторно-семантических моделей Word2vec. Для дальнейшего анализа выполнялся компаративный анализ на основе выделения словарей из 150 наиболее часто встречающихся слов с последующей оценкой схожести бинарными мерами сходства: коэффициент Жаккара и косинусное сходство, широко использованы методы кластеризации, в частности: кластеризации k-NN, метод кластеризации с использованием аппарата нечеткой логики и нейронной сети Fuzzy C-means, а также интеллектуальный анализ веб-контента [Litecky et al, 2010].

Область информационных технологий как сфера подготовки и применения кадров широко рассмотрена в литературе. Авторами [Диков, Широкова, 2022] предложен механизм сопоставления навыков выпускников и требований рынка труда для решения задачи определения актуальности различных направлений подготовки «Прикладная информатика» для трудоустройства. В исследованиях [Деев, 2024] выполнено сравнительное обобщение компетентностных требований к образовательному процессу. В работе [Перстенева, Кучко, 2020] решалась задача анализа степени соответствия содержания рабочих программ СГЭУ – потребностям предприятий на основе текстовых вакансий. В работе [Минаев, 2022] рассматривалась задача выделения характерных укрупненных трудовых функций на материале требований, которые выставляют работодатели. В работе [Litecky et al, 2010] на основе метода интеллектуального анализа веб-контента проведен эксперимент с выделением информации о двадцати категориях ИТ-должностей. Для каждой из должностей выявлены сходные наборы навыков, которые соответствуют конкретным профессиям. При этом вопросы обобщения требований на основе углубленного семантического анализа пока остались без должного разрешения.

В качестве основного источника данных используются тексты сайтов – агрегаторов вакансий: для российской аудитории это «HH.ru», «Мой круг», «Яндекс.Работа», «Авито работа», а также специализированные [Яруллин, 2019; Перстенева, Кучко, 2020]. В работе [Litecky et al, 2010], используя приложение интеллектуального анализа веб-контента, проанализирована четверть миллиона описаний требований к ИТ-вакансиям из различных

поисковых систем. В статье [Vanetik, Kogan, 2023] использован набор данных, состоящий из резюме разработчиков программного обеспечения, извлеченных из общедоступного Telegram-канала. В качестве примера архитектуры системы интеллектуального анализа вакансий можно рассматривать работы [Яруллин, 2019; Деев, 2024], где решение задачи обеспечивается кластеризацией векторных моделей компетенций.

Обзор подходов к графо-семантическому анализу текстов вакансий

В рамках решения задачи извлечения информации из текстовых описаний вакансий широко используются механизмы обработки естественного языка NLP (Natural Language Processing) [Иванченко, Барауля, 2022]. Данный метод представляет собой механизмы обработки естественного языка, и соответственно выполнение операций по извлечению информации из текстовых сообщений является областью искусственного интеллекта по направлению обработки текста. В рамках метода обработки естественного языка (NLP) предложено множество векторных моделей семантического представления текстов, задаваемых в векторной форме. В соответствии с [Baroni et al, 2014], эти вектора могут быть подвергнуты дальнейшей обработке с помощью статистического моделирования: LSA [Landauer et al, 1997] и LDA [Blei et al, 2003], либо с использованием семантических нейронных сетей, таких как CW [Collobert, Weston, 2008], Word2Vec 3 [Mikolov et al, 2013] и GloVe [Pennington et al, 2014].

Явные модели пространства концептов, такие как ESA [Gabrilovich, Markovitch, 2007], SSA [Hassan, Mihalcea, 2011], а также их обобщения в виде NASARI [Camacho-Collados et al, 2015], для представления текстовых структур конструируют вектора типа «мешка слов» Bag of Concepts (BoC), что в общем случае позволяет описать основные темы текстовых данных и таким образом смоделировать его семантику.

Другим подходом является применение моделей, основанных на знаниях (так называемых Knowledge-based models). Указанные семантические модели используют словари Wordnet [Fellbaum, 1998] и Wiktionary, что позволяет задавать явные отношения между концептами для определения степени их семантической связи:

1) явный семантический анализ – Explicit Semantic Analysis (ESA) [Gabrilovich, Markovitch, 2007]. ESA конструирует концептуальное пространство термина путем поиска по инвертированному индексу совпадений термина и понятия, что позволяет извлекать концепты, соответствующие целевым поисковым запросам;

2) существенный семантический анализ – Salient Semantic Analysis (SSA) [Hassan, Mihalcea, 2011]. Метод определяет значение слова по его непосредственному контексту и использует прямые ассоциации между концептами;

3) латентный семантический анализ Latent Semantic Analysis (LSA) [Deerwester et al, 1990]. Метод предназначен для построения матрицы совпадений концептов и документов из текстового корпуса, в которой концепты и документы, имеющие схожее значение, располагаются близко;

4) ориентированный (поисковый) семантический анализ Mined semantic analysis (MSA) [Shalaby, Zadrozny, 2017] – модель концептуального пространства, которая использует обучение без учителя для генерации семантических представлений текста. Метод MSA представляет текстовые структуры на основе механизма мешка слов, что позволяет выявлять неявные связи между понятиями путем анализа их ассоциаций:

$$S = S(w_i, w_j) = \begin{cases} 1, S_{cos}(w_i, w_j) \geq \lambda \\ \frac{S_{cos}(w_i, w_j)}{\lambda}, S_{cos}(w_i, w_j) < \lambda \end{cases}.$$

где w_i, w_j – концепты, $S(w_i, w_j)$ – оценка семантической схожести концептов, S_{cos} – косинусная мера сходства, λ – заданное расстояние между концептами.

5) модель случайных блужданий [Hughes, Ramage, 2007] предполагает построение концептуального пространства векторов – набора концептов на основе случайных блужданий в больших ассоциативных базах.

С позиций семантики текстовое (гипертекстовое) описание вакансии V представляет собой некоторый вид текста, который в отдельных случаях может иметь мультимедийную форму. В литературе рассматриваются различные модели графо-семантического анализа применительно к заданному виду графовых семантических структур [Zhang et al, 2013; Бермудес, 2017], [Логинова, 2024]: на основе анализа структур графов; на основе расчета мер информации; векторные модели семантического анализа; частотный анализ; методы на основе синтеза глоссариев, а также гибридные методы, объединяющие достоинства указанных. Наличие иерархической упорядоченности в текстовом (мультимедийном) описании вакансии позволяет применить методы графо-семантического анализа класса интеллект-карт [Логинов, 2024].

С точки зрения теории графов, текстовое описание вакансии ИТ-специалиста представляет собой ориентированное дерево с семантическими узлами и ребрами. Для решения рассматриваемой в работе задачи обобщения семантических графов широко используются методы определения схожести на основе механизмов обучения. В соответствии с [Guixiang et al, 2021] выделены следующие механизмы, позволяющие выполнять задачи оценки семантической схожести иерархически упорядоченных описаний вакансий:

- на основе расширенных графов:
 - уровень узлов (node2vec-PCA, Bag-of-vectors);
 - уровень структур графов (graph2vec, Neural networks with Structure2vec, Simple permutation-invariant GCN, SEED, DGCNN, N-Gram graph embedding);
- на основе методов графовых нейросетей:
 - модели GNN-CNN (GSimCNN, SimGNN);
 - модели двойных (сиамских) нейросетей (Siamese GCN, Higher-order Siamese GCN, Community-preserving Siamese GCN, Hierarchical Siamese GNN, Siamese GCN for image retrieval);
 - модели поисковых сетей (GMN: graph matching network, NeuralMCS: neural maximum common subgraph GMN, Hierarchical graph matching network, NCMN: neural graph matching network, GMNs for image matching);
- на основе глубоко обученных графовых ядер (Deep graph kernels, Deep divergence graph kernels, Graph neural tangent kernel).

Результаты анализа методов графо-семантического анализа показывают, что объединение подходов семантического анализа текста на основе мешка слов BoC с дополнительным учетом структуры вакансии как документа в виде графа позволяет повысить точность обобщения информации. Это позволяет сделать вывод о потенциальной возможности применения данного метода при решении задачи анализа множеств текстовых вакансий.

Методика обобщения информации из множества текстовых описаний вакансий

В рамках исследования сформулирована практическая задача, которая заключается в изучении вакансий ИТ-специалистов на предмет формирования требований к необходимым профессиональным компетенциям, динамически изменяемым с течением времени. Для решения данного вопроса возникает необходимость в разработке механизма обработки текстовых описаний вакансий специалистов в интересах обобщения требуемых навыков специалистов (знаний, умений, компетенций). Цель методики заключается в преобразовании множества текстовых вакансий, относящихся к некоторой выборке, сформированной по профессиональному принципу, в множество типовых профессиональных требований к специалистам в соответствующей группе вакансий:

$$A: \{V\} \xrightarrow{A} \{Tr\},$$

где V – структурированное текстовое представление вакансии ИТ-специалиста (в работе рассматриваются вакансии ИТ-специалистов на русском языке); $\{Tr\}$ – множество стабильно повторяющихся требований к профессиональным навыкам, знаниям и умениям, зафиксированных в описаниях вакансий.

Формальная модель описания вакансий

Исходной информацией о вакансиях специалистов является его текстовое (гипертекстовое) представление V . С формальной точки зрения в составе объявления о вакансии специалиста выделяются до нескольких десятков параметров [Herlambang, Nur, 2021], часть из которых является обязательным параметром (например, «название должности», «место работы»), а часть – опциональными (например, «размер оплаты»).

Смысловое содержание вакансий, используемое в работе, опирается на модель вакансий, рассмотренной в работе [Диков, Широбокова, 2022], и описывается формальной моделью:

$$V = \langle V^T, V^\Phi, V^c \rangle,$$

где V^T – текстовое (гипертекстовое или мультимедийное) описание вакансии; V^Φ – формальная модель вакансии; V^c – семантическое представление вакансии;

$$V^\Phi = \langle URL, Nm, Pay, SC, Cmp, EMP, ASK, Cond, PT, Reg \rangle,$$

где URL – ссылка вакансии на онлайн-сервисе вакансий, Nm – наименование вакансии (профессии), Pay – диапазон заработной платы, SC – график работы для данной вакансии (вахтовый метод, гибкий график, сменный график и т. д.), Cmp – информация о компании, которая предоставляет вакансию ИТ-специалиста, EMP – занятость для данной вакансии (полная, удаленная и т. д.), ASK – множество требований к основным профессиональным навыкам (знаниям, умениям, компетенциям) для соответствующей вакансии, $Cond$ – условия выполнения профессиональных обязанностей, PT – профессиональные обязанности, Reg – регион вакансии, указанный в объявлении.

В работе основное исследование связано с анализом требований к профессиональным навыкам, исходя из этого рассмотрим семантическую модель множества требований $ASK^c \in V^c$ в форме семантического дерева:

$$ASK^c: G = (V, E),$$

где узлы семантического описания требований к профессиональным навыкам из вакансий $v \in V$ – представляют собой термины в кортежи следующего вида:

$$v = \langle ask, req \rangle,$$

где ask – представляет собой лексическое выражение LE , которое весьма компактно (количество слов во фразе лежит в диапазоне от 1 до 15), req – лексическая оценка уровня требований {обязательные, рекомендуемые, сулящие преимущество}, описываются лексическими переменными: {«рекомендуется», «будет плюсом» ...}.

Примеры лексических выражений, задающих требования к профессиональным компетенциям:

$$LE_1 = \text{"Знание нотаций UML и IDEF"},$$

$$LE_2 = \text{"Знание английского языка на уровне Intermediate"},$$

$$LE_3 = \text{"Знание нотации BPMN 2.0, навыки моделирования в Business Studio (желательно)"}.$$

В отличие от выражений 1 и 2, выражение 3 имеет сложную структуру и после предобработки может быть представлено в форме следующего подграфа семантического дерева описания требований:

$$G_3 = (V_3, E_3), G_3 \in G,$$

$$V_3 = \{v_3^1, v_{31}^2, v_{32}^2\},$$

$$E_3 = \{e_{31}^2, e_{32}^2\},$$

где:

$$v_3^1 = \langle \text{"Знание нотации BPMN 2.0, навыки моделирования в Business Studio"}, \text{"желательно"} \rangle$$

$$v_{31}^2 = \langle \text{"Знание нотации BPMN 2.0"}, \text{"желательно"} \rangle$$

$$v_{32}^2 = \langle \text{"Навыки моделирования в Business Studio"}, \text{"желательно"} \rangle$$

e_{31}^2, e_{32}^2 – связи узлов семантического дерева типа «Часть-целое», показывающие путь от корня указанного дерева v_3^1 до листьев v_{31}^2, v_{32}^2 .

Описание методики извлечения обобщенных требований к профессиональным навыкам из текстовых описаний

Основные положения методики извлечения обобщенных требований к профессиональным навыкам представлены на рис. 1. Выполнение задачи реализуется посредством следующих шагов:

1. Формирование исходного множества текстовых описаний вакансий: $\{V\}$ – реализуется путем загрузки данных вакансий из нескольких источников и их преобразования к текстовому виду.
2. Преобразование текстовых описаний вакансий в семантическую модель требований к вакансиям:

$$\forall V_i \in \{V\}: V_i^T \rightarrow ASK_i^c,$$

$$\{V\} \rightarrow \{ASK^c\}.$$

Преобразование выполняется в три этапа:

- выделение отдельных строк требований с составными или простыми лексическими выражениями;
 - разбиение составных лексических выражений на простые;
 - представление требований в форме кортежа путем выделения лексической модели уровня требований (при отсутствии соответствующего выражения проставляется оценка «не задано»).
3. Преобразование текстовых данных описания вакансий в нормализованную форму, предназначенную для машинной обработки:

$$\{v_{ij}\} \rightarrow \{v_{ij}^n\},$$

где v_{ij} – j -е требование к i -й вакансии в текстовом форме, приведенное к нижнему регистру.

Преобразование выполняется в два этапа и заключается в двухступенчатом процессе фильтрации вспомогательных слов, не несущих значимой семантической нагрузки.

4. Векторизация текстовых данных. Для проведения векторизации текста применяется библиотека машинного обучения «scikit-learn» и её модуль «CountVectorizer», который преобразует входные текстовые данные в матрицу значений числовых ключей вида:

$$\{v_{ij}^n\} \rightarrow UID, \{v_k^{uid}\},$$

где UID – вектор базовых лексических единиц в нормализованной форме, v_k^{uid} – k -й блок требований ($k = (ij)$), $v_k^{uid} = \langle v_{uid}^{ask}, v_{uid}^{req} \rangle_k$, v_{uid}^{ask} – вектор ключей соответствия лексического выражения требований вектору UID , v_{uid}^{req} – лексическая оценка уровня требований.

5. Предобработка матрицы $\{v_{uid}^{ask}\}$ для снижения ее размера методом сингулярного разложения

$$\{v_{uid}^{ask}\} \rightarrow \{v_{uid}^{ask}\}^*.$$



Рис. 1. Методика извлечения обобщенных требований к профессиональным навыкам из текстовых описаний вакансий специалистов

Fig. 1. Method for extracting generalized professional skills requirements from text descriptions of specialist vacancies

6. Расчет попарной схожести требований v_i^{ask} и v_j^{ask} на основе расчета метрики взвешенного косинусного сходства:

$$s = s(v_i^{ask}, v_j^{ask}) = \frac{v_i^{ask} \odot v_j^{ask}}{\|v_i^{ask}\| \cdot \|v_j^{ask}\| \cdot \sum_m \alpha_m},$$

где \odot – операция взвешенного упорядоченного произведения координат векторов требований к ИТ-специалистам v_i^{ask} и v_j^{ask} в заданном семантическом пространстве:

$$le_{im} \odot le_{jm} = \alpha_m \cdot le_{im} \cdot le_{jm},$$

где требования $v_i^{ask}, v_j^{ask} \in \{v_{uid\ k}^{ask}\}^*$, α_m – весовой коэффициент значимости m -го по схожести концепта из вектора слов, координаты которого упорядочены по схожести.

Матрица попарной схожести требований S в форме лингвистических концептов имеет следующий вид:

$$S = \begin{matrix} & \begin{matrix} - & v_{11} & \dots & v_{ij} & \dots & v_{IJ} \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_{11} \\ \dots \\ v_{ij} \\ \dots \\ v_{IJ} \end{matrix} & \begin{matrix} 1,00 & \dots & s = s(v_{11}^{ask}, v_{ij}^{ask}) & \dots & s = s(v_{11}^{ask}, v_{IJ}^{ask}) \\ s = s(v_{ij}^{ask}, v_{11}^{ask}) & \dots & 1,00 & \dots & s = s(v_{ij}^{ask}, v_{IJ}^{ask}) \\ s = s(v_{IJ}^{ask}, v_{11}^{ask}) & \dots & s = s(v_{IJ}^{ask}, v_{ij}^{ask}) & \dots & 1,00 \end{matrix} \end{matrix}$$

7. Иерархическая кластеризация требований v_{ij} по уровню сходства. В рамках исследования рассматривался иерархический кластерный анализ. Метрикой (расстоянием между точками в пространстве требований) выступала величина обратная величине схожести объектов:

$$d(v_i^{ask}, v_j^{ask}) = 1 - s = 1 - s(v_i^{ask}, v_j^{ask}).$$

В качестве метода агломерации использовался метод средней связи:

$$d(M_k, M_l) = \frac{1}{n_k n_l} \sum_{v_i^{ask} \in M_k} \sum_{v_j^{ask} \in M_l} d(v_i^{ask}, v_j^{ask}).$$

Поскольку объединение элементов в группы однотипных требований целесообразно выполнять только для случая высокой степени схожести, то кластеризация выполняется до тех пор, пока расстояние между элементами (кластерами) будет меньше заданного: $d_k \leq d^{kp}$. Исходя из условий проведения исследований, критическое значение величины расстояния лежит в диапазоне: $d^{kp} \in [0,3; 0,4]$. Результатом кластеризации является множество кластеров, включающих от 1 до n требований в каждом:

$$\{v_{ij}^n\} \rightarrow \{v_k^{обоб}\},$$

где $v_k^{обоб} = \{\{v_{ik}^{ask}\}, \{v_{ik}^{req}\}\}$ – вектор, содержащий однотипные (схожие) требования, $\{v_{ik}^{ask}\} = \{v_{1k}^{ask}, v_{2k}^{ask} \dots v_{n_k k}^{ask}\}$, $\{v_{ik}^{req}\} = \{v_{1k}^{req}, v_{2k}^{req} \dots v_{n_k k}^{req}\}$.

8. Восстановление лингвистического значения требования:

$$v_k^{обоб, ask} \rightarrow v_k^{обоб, le}.$$

Задача решается нахождением i -го требования в k -м кластере v_{ik}^{ask} , наиболее близкого к среднему значению кластера. Таким образом для каждого кластера формируется кортеж, состоящий из лексического выражения требований из вакансии и количества повторений их в выборке: $v_k^{обоб, le} = \langle le, n \rangle$.

9. Оценка уровня необходимости требования выполняется путем обобщения нечетких лингвистических оценок на предварительно сформированной шкале. Все новые лингвистические оценки, отсутствующие в предварительно сформированном множестве, обрабатываются экспертом путем определения их функций принадлежности $\mu(x)$:

$$v_{ik}^{req} = \mu_{ik}(x),$$

$$v_k^{обоб, req} = \text{среднее}(\mu_{1k}(x), \mu_{2k}(x), \dots, \mu_{n_k k}(x)),$$

где среднее – оператор нахождения среднего значения нескольких нечетких чисел.

Далее полученная функция принадлежности переводится в лингвистическую оценку.

10. Формирование набора требований осуществляется путем использования предварительно выполненных настроек, либо путем указания оператором соответствующих настроек в автоматизированном режиме. Используется два параметра: минимальный уровень необходимости требования req^{min} и минимальная частота встречаемости требования ϑ^{min}

$$req^{min}, \vartheta^{min}: \{V\} \rightarrow \{v_k^{обоб}\} \xrightarrow{req^{min}, \vartheta^{min}} \{Tr\}.$$

Минимальная частота встречаемости требования ϑ^{min} – показывает долю вакансий, в которых встречалось требование: $\vartheta^{min} \in [0,4; 0,5]$.

Минимальный уровень необходимости требования $req^{min} = \text{"желательно"}$.

Выявление требований к специалистам из множества текстовых описаний вакансий

В рамках исследования выполнена работа по разработке макета информационной системы, позволяющей выделять актуальные обобщенные квалификационные требования специалистов из набора описаний вакансий.

Пример выполнения иерархической кластеризации требований к вакансиям

Исходные данные включают в свой состав описание трех вакансий, из которых было выделено 13 простых требований (лингвистических выражений). Матрица парной похожести лингвистических выражений и оценки необходимости требований (на основе частотного анализа) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Оценки парной похожести и необходимости требований
Assessment of paired similarity and necessity of requirements

v_{ij}	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	req
v_{11}	1	1,00	0,41	0,41	0,41	0,20	0,00	0,33	0,00	0,71	0,00	0,00	1,00	0,32	«не задано»
v_{12}	2	0,41	1,00	0,33	0,00	0,20	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,41	0,50	0,32	«требуется»
v_{13}	3	0,41	0,33	1,00	0,00	0,20	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,52	«требуется»
v_{14}	4	0,41	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,41	0,00	«желательно»
v_{15}	5	0,20	0,20	0,20	0,00	1,00	0,00	0,17	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	«требуется»
v_{16}	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	«требуется»
v_{21}	7	0,33	0,29	0,86	0,00	0,17	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,89	«требуется»
v_{22}	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,58	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	«требуется»
v_{23}	9	0,71	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,71	0,10	«желательно»
v_{31}	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	«не задано»
v_{32}	11	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,17	0,11	«не задано»
v_{33}	12	1,00	0,50	0,41	0,41	0,00	0,00	0,35	0,00	0,71	0,00	0,17	1,00	0,29	«не задано»
v_{34}	13	0,32	0,32	0,52	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00	0,10	0,00	0,11	0,29	1,00	«не задано»

Результат кластеризации с $d^{кр} = 0,5$ позволил сформировать 8 кластеров (иерархическая кластеризация приведена на рис. 2), обобщенные оценки требований к которым приведены ниже по тексту:

$$V^{обоб} = \{v_k^{обоб}\} = \{\{v_{ik}^{ask}\}, \{v_{ik}^{req}\}\}$$

$$V^{\text{обоб}} = \begin{Bmatrix} v_1^{\text{обоб}} \\ v_2^{\text{обоб}} \\ v_3^{\text{обоб}} \\ v_4^{\text{обоб}} \\ v_5^{\text{обоб}} \\ v_6^{\text{обоб}} \\ v_7^{\text{обоб}} \\ v_8^{\text{обоб}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \langle \{v_{11}^{\text{ask}}, v_{23}^{\text{ask}}, v_{33}^{\text{ask}}\}, \{v_{11}^{\text{req}}, v_{23}^{\text{req}}, v_{33}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{12}^{\text{ask}}\}, \{v_{12}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{13}^{\text{ask}}, v_{21}^{\text{ask}}, v_{34}^{\text{ask}}\}, \{v_{13}^{\text{req}}, v_{21}^{\text{req}}, v_{34}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{14}^{\text{ask}}\}, \{v_{14}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{15}^{\text{ask}}\}, \{v_{15}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{16}^{\text{ask}}, v_{22}^{\text{ask}}\}, \{v_{16}^{\text{req}}, v_{22}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{31}^{\text{ask}}\}, \{v_{31}^{\text{req}}\} \rangle \\ \langle \{v_{32}^{\text{ask}}\}, \{v_{32}^{\text{req}}\} \rangle \end{Bmatrix}$$

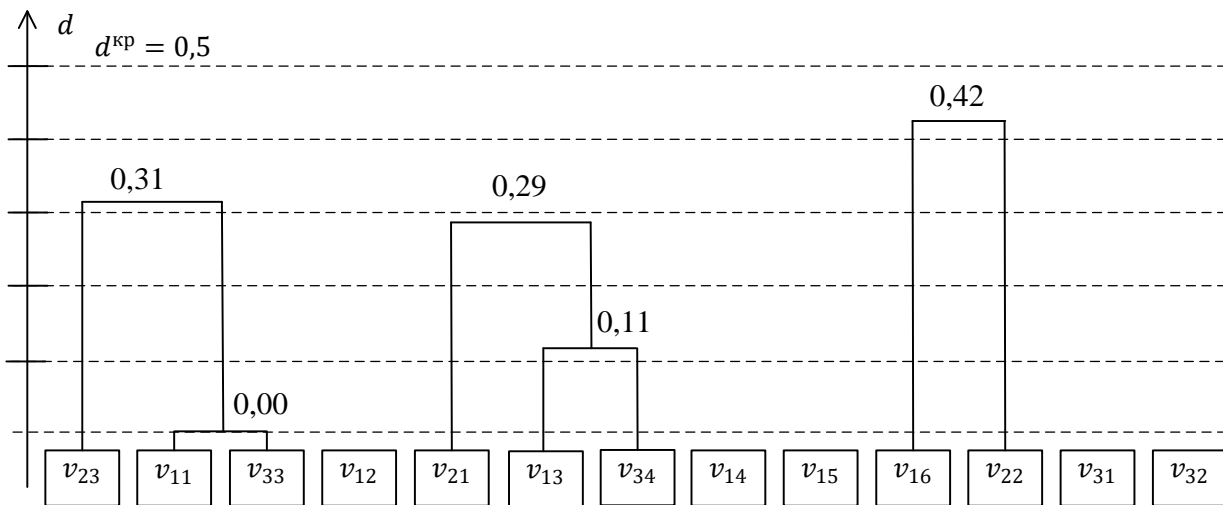


Рис. 2. Результаты иерархической кластеризации требований, выраженных в лингвистической форме
Fig. 2. Results of hierarchical clustering of requirements expressed in linguistic form

$$V^{\text{обоб,рек}} = \begin{Bmatrix} \text{"между требуется и желательно"} \\ \text{"требуется"} \\ \text{"требуется"} \\ \text{"желательно"} \\ \text{"требуется"} \\ \text{"требуется"} \\ \text{"требуется"} \end{Bmatrix}$$

Результаты формирования обобщенных квалификационных требований:

- при $req^{\min} = \text{"желательно"}, \vartheta^{\min} = 1$:
 $\{\text{Тр}\} = \{v_{11}^{\text{ask}}, v_{12}^{\text{ask}}, v_{34}^{\text{ask}}, v_{14}^{\text{ask}}, v_{15}^{\text{ask}}, v_{16}^{\text{ask}}, v_{31}^{\text{ask}}, v_{32}^{\text{ask}}\};$
- при $req^{\min} = \text{"требуется"}, \vartheta^{\min} = 1$:
 $\{\text{Тр}\} = \{v_{12}^{\text{ask}}, v_{34}^{\text{ask}}, v_{15}^{\text{ask}}, v_{16}^{\text{ask}}, v_{31}^{\text{ask}}, v_{32}^{\text{ask}}\};$
- при $req^{\min} = \text{"желательно"}, \vartheta^{\min} = 2$:
 $\{\text{Тр}\} = \{v_{11}^{\text{ask}}, v_{34}^{\text{ask}}, v_{16}^{\text{ask}}\};$
- при $req^{\min} = \text{"требуется"}, \vartheta^{\min} = 2$:
 $\{\text{Тр}\} = \{v_{34}^{\text{ask}}, v_{16}^{\text{ask}}\}.$

Разработка программного макета информационной системы по выявлению и анализу квалификационных требований к ИТ-специалистам

Для решения задачи исследования разработан прототип системы «ВекторКогнитив» [Щербин, 2024], предназначенный для анализа вакансий, их обобщения и возможности сопоставления требований с заявляемым уровнем компетенций. Программный макет включает в себя компоненты (разработан на базе веб-фреймворка «Django»):

- загрузки и предобработки данных с рекрутинговых ресурсов («HeadHunter», «Авито», а также поддерживается ручная загрузка данных);
- формирования подмножества вакансий из набора загруженных в базу данных (на основе фильтрации по дате размещения и тематике) и их обработке с целью формирования множества требований в соответствии с предложенной методикой;
- отображения и визуализации результатов обработки данных с использованием сводной аналитической панели (дашборда). Дашборд представляет собой визуальную панель, на которой отображаются данные, необходимые для анализа. С помощью дашборда можно объединить все необходимые данные на одной странице. На рис. 3 представлен интерфейс разработанного автором программного продукта, который помогает визуальнo представить результат выполнения латентно-семантического анализа данных;
- хранения наборов загруженных данных и результатов их обработки в форме множеств требований (разработана структура базы данных).

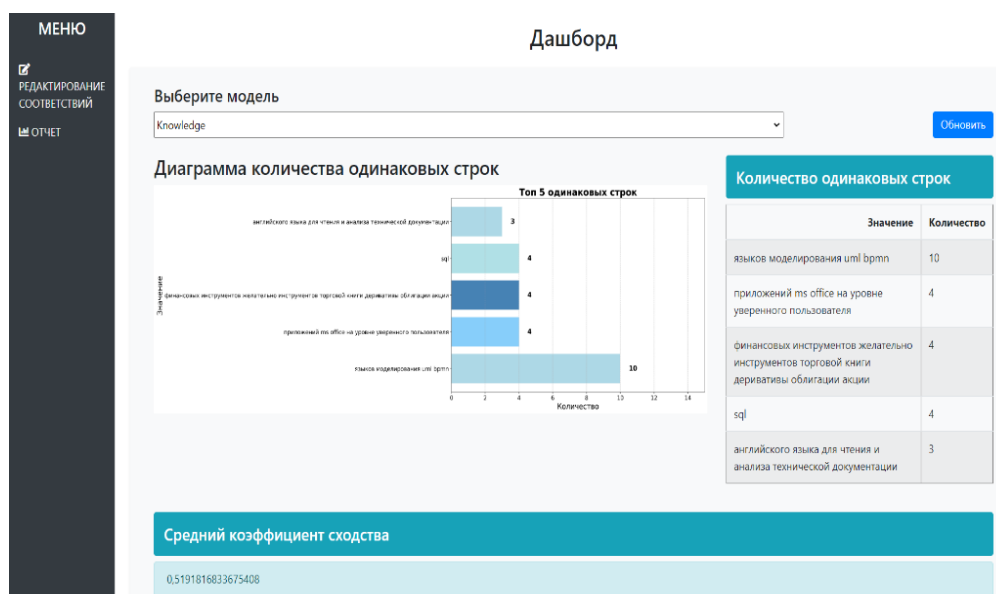


Рис. 3. Пример аналитического дашборда (сводного отчета)
с анализом квалификационных требований в программном средстве «ВекторКогнитив»

Fig. 3. Example of VectorCognitive software analytical dashboard
with the analysis of qualification requirements

Тестирование разработанной методики и программного средства выполнено на выборке данных вакансий «HeadHunter». Формирование обобщенных требований к квалификации выполнено для следующих категорий: бизнес-аналитики, DevOps-инженеры и разработчики (инженеры-программисты). В рамках эксперимента загружено следующее количество вакансий для каждой категории (табл. 2).

Для каждой группы специалистов было выделено множество первичных требований к навыкам и знаниям (табл. 3):

$$\forall V_i \in \{V\}: V_i^T \rightarrow ASK_i^c = \langle ASK_i^{c, \text{знан}}, ASK_i^{c, \text{нав}} \rangle, \\ \{V\} \rightarrow \{ASK^c\} = \{ASK_i^{c, \text{знан}}, ASK_i^{c, \text{нав}}\}.$$

Таблица 2
Table 2

Количество вакансий по профессиям
Number of vacancies by profession

Профессия	Количество вакансий
Бизнес-аналитики	450
DevOps-инженеры	160
Разработчики	460

Таблица 3
Table 3

Первичные требования к специалистам по категориям
Primary requirements for specialists by category

Профессия	Категории	
	навыки	знания
Бизнес-аналитики	1860	220
DevOps-инженеры	880	80
Разработчики	2300	200

В результате проведения анализа с использованием разработанного приложения «ВекторКогнитив» для рассмотренных профессий обобщены требования к навыкам и знаниям. Результаты эксперимента – сформированные перечни требований приведены в табл. 4. Пример частоты встречаемости указанных требований приведен на рис. 4.

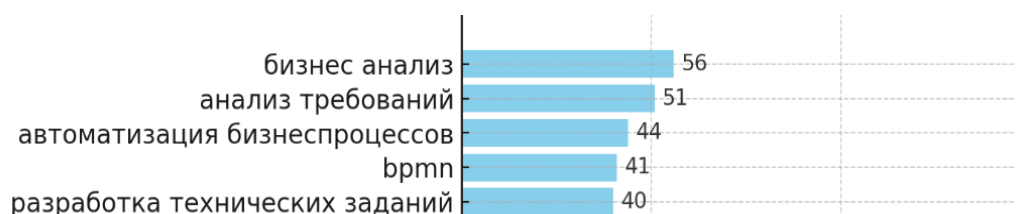


Рис. 4. Результаты эксперимента по формированию требований к навыкам
Fig. 4. Results of the experiment to form skill requirements

Таблица 4
Table 4

Результаты эксперимента по выявлению требований
к профессиональным знаниям специалистов
Results of the experiment to identify the requirements for professional knowledge of specialists

Профессия	Бизнес-аналитик	DevOps-инженер	Разработчик
1	2	3	4
Требования к навыкам (пять наиболее встречающихся)	анализ бизнес-требований; бизнес-анализ; автоматизация бизнес-процессов; моделирование бизнес-процессов; навык работы с bpmn;	навык работы в kubernetes; навык работы docker; навык работы ansible; навык работы с postgresql; навык работы gitlab;	навык работы на javascript; навык работы с git; навык работы sql; навык работы spring framework; навык работы с python;

1	2	3	4
Требования к знаниям (пять наиболее встречающихся)	знание языков моделирования uml и bpmn; знание приложений ms office на уровне уверенного пользователя; знание финансовых инструментов; знание sql; знание английского языка для чтения и анализа технической документации;	знание инфраструктуры кода; знание работы облачных технологий; знание языков программирования; знание основ кибербезопасности; знание основ работы с базами данных;	знание языков программирования, фреймворков и библиотек; знание работы web-сервисов; знание архитектуры ПО; знание механизмов тестирования и отладки; знание облачных платформ.

Результат работы программного средства «ВекторКогнитив» на реальных исходных данных текстовых описаний вакансий подтверждает возможность решения задачи извлечения типовых требований из описания множества вакансий методами графо-семантического анализа с использованием предложенной методики.

Заключение

В работе рассмотрена проблема анализа наборов текстовых описаний вакансий специалистов с целью извлечения и обобщения информации о требованиях с учетом уровня «желательности». Результаты проведенного анализа показали, что решение указанной задачи рассмотрено в литературе путем непосредственного семантического анализа корпуса вакансий, либо методом извлечения данных через поисковые запросы, однако они не учитывают уровень неопределённости необходимости требования. Для снятия этого ограничения в работе предложен подход к анализу текстовых данных на основе объединения графо-семантического анализа с нечеткой лингвистической моделью уровня «желательности». На основе указанного подхода предложена формальная модель описания вакансий и методика извлечения обобщенных требований к профессиональным навыкам из текстовых описаний вакансий специалистов. В результате проведения экспериментального анализа на основе корпуса вакансий с использованием разработанного приложения «ВекторКогнитив» для профессий бизнес-аналитика, разработчика и DevOps-инженер сформированы требования к часто встречающимся навыкам и знаниям с учетом уровня их необходимости. Результаты показали возможность комбинации нечеткой лингвистической модели и графо-семантического анализа для формирования обобщенных требований к специалистам.

Список литературы

- Бермудес С.Х.Г. 2017. Метод измерения семантического сходства текстовых документов. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 3(188): 17–29. DOI 10.23683/2311-3103-2017-3-17-29.
- Деев М.В. 2024 Архитектура системы интеллектуального анализа компетенций для актуализации образовательных программ вуза. *Информатика и образование*, 39(3): 29–43. DOI 10.32517/0234-0453-2024-39-3-29-43.
- Диков М.Е., Широбокова С.Н. 2022. О проектных решениях цифрового инструментария профориентации по определению востребованности направлений подготовки на основе анализа описаний вакансий. *Инженерный вестник Дона*, 12(96): 65–74.
- Иванченко О.В., Барауля Е.В. 2022. Влияние обработки естественного языка (NLP) на цифровой маркетинг. Развитие логистики в условиях санкционных ограничений и международной

- экономической интолерантности: материалы международной научно-практической конференции: XVIII Южно-Российский логистический форум, Ростов-на-Дону, 07–08 октября 2022 года. Ростовский государственный экономический университет «РИНХ»; Южно-Российская ассоциация логистики. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет «РИНХ». 133–137.
- Курушин Д.С., Леонов Е.Р., Соболева О.В. 2018. О возможном подходе к автоматическому построению денотатного графа гипертекста. Информационная структура текста. Сб.статей. РАН. ИНИОН. М., 113–118.
- Логинов И.В., Логинова Ю.В. 2024. Сравнение схожести интеллект-карт в задачах маркетингового анализа. *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки*, Т. 9, № 3(33): 410–423. DOI 10.21603/2500-3372-2024-9-3-410-423.
- Логинова Ю.В., Логинов И.В. 2024. Применение семантического анализа в стратегическом маркетинге при использовании инструмента интеллект-карт. *Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования*, Т. 10, № 1(37): 103–123. DOI 10.21684/2411-7897-2024-10-1-103-123.
- Минаев Д.В. 2022. Исследование компетентностной модели образовательной программы на основе интеллектуального анализа профессиональных требований рынка труда. *Управленческое консультирование*, 10: 65–83.
- Перстенева Н.П., Кучко А.Ю. 2020. Компаративный анализ описаний вакансий и рабочих программ. Наука XXI века: актуальные направления развития. 1-2: 37–42.
- Щербин А.А. 2024. Применение методов обработки естественного языка для решения задач анализа вакансий бизнес-аналитиков на предмет требований к знаниям. *Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки*, 23: 134–138.
- Яруллин Д.В. 2019. Автоматическое построение профессионального портрета IT-специалиста на основе текстов вакансий. *Филология в XXI веке*, 1(3): 17–21.
- Baroni M., Dinu G., Kruszewski G. 2014. Don't count, predict! a systematic comparison of context-counting vs. context-predicting semantic vectors. In Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 1: 238–247.
- Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I. 2003. Latent dirichlet allocation. *The Journal of machine Learning research*, 3: 993–1022.
- Camacho-Collados J., Pilehvar M.T., Navigli R. 2015. Nasari: a novel approach to a semantically-aware representation of items. In Proceedings of NAACL, 567–577.
- Collobert R., Weston J. 2008. A unified architecture for natural language processing: Deep neural networks with multitask learning. In Proceedings of the 25th international conference on Machine learning, 160–167. ACM.
- Deerwester S.C., Dumais S.T., Landauer Th.K., Furnas G.W., Harshman R.A. 1990. Indexing by latent semantic analysis. *JASIS*, 41(6): 391–407.
- Fellbaum Ch. 1998. WordNet: An Electronic Lexical Database. Bradford Books.
- Gabrilovich E., Markovitch Sh. 2007. Computing semantic relatedness using wikipedia-based explicit semantic analysis. In IJCAI, 7: 1606–1611.
- Guixiang M., Nesreen A., Theodore W., Philip Y. 2021. Deep graph similarity learning: a survey. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 35. 10.1007/s10618-020-00733-5.
- Hassan S., Mihalcea R. 2011. Semantic relatedness using salient semantic analysis. In AAAI.
- Herlambang P., Nur R. 2021. Job Standard Parameters from Online Job Vacancy. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 46. 10.12962/j23546026.y2020i6.8905.
- Hughes Th., Ramage D. 2007. Lexical Semantic Relatedness with Random Graph Walks. Conference: EMNLP-CoNLL 2007, Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning, June 28-30, 2007, Prague, Czech Republic. 581–589.
- Landauer Th.K., Laham D., Rehder B., Schreiner M.E. 1997. How well can passage meaning be derived without using word order? A comparison of latent semantic analysis and humans. In Proceedings of the 19th annual meeting of the Cognitive Science Society, 412–417. Citeseer.
- Litecky Ch., Aken A., Ahmad A., Nelson, H. 2010. Mining for Computing Jobs. *Software, IEEE*, 27: 78–85. 10.1109/MS.2009.150.

- Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. 2013. Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
- Pennington J., Socher R., Manning Ch. 2014. Glove: Global vectors for word representation. Proceedings of the Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2014), 12: 1532–1543.
- Shalaby W., Zadrozny W. 2017. Mined semantic analysis: A new concept space model for semantic representation of textual data. 2122–2131. 10.1109/BigData.2017.8258160.
- Vanetik N., Kogan G. 2023. Job Vacancy Ranking with Sentence Embeddings, Keywords, and Named Entities. *Information*, 14: 468. 10.3390/info14080468.
- Zhang Z., Gentile A., Ciravegna F. 2013. Recent advances in methods of lexical semantic relatedness – A survey. *Natural Language Engineering*, 19. 10.1017/S1351324912000125.
- Wowczko I. 2015. Skills and Vacancy Analysis with Data Mining Techniques. *Informatics*, 2: 31–49. 10.3390/informatics2040031.

References

- Bermudes S.H.G. 2017. Metod izmereniya semanticheskogo skhodstva tekstovykh dokumentov [A method for measuring the semantic similarity of text documents]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3(188): 17–29. DOI 10.23683/2311-3103-2017-3-17-29.
- Deev M.V. 2024. Arhitektura sistemy intellektual'nogo analiza kompetentsiy dlya aktualizatsii obrazovatel'nykh programm vuza [Architecture of the intellectual competence analysis system for updating university educational programs]. *Informatika i obrazovanie*, 39(3): 29–43. DOI 10.32517/0234-0453-2024-39-3-29-43.
- Dikov M.E., Shirobokova S.N. 2022. O proektnykh resheniyakh cifrovogo instrumen-tariya proforientatsii po opredeleniyu vostrebovannosti napravleniy podgotovki na osnove analiza opisaniy vakansiy [On design solutions for a digital career guidance tool to determine the relevance of training areas based on the analysis of job descriptions]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 12(96): 65–74.
- Ivanchenko O.V., Baraulya E.V. 2022. Vliyanie obrabotki estestvennogo yazyka (NLP) na cifrovoj marketing [The impact of natural language processing (NLP) on digital marketing]. *Razvitie logistiki v usloviyakh sankcionnykh ogranicheniy i mezhdunarod-noy ekonomicheskoy intolerantnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konfe-rencii: XVIII Yuzhno-Rossiyskiy logisticheskij forum, Rostov-na-Donu, 07–08 oktyabrya 2022 goda. Rostovskij gosudarstvennyy ekonomicheskij universitet* ["RINH"]; Yuzhno-Rossiyskaya as-sociaciya logistiki. Rostov-na-Donu: Rostovskij gosudarstvennyy ekonomicheskij universi-tet ["RINH"], 133–137.
- Kurushin D.S., Leonov E.R., Soboleva O.V. 2018. O vozmozhnom podhode k avtomaticheskomu postroeniyu denotatnogo grafa giperteksta [On a possible approach to the automatic construction of a denotation graph of hypertext]. *Informacionnaya struktura teksta. Sb.statej. RAN. INION. M.*, 113–118.
- Loginov I.V., Loginova Yu.V. 2024. Sravnenie skhozhesti intellekt-kart v zadachah marketingovogo analiza [Comparison of the similarity of intelligence maps in marketing analysis tasks]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Poli-ticheskie, sociologicheskie i ekonomicheskie nauki*, T. 9, № 3(33): 410–423. DOI 10.21603/2500-3372-2024-9-3-410-423.
- Loginova Yu. V., Loginov I.V. 2024. Primenenie semanticheskogo analiza v strategi-cheskom marketinge pri ispol'zovanii instrumenta intellekt-kart [Application of semantic analysis in strategic marketing when using the intelligence maps tool]. *Vestnik Tyumenskogo gos-udarstvennogo universiteta. Social'no-ekonomicheskie i pravovye issledovaniya*, T. 10, № 1(37): 103–123. DOI 10.21684/2411-7897-2024-10-1-103-123.
- Minaev D.V. 2022. Issledovanie kompetentnostnoj modeli obrazovatel'noj pro-grammy na osnove intellektual'nogo analiza professional'nykh trebovanij rynka truda [The study of the competence model of the educational program based on the intellectual analysis of professional requirements of the labor market]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*, 10: 65–83.
- Persteneva N.P., Kuchko A.Yu. 2020. Komparativnyy analiz opisaniy vakansiy i rabochih programm [Comparative analysis of job descriptions and work programs]. *Nauka XXI veka: aktual'nye napravleniya razvitiya*. 1-2: 37–42.
- Shcherbin A.A. 2024. Primenenie metodov obrabotki estestvennogo yazyka dlya resheniya zadach analiza vakansiy biznes-analitikov na predmet trebovanij k znaniyam [Application of natural language processing methods to solve the problems of analyzing business analyst vacancies for knowledge requirements]. *Obrazovanie i nauka bez granic: social'no-gumanitarnye nauki*, 23: 134–138.



- Yarullin D.V. 2019. Avtomaticheskoe postroenie professional'nogo portreta IT-specialista na osnove tekstov vakansij [Automatic construction of a professional portrait of an IT specialist based on vacancy texts]. *Filologiya v XXI veke*, 1(3): 17–21.
- Baroni M., Dinu G., Kruszewski G. 2014. Don't count, predict! a systematic comparison of context-counting vs. context-predicting semantic vectors. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 1: 238–247.
- Blei D.M., Ng A.Y., Jordan M.I. 2003. Latent dirichlet allocation. *The Journal of machine Learning research*, 3: 993–1022.
- Camacho-Collados J., Pilehvar M.T., Navigli R. 2015. Nasari: a novel approach to a semantically-aware representation of items. In *Proceedings of NAACL*, 567–577.
- Collobert R., Weston J. 2008. A unified architecture for natural language processing: Deep neural networks with multitask learning. In *Proceedings of the 25th international conference on Machine learning*, 160–167. ACM.
- Deerwester S.C., Dumais S.T., Landauer Th.K., Furnas G.W., Harshman R.A. 1990. Indexing by latent semantic analysis. *JASIS*, 41(6): 391–407.
- Fellbaum Ch. 1998. WordNet: An Electronic Lexical Database. Bradford Books.
- Gabrilovich E., Markovitch Sh. 2007. Computing semantic relatedness using wikipedia-based explicit semantic analysis. In *IJCAI*, 7: 1606–1611.
- Guixiang M., Nesreen A., Theodore W., Philip Y. 2021. Deep graph similarity learning: a survey. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 35. 10.1007/s10618-020-00733-5.
- Hassan S., Mihalcea R. 2011. Semantic relatedness using salient semantic analysis. In *AAAI*.
- Herlambang P., Nur R. 2021. Job Standard Parameters from Online Job Vacancy. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 46. 10.12962/j23546026.y2020i6.8905.
- Hughes Th., Ramage D. 2007. Lexical Semantic Relatedness with Random Graph Walks. Conference: EMNLP-CoNLL 2007, Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning, June 28-30, 2007, Prague, Czech Republic. 581–589.
- Landauer Th.K., Laham D., Rehder B., Schreiner M.E. 1997. How well can passage meaning be derived without using word order? A comparison of latent semantic analysis and humans. In *Proceedings of the 19th annual meeting of the Cognitive Science Society*, 412–417. Citeseer.
- Litecky Ch., Aken A., Ahmad A., Nelson, H. 2010. Mining for Computing Jobs. *Software, IEEE*, 27. 78-85. 10.1109/MS.2009.150.
- Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. 2013. Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
- Pennington J., Socher R., Manning Ch. 2014. Glove: Global vectors for word representation. *Proceedings of the Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2014)*, 12: 1532–1543.
- Shalaby W., Zadrozny W. 2017. Mined semantic analysis: A new concept space model for semantic representation of textual data. 2122–2131. 10.1109/BigData.2017.8258160.
- Vanetik N., Kogan G. 2023. Job Vacancy Ranking with Sentence Embeddings, Keywords, and Named Entities. *Information*, 14: 468. 10.3390/info14080468.
- Zhang Z., Gentile A., Ciravegna F. 2013. Recent advances in methods of lexical semantic relatedness – A survey. *Natural Language Engineering*, 19. 10.1017/S1351324912000125.
- Wowczko I. 2015. Skills and Vacancy Analysis with Data Mining Techniques. *Informatics*, 2: 31–49. 10.3390/informatics2040031.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 11.06.2025

Поступила после рецензирования 07.09.2025

Принята к публикации 10.09.2025

Received June 11, 2025

Revised September 07, 2025

Accepted September 10, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Логинов Илья Валентинович, доктор технических наук, сотрудник Академии ФСО России, г. Орел, Россия

Щербин Алексей Алексеевич, студент, Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС, г. Орел, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya V. Loginov, Doctor of Technical Sciences, employee at the Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel, Russia

Aleksey A. Sherbin, Student of Mid-Russia Institute of Management, RANEPA branch in Orel, Orel, Russia



УДК 004.65
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-946-955
EDN UUNTEL

Проектирование структуры базы данных аналитическо-информационной системы учреждения образования

¹Акапьев В.Л., ²Савотченко С.Е.

¹Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина
Россия, Белгород, 308024, ул. Горького, 71

²Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе
Россия, Москва, 117997, ул. Миклухо-Маклая, 23
akapevvl@yandex.ru, savotchenkose@mgri.ru

Аннотация. В условиях цифровизации систем образования на различных уровнях разработка информационных систем поддержки принятия управленческих решений и сопровождения образовательного процесса в учебных заведениях требует повышенного внимания и отдельной проработки вопросов их моделирования, проектирования, выбора архитектуры, технологий и средств создания. С учетом отмеченного, статья посвящена изучению особенностей проектирования структуры базы данных аналитическо-информационной системы учреждения образования. В процессе исследования предложен алгоритм создания системы, основанный на сервис-ориентированной архитектуре. Согласно данному подходу, система будет состоять из нескольких дискретных компонентов с набором определенных функций, и каждая единица может работать и обновляться независимо.

Ключевые слова: база данных, аналитика, учреждение образования, система, архитектура, таблица, информационная система

Для цитирования: Акапьев В.Л., Савотченко С.Е. 2025. Проектирование структуры базы данных аналитическо-информационной системы учреждения образования. *Экономика. Информатика*, 52(4): 946–955. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-946-955; EDN UUNTEL

Designing the Structure of the Analytical Information System Database for an Educational Institution

¹Viktor L. Akapyev, ²Sergey E. Savotchenko

¹Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation
71 Gorky St., Belgorod 308024, Russia

²Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23 Miklukho-Maklay St., Moscow 117997, Russia
akapevvl@yandex.ru, savotchenkose@mgri.ru

Abstract. In the context of the digitization of education systems at various levels, the development of information systems to support management decision-making and the educational process in educational institutions requires increased attention and separate consideration of issues related to their modeling, design, selection of architecture and technologies, and means of creation. Taking this into account, this article is devoted to studying the peculiarities of designing the database structure of an analytical and information system for an educational institution. A comparative analysis of the educational institution's performance before and after the implementation of the analytical and information system is conducted. In the course of the study, the authors propose an algorithm for creating a system based on service-oriented architecture. According to this approach, the system will consist of several discrete components with a set of specific functions, and each unit

© Акапьев В.Л., Савотченко С.Е., 2025

can operate and be updated independently. The main stages of creating an automated information system for an educational institution and its main modules are described in detail.

Keywords: database, analytics, educational institution, system, architecture, table, information system

For citation: Akap'yev V.L., Savotchenko S.E. 2025. Designing the Structure of the Analytical Information System Database for an Educational Institution. *Economics. Information technologies*, 52(4): 946–955 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-946-955; EDN UUNTEL

Введение

Достижения в области учебных технологий и цифровых услуг вызвали повышенный интерес к использованию широкого спектра различных данных учреждениями образования для предоставления ориентированной на слушателя информации с целью улучшения качества обучения и преподавания, а также принятия эффективных управленческих решений [Султанова, 2023].

На сегодняшний день проведен ряд исследований, некоторые из которых были посвящены различным инструментам аналитики обучения, другие – практикам и политикам информатизации образовательного процесса, а третьи – внедрению аналитическо-информационных систем (далее – АИС) на уровне школ, в высших учебных заведениях и в национальном масштабе [Акапьев, 2023].

В табл. 1 представлены полученные в результате анализа обобщенные данные, которые наглядно отражают эффективность и актуальность использования АИС в сфере образования. Таблица основана на систематизации данных Министерства науки и высшего образования РФ, аналитических обзорах, отражающих результаты цифровизации образования в странах ЕС, а также на материалах Всемирного банка и OECD, посвящённых влиянию информационных систем на администрирование и управление в сфере образования.

Таблица 1

Table 1

Сравнительная эффективность функционирования образовательного учреждения
до и после внедрения АИС

Comparative efficiency of the educational institution before and after the implementation of the AIS

Показатель	До внедрения АИС	После внедрения АИС	Изменение / эффект
Время обработки заявки студента	3–4 дня	1–2 часа	Сокращено в 24–48 раз
Время составления отчета о результатах деятельности	7 дней	10 минут	Сокращено более чем в 100 раз
Ввод расписания занятий	2 дня	30 минут	Сокращено
Ошибки при учете посещаемости	12 %	<1 %	Снижение ошибок более чем в 12 раз
Несоответствия в отчетности (мес.)	8	0–1	Почти полное устранение
Утерянные/дублирующиеся записи	до 5 %	0 %	Устранение потерь данных
Время, затрачиваемое педагогом на бумажную отчетность в неделю	5 часов	30 минут	Снижение нагрузки в 10 раз
Объем бумажной документации учреждения образования в месяц	~1200 страниц	<100 страниц	Снижение более чем на 90 %
Количество сотрудников, занятых архивной работой	2	0,5	Сокращение в 4 раза
Удовлетворенность студентов	58 %	92 %	Повышение на 34 п. п.
Удовлетворенность преподавателей	64 %	89 %	Повышение на 25 п. п.
Удовлетворенность административного персонала	51 %	94 %	Повышение на 43 п. п.
Среднее количество сэкономленных человеко-часов в месяц	–	~250 часов	Новое достижение благодаря автоматизации



Однако, несмотря на очевидную эффективность и актуальность АИС для образовательной сферы, принципы и алгоритмы ее создания, учитывающие специфику учебных процессов [Акапьев, 2018], потребности слушателей и педагогов [Гуржий, 2019], проработаны недостаточно, имеющиеся публикации фрагментарны и несистемны. Ученые отмечают, что проектирование и внедрение АИС в образовании сопряжено со сложными процессами и требует постоянных усилий [Беляев, 2024]. В связи с этим разработка и внедрение АИС в учебных заведениях часто носит ситуативный характер, что ограничивает возможности для воспроизведения и совершенствования успешных сценариев.

Таким образом, необходимость проведения дальнейших исследований в данном направлении предопределила выбор темы статьи. Цель исследования заключается в рассмотрении особенностей проектирования структуры базы данных АИС учреждения образования в контексте цифровой трансформации общества.

Научная новизна работы проявляется в разработке структуры базы данных АИС учреждения образования, отражающей ее элементы с описанием функционального назначения и основного содержания информационного ресурса с детальным описанием этапов ее проектирования. Это позволяет установить перечень и структуру технологий, которые могут использоваться для создания базы данных АИС учреждения образования, которые оказываются наиболее эффективными именно в условиях интенсификации цифровой трансформации высшего образования в России.

Объекты и методы исследования

Основными объектами исследования являются процесс проектирования реляционной базы данных для автоматизированной информационной системы (АИС) учебного заведения, соответствующей современным условиям цифровой трансформации системы высшего образования, ее структура, включающая определенный набор функциональных элементов, их назначение и основное содержание информационных ресурсов, обеспечивающих укрепление цифровой инфраструктуры образовательных учреждений, способствующих принятию решений на основе данных и поддержанию устойчивого, масштабируемого и безопасного управления академической информацией, что является ценным вкладом в повышение эффективности работы и качества образовательных услуг в высших учебных заведениях.

Корректное выделение объектов исследования позволит создать функциональную базу данных, которая повышает скорость извлечения данных, улучшает их целостность и упрощает доступ для преподавателей и администраторов.

Предметом исследования является алгоритм проектирования структуры базы данных АИС учреждения образования, основанный на сервис-ориентированной архитектуре, обеспечивающий высокую гибкость и расширяемость системы с четким выделением основных шагов физического проектирования АИС.

Методы исследования включают системный анализ, теоретико-прогностическое и инфологическое моделирование, логическое (дatalogическое) проектирование и физическое проектирование. Эти методы помогают определить структуру базы данных, создать схему на основе конкретной модели данных и выбрать решения для физической реализации.

Результаты и обсуждение

Прежде всего, отметим, что АИС учреждения образования представляет собой единую информационную систему учебного заведения и сети его подразделений, которая основана на корпоративной коммуникативной инфраструктуре, предполагает использование современного цифрового оборудования, компьютерной техники и программных средств с последующей интеграцией различных информационных систем в общий комплекс взаимосвязанных программных продуктов и технических решений [Xiaomin Huang, 2022].

Для эффективной разработки и внедрения АИС в учреждениях образования такая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- использование открытой архитектуры;
- наличие модульной организации;
- кроссплатформенность;
- минимизация требований к программному обеспечению;
- поддержка разграничения прав доступа пользователей системы;
- поддержка одновременного сетевого доступа к системе разных пользователей;
- внедрение развитых механизмов защиты хранения и передачи данных;
- наличие моделей данных, по которым можно сгенерировать структуры баз данных и структуры данных программных модулей;
- наличие моделей, с использованием которых можно проверить соответствие структур данных информационной системы текущему состоянию предметной области с возможностью корректировки.

Одним из основных направлений работы в процессе проектирования структуры базы данных АИС учреждения образования является анализ предметной области – образовательного процесса и его организационного сопровождения, с построением соответствующих моделей, которые в дальнейшем могут быть отражены в структуре данных и программных элементах [Hui Sao, 2022]. С учетом отмеченного, в таблице 2 представлена ориентированная структура базы данных АИС.

Таблица 2
Table 2

Структура базы данных АИС учреждения образования
Structure of the AIS database of an educational institution

Элемент/ пользователь	Функциональное назначение	Основное содержимое информационного ресурса
1	2	3
Обучающиеся	Систематизация персонализированных сведений о студентах, аспирантах и слушателях	Фамилия, имя, отчество; дата рождения; статус и форма обучения; принадлежность к академической группе; основание поступления и др.
Учебные группы	Классификация студентов по учебным потокам и образовательным программам	Название группы, шифр, год набора, образовательное направление, информация о кураторе
Научно-преподавательский персонал	Учёт сотрудников, задействованных в учебной, научной и организационной деятельности	Фамилия, имя, отчество; должность; структурное подразделение; степень, звание; научные интересы и иная характеристика квалификации
Кафедры и факультеты	Представление академической и административной структуры вуза	Наименование кафедры или отделения; принадлежность к факультету; сведения о руководителе подразделения
Дисциплины и учебные курсы	Формализация перечня преподаваемых учебных модулей	Название дисциплины; тип; объём учебной нагрузки; форма итоговой аттестации; прикрепленная кафедра
Расписание учебного процесса	Описание структуры учебного плана в привязке ко времени, аудиториям и участникам	Дата, время проведения занятия, аудитория, преподаватель, учебная группа, наименование дисциплины
Результаты обучения	Хранение итогов текущего и промежуточного контроля знаний обучающихся	Дата оценки, дисциплина, форма контроля, балльная или шкальная оценка, сведения о проверяющем преподавателе
Посещаемость	Регистрация фактов присутствия или отсутствия на занятиях	Дата, статус посещения (присутствовал / отсутствовал / уважительная причина), учебное занятие, обучающийся

Окончание табл. 2
 End of Table 2

1	2	3
Учетные записи пользователей	Регламентация авторизованного доступа к функциональности системы	Уровень доступа (роль), имя пользователя, зашифрованные данные аутентификации, связь с сотрудником или студентом
Аналитические отчёты	Сбор и архивирование агрегированных показателей для мониторинга и принятия решений	Тип отчёта (успеваемость, нагрузка, KPI), дата формирования, инициатор отчёта, место хранения/ссылка на файл
Индикаторы мониторинга качества	Представление динамики ключевых показателей эффективности образовательного процесса	Наименование индикатора, единица измерения, временной параметр, количественное значение, классификация по уровню управления
Внешние экспертные оценки и аккредитации	Хранение результатов проверок со стороны аккредитационных организаций	Тип оценки, организация-инициатор, дата проведения, присвоенный рейтинг, дополнительные заключения

Поскольку АИС должна работать в сети Интернет и обеспечивать многопользовательский режим работы с информацией, по мнению авторов, для ее разработки целесообразно использовать подход сервис-ориентированной архитектуры, который широко используется в системном проектировании благодаря своей высокой гибкости и расширяемости.

Рассмотрим основные этапы создания АИС учреждения образования и ее основных модулей (рис. 1).

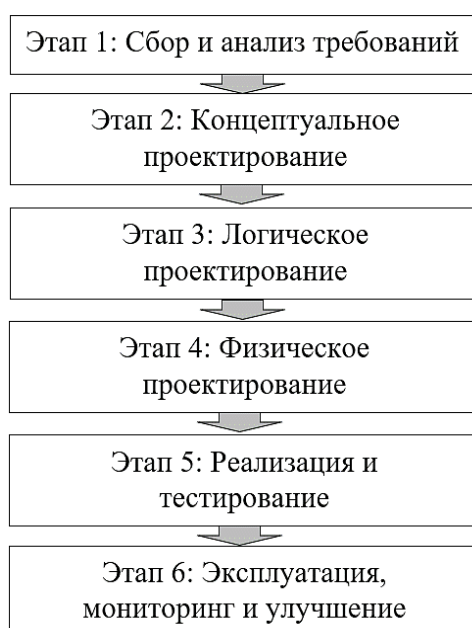


Рис. 1. Алгоритм проектирования структуры базы данных АИС учреждения образования
 Fig. 1. Algorithm for designing the structure of the AIS database of an educational institution

Рассмотрим, этапы, выделенные на рис. 1, более подробно.

Этап 1: Сбор и анализ требований. В рамках данного этапа необходимо формализовать функциональные и нефункциональные требования к АИС.

В процессе определения функциональных требований следует выполнить следующие действия:

– очертить круг всех стейкхолдеров и пользователей системы, к числу которых могут быть отнесены: организационно-административные единицы (отдел кадров, бухгалтерия, приемная комиссия, деканаты и т. д.), учебно-научные подразделения (кафедры, институты, преподаватели, студенты);

– проведение анализа бизнес-процессов учреждения образования. Это предполагает документирование всех уже существующих и будущих процедур/мер, которые могут быть связаны с данными (прием студентов, зачисление на обучение, составление расписания, учет успеваемости и посещаемости, кадровый учет, финансовые операции и т. д.);

– определение информационных потребностей, которые должна удовлетворять будущая система. Другими словами, это перечень данных, необходимых для стабильного функционирования учреждения образования. Отдельный акцент необходимо сделать на конкретных метриках, отчетах, индикаторах, группах данных, составляющих основу и позволяющих принимать управленческие решения (например, анализ успеваемости по программам, отслеживание оттока студентов, загрузка преподавателей, эффективность учебных планов).

Нефункциональные требования отражают технические характеристики работы системы, они охватывают такие категории, как:

1) производительность: требования к скорости обработки запросов, времени отклика системы;

2) масштабируемость: способность системы обрабатывать растущие объемы данных и увеличивающееся число пользователей;

3) надежность и доступность: критерии отказоустойчивости и непрерывности работы системы;

4) безопасность: политики доступа к данным, разграничение прав, защита конфиденциальной информации;

5) совместимость: возможность интеграции системы с уже существующими базами, архитектурами, информационными контурами учреждения образования.

Этап 2: Концептуальное проектирование. На этом этапе формируется логическая модель, отражающая цели, пользователей и основные процессы будущей системы [Литвинова, 2022]. Составляющими модели являются следующие элементы.

1. Идентификация сущностей: выделение ключевых объектов формирования баз данных и сбора информации (например, «Студент», «Преподаватель», «Курс/Дисциплина», «Группа», «Оценка», «Посещаемость», «Учебный план», «Кафедра/Факультет»).

2. Определение атрибутов: для каждой сущности необходимо выбрать ключевые характеристики, которые следует хранить в системе (например, для «Студента»: ФИО, дата рождения, курс, статус обучения).

3. Установление связей: определение корреляций между сущностями и их возможными типами (один-к-одному, один-ко-многим, многие-ко-многим). Например, «Студент» зачислен на «Курс», «Преподаватель» ведет «Дисциплину», «Студент» получает «Оценку».

4. Построение ER-диаграммы: визуальное представление концептуальной модели данных, использующее стандартизированные нотации.

Отдельное внимание на данном этапе следует уделить потребностям в агрегации данных и архивном хранении накопленной информации. В данном случае целесообразно включить определенные атрибуты времени (например, «дата поступления», «дата окончания курса», «дата получения оценки» и т. д.).

Этап 3: Логическое проектирование. На данном этапе необходимо трансформировать ER-диаграмму в реляционную схему. Это означает преобразовать сущности в таблицы, атрибуты в столбцы, а связи должны быть реорганизованы в первичные и внешние ключи [Isto Nuvila, 2022]. Далее следует провести нормализацию данных. Эта задача решается путем приведения таблиц к нормальным формам для устранения избыточности, предотвращения аномалий при вставке, обновлении и удалении данных, а также для обеспечения целостности баз. После этого необходимо определить типы данных и ограничения целостности. Другими



словами, уточнить категории данных для каждого столбца (числовой, текстовый, дата/время), а также выбрать ограничения, например, NOTNULL, UNIQUE, CHECK. Завершающим шагом является формирование словаря данных, что предполагает документирование всех таблиц, столбцов, их назначений, типов данных, ограничений, связей и правил использования.

Этап 4: Физическое проектирование. На этом этапе разрабатывается конкретная структура хранения данных и технической реализации АИС на уровне СУБД. Это включает в себя определение форматов файлов, выбор структуры таблиц, индексов, связей и других параметров, которые необходимы для реального функционирования базы данных на выбранной платформе [Ying Shi, 2022].

В табл. 3 приведено более детальное описание конкретных действий при физическом проектировании.

Таблица 3
Table 3

Основные шаги физического проектирования АИС
 Basic steps of physical design of AIS

Шаг	Описание
Выбор СУБД	Выбор конкретной СУБД (например, PostgreSQL, MySQL, MicrosoftSQLServer, OracleDatabase), исходя из нефункциональных требований (масштабируемость, производительность, бюджет, наличие компетенций)
Определение стратегии индексирования	Создание индексов для столбцов, часто используемых в условиях WHERE, JOIN и ORDERBY, особенно для аналитических запросов, требующих агрегации больших объемов данных
Разбиение данных на разделы	Для очень больших таблиц (например, исторические данные посещаемости) – разделение данных на логические или физические части для улучшения производительности запросов и управляемости
Оптимизация хранения данных	Выбор физической структуры хранения (например, кластеризация таблиц, расположение на дисках) для минимизации времени доступа
Разработка стратегии резервного восстановления	Планирование процедур для обеспечения сохранности данных
Планирование мер безопасности	Реализация ролей пользователей, прав доступа, шифрования данных

Этап 5: Реализация и тестирование. На этом этапе создается рабочая версия АИС на основе проектной документации, включая разработку программных модулей, настройку базы данных и интерфейсов. С этой целью необходимо создать схему базы данных и написать DDL-скрипты. Кроме того, следует осуществить проектирование процессов извлечения данных из существующих источников, их преобразование и загрузку в новую базу данных. Далее обязательной является проверка корректности работы отдельных элементов структуры и их взаимодействия, оценка способности системы справляться с ожидаемой нагрузкой и объемом данных, анализ уязвимостей и правильности процедур разграничения доступа.

Этап 6: Эксплуатация, мониторинг и улучшение. Этот финальный этап предполагает перевод АИС в рабочую среду учреждения образования. В процессе ее непосредственного использования должен проводиться регулярный мониторинг производительности, выявление «узких мест», сбоев и отказов. Также неотъемлемым требованием успешной работы является регулярное резервное копирование, оптимизация индексов, обновление статистики. По мере появления новых требований и их усложнения, расширения масштаба может потребоваться адаптация структуры базы данных к меняющимся бизнес-требованиям и росту информационного массива учреждения образования.

На основе анализа содержания выделенных этапов разработан ориентировочный перечень технологий, которые могут найти свое применение в процессе проектирования структуры базы данных АИС учреждения образования представлен в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Перечень и структура технологий, которые могут использоваться для создания базы данных АИС учреждения образования
List and structure of technologies that may be used to create the AIS database for an educational institution

База данных	Связь «База данных-Бекенд»	Бекенд	Связь «Бекенд-Фронтенд»	Фронтенд	Репозиторий	Процесс разработки
PostgreSQL DB Trigger	Flyway Spring JPA Hibernate	Java Spring Fmwork MVC Gradle Docx4j DTO Lombok Spring Boot Spring Security Logging	OOP AJAX REST Unit test CORS JSON cmd CI/CD Staging Amazon Cloud	HTML CSS Bootstrap JavaScript NodeJS TypeScript Angular Swimlane	Git Github	Agile SCRUM User story Issue Pull request Slack

Заключение

В статье предложен подход к проектированию структуры базы данных АИС учреждения образования. Согласно данному подходу АИС будет состоять из нескольких дискретных компонентов с набором определенных функций, и каждая единица может работать и обновляться независимо. Это делает предложенный подход подходящим для поддержки учебной, преподавательской и управленческой деятельности в одном контуре, поскольку различные блоки, базы данных и услуги могут быть разработаны для конкретных целей и групп пользователей. Кроме того, данный подход обеспечивает высокую доступность и совместимость.

Список литературы

- Акапьев В.Л., Савотченко С.Е. 2018. Автоматизация педагогического мониторинга качества подготовки слушателей курсов повышения квалификации. *Инновации в образовании*, 8: 62–85.
- Акапьев В.Л., Савотченко С.Е., Жукова Н.А. 2023. Операциональное основание функционального подхода к классификации информационных систем в деятельности органов внутренних дел. *Юридическая гносеология*, 5: 14–25.
- Беляев Д.А., Косенкова М.С., Елумеев Д.А. 2024. Информационные технологии и системы в контексте развития современного российского образования. *Russian Journal of Educational Psychology*, 15(1-2): 267–271.
- Гуржий А.А., Прокопенко А.Н., Дрога А.А., Савотченко С.Е., Акапьев В.Л., Федосеев Ан.Э., Федосеев Ал.Э. 2019. Использование автоматизированной информационной системы подготовки сотрудников органов внутренних дел на транспорте в учебном процессе. Актуальные проблемы науки и практики: сб. науч. тр. по итогам науч.-представит. Мероприятий. Дальневост. юрид. ин-т МВД России, Хабаровск: РИО ДВЮИ МВД России, 4: 504–509.



- Литвинова К.Ф., Разыграев А.С. 2022. Серверная подсистема интернет-портала выпускников и партнеров кафедры технического университета. *Математические методы в технологиях и технике*, 2: 94–99.
- Султанова С.Р., Каримбаев Т.Т. 2023. Современные информационные системы в образовании. *Наука и инновационные технологии*, 3: 111–116.
- Hui Cao, Hui He. 2022. A Scientific Research Information System via Intelligent Blockchain Technology for the Applications in University Management. *Mobile Information Systems*, 13(19): 30–35.
- Isto Huvila, Luanne Sinnamon. 2022. Sharing Research Design, Methods and Process Information in and out of Academia. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 59(1): 107–115.
- Xiaomin Huang, Qiang Peng. 2022. The Structural Framework Design on Information Management System of University Funding. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 20(13): 87–94.
- Ying Shi. 2022. Research on University Information Management Based on Nonlinear Matrix Organizational Structure. *Mathematical Problems in Engineering*, 12(19) 67–74.

References

- Akap`ev V.L., Savotchenko S.E. 2018. Avtomatizaciya pedagogicheskogo monitoringa kachestva podgotovki slushatelej kursov povы`sheniya kvalifikacii [Automation of pedagogical monitoring of the quality of training of students of advanced training courses]. *Innovacii v obrazovanii*, 8: 62–85.
- Akap`ev V.L., Savotchenko S.E., Zhukova N.A. 2023. Operacional`noe osnovanie funkcional`nogo podxoda k klassifikacii informacionny`x sistem v deyatel`nosti organov vnutrennix del [Operational basis of the functional approach to the classification of information systems in the activities of internal affairs agencies]. *Yuridicheskaya gnoseologiya*, 5: 14–25.
- Belyaev D.A., Kosenkova M.S., Elumeev D.A. 2024. Informacionny`e texnologii i sistemy` v kontekste razvitiya sovremennogo rossijskogo obrazovaniya [Information technologies and systems in the context of the development of modern Russian education]. *Russian Journal of Educational Psychology*, 15(1-2): 267–271.
- Gurzhij A.A., Prokopenko A.N., Droga A.A., Savotchenko S.E., Akap`ev V.L., Fedoseev An.E., Fedoseev Al.E. 2019. Ispol`zovanie avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy` podgotovki sotrudnikov organov vnutrennix del na transporte v uchebnom processe [Use of an automated information system for training employees of internal affairs bodies in transport in the educational process]. Aktual`ny`e problemy` nauki i praktiki: sb. nauch. tr. po itogam nauch.-predstavit. Meropriyatij. Dal`nevost. yurid. in-t MVD Rossii, Xabarovsk: RIO DVYuI MVD Rossii, 4: 504–509.
- Litvinova K.F., Razy`graev A.S. 2022. Servernaya podсистема internet-portala vy`pusknikov i partnerov kafedry` texnicheskogo universiteta [Server subsystem of the Internet portal of graduates and partners of the department of the technical university]. *Matematicheskie metody` v texnologiyax i texnike*, 2: 94–99.
- Sultanova S.R., Karimbaev T.T. 2023. Sovremenny`e informacionny`e sistemy` v obrazovanii [Modern information systems in education]. *Nauka i innovacionny`e texnologii*, 3: 111–116.
- Hui Cao, Hui He. 2022. A Scientific Research Information System via Intelligent Blockchain Technology for the Applications in University Management. *Mobile Information Systems*, 13(19): 30–35.
- Isto Huvila, Luanne Sinnamon. 2022. Sharing Research Design, Methods and Process Information in and out of Academia. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 59(1): 107–115.
- Xiaomin Huang, Qiang Peng. 2022. The Structural Framework Design on Information Management System of University Funding. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 20(13): 87–94.
- Ying Shi. 2022. Research on University Information Management Based on Nonlinear Matrix Organizational Structure. *Mathematical Problems in Engineering*, 12(19) 67–74.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 15.09.2025

Поступила после рецензирования 28.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received September 15, 2025

Revised November 28, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Акапьев Виктор Львович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности ОВД, Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

Савотченко Сергей Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики и физики, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor L. Akapuev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Computer Technologies in the Activities of the Internal Affairs Directorate, Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Belgorod, Russia

Sergey E. Savotchenko, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Higher Mathematics and Physics, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 654.937

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-956-966

EDN WGGWGJ

Влияние мощности передатчика на расстояние передачи данных по беспроводной связи LoRa

^{1,2}Наумов М.А., ¹Карповский А.Ю., ¹Курнос В.Г., ¹Андрусенко С.Н.

¹Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по автоматизации горных машин
«ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова»
Россия, ДНР, г. Донецк, 283015, пр. Ильича, 93А
²Донецкий национальный технический университет
Россия, ДНР, г. Донецк, 283001, ул. Артема, 58
oagm308@mail.ru

Аннотация. Рассматривается влияние мощности передатчика на расстояние передачи данных в беспроводной сети LoRa. Эксперименты с использованием модуля SX1278 и микроконтроллера STM32F103C8T6 показали зависимость между мощностью сигнала и расстоянием его распространения. Для выявления закономерностей применены различные методы аппроксимации: линейная, квадратичная, кубическая, степенная и другие. Наименьшую ошибку показала степенная регрессия, в то время как экспоненциальные и гиперболические модели оказались наименее точными. Результаты могут быть полезны при проектировании радиоуправляемых систем в условиях ограниченного действия сигнала, например, на горных и подземных объектах.

Ключевые слова: радиосвязь, эксперимент, радиоуправление, анализ, система управления, LoRa, аппроксимация, ошибка

Для цитирования: Наумов М.А., Карповский А.Ю., Курнос В.Г., Андрусенко С.Н. 2025. Влияние мощности передатчика на расстояние передачи данных по беспроводной связи LoRa. *Экономика. Информатика*, 52(4): 956–966. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-956-966; EDN WGGWGJ

Effect of the Transmitter Power on the Data Transmission Distance over the LoRa Wireless Connection

^{1,2}Maxim A. Naumov, ¹Artur Yu. Karpovsky,
¹Vyacheslav G. Kurnosov, ¹Sergey N. Andrusenko

¹Scientific Research and Design Institute for Automation of Mining Machinery
“GBU “Automatgormash named after V.A. Antipov”
93A Ilyich Ave., Donetsk 283015, DPR, Russia
²Donetsk National Technical University,
58 Artem St., Donetsk 283001, DPR, Russia
oagm308@mail.ru

Abstract. The work experimentally investigates the effect of transmitter power on the communication range in LoRa wireless networks, which is critically important for the energy-efficient design of IoT systems.

© Наумов М.А., Карповский А.Ю., Курнос В.Г., Андрусенко С.Н., 2025

The experiments were conducted on a hardware stand with the SX1278 module and the STM32F103C8T6 microcontroller. To analyze the resulting dependence, various regression models were tested: linear, quadratic, cubic, power-law, exponential, and hyperbolic. A comparison according to the RMSE and R2 criteria showed that the smallest error is provided by a power approximation that most accurately reflects the physics of radio signal attenuation. Exponential and hyperbolic models proved to be the least adequate. The practical value of the results lies in the possibility of optimizing the power of the transmitter to increase the battery life of the devices and reliable coverage in difficult terrain conditions, such as mountainous or underground facilities.

Keywords: radio communication, experiment, radio control, analysis, control system, LoRa, approximation, error

For citation: Naumov M.A., Karpovsky A.Yu., Kurnosov V.G., Andrusenko S.N. 2025. Effect of the Transmitter Power on the Data Transmission Distance over the LoRa Wireless Connection. *Economics. Information technologies*, 52(4): 956–966 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-956-966; EDN WGGWGI

Введение

Организация радиопередачи является классической задачей при проектировании систем управления подвижными машинами и механизмами. [Naumov, Karpovsky, 2024] В горно-шахтном оборудовании, в том числе и при автоматизации очистных комбайнов (машин для выемки пластовых полезных ископаемых), подсистема радиопередачи должна обеспечивать выполнение своих функций как в зоне видимости комбайна, так и за её пределами. Увеличение дальности радиопередачи является особо важным, и позволяет повысить безопасность ведения работ по выемке угольных масс путем минимизации присутствия человека в опасной зоне. [Наумов, Карповский, 2024; Наумов, Карповский, Казаков, 2024] Новым решением на рынке радиосвязи выступает технология LoRa. [Sornin et al., 2015, Attia, 2019]

Современные системы автоматизации требуют надёжной и энергоэффективной беспроводной связи, особенно в условиях сложной производственной среды, такой как горные и подземные выработки. Технология LoRa отличается низким энергопотреблением и большой дальностью передачи, что делает её перспективной для применения в горной промышленности. [Обзор технологии LoRa: Межетов, 2021] Однако важным параметром, определяющим эффективность LoRa-связи, является мощность передатчика, от которой зависит дальность передачи и устойчивость сигнала. Изучение этой зависимости позволяет повысить надёжность радиосвязи и оптимизировать энергозатраты системы управления. [IoT Communication Protocols...; SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020...; Performance line, ARM-based...]

Цель исследования – определение зависимости между мощностью передатчика и расстоянием передачи данных в беспроводной системе связи LoRa, а также выбор наиболее точного метода аппроксимации экспериментальных данных для последующего использования в инженерных расчётах и проектировании.

Экспериментальные исследования проводились с использованием модуля LoRa SX1278 и микроконтроллера. Мощность передатчика варьировалась от 0 до 17 dBm, а для каждого значения фиксировались расстояние передачи сигнала и уровень принимаемого сигнала (RSSI). [Шестакович, 2012; Baruffa G. et al. 2020] Эксперименты проводились в полевых условиях при различных коэффициентах расширения спектра и уровнях соотношения сигнал/шум.

Определялась функциональная зависимость между мощностью передатчика и расстоянием распространения сигнала. Для этого была произведена аппроксимация экспериментальных данных с использованием различных типов регрессий: линейной, квадратичной, кубической, степенной, показательной, гиперболической, логарифмической и экспоненциальной. Для каждой модели рассчитывалась средняя ошибка аппроксимации, что позволило оценить точность и выбрать наилучшую математическую модель – ею оказалась степенная регрессия, показавшая минимальную погрешность (9,25 %). Для описания зависимости между мощностью передатчика и расстоянием передачи данных были

использованы модели различных классов: линейная, полиномиальные (второго и третьего порядка), степенная, показательная, логарифмическая, гиперболическая и экспоненциальная. Такой выбор обусловлен необходимостью выявления наилучшей аппроксимации экспериментальных данных с учётом возможных типов функциональной связи.

Линейная модель применяется в качестве базового подхода, отражающего предположение о пропорциональности между переменными. Полиномиальные модели (квадратичная и кубическая) позволяют учитывать более сложные формы зависимости, включая экстремумы и участки с переменной скоростью изменения. Степенная и показательная модели часто применяются для описания процессов ослабления или усиления сигнала в радиосвязи, где наблюдается нелинейная динамика. Логарифмическая и гиперболическая модели используются при наличии насыщения эффекта или асимптотического поведения. Использование широкого набора моделей обосновано отсутствием априорной информации о характере зависимости, а также стремлением к объективному выбору наилучшей модели на основе сравнительного анализа ошибок аппроксимации. Это позволяет получить не только качественное, но и количественно надёжное описание взаимосвязи исследуемых параметров.

В табл. 1 приведены результаты работы модуля LoRa SX1278 в связке с микроконтроллером при различных отношениях мощности передатчика и расстояния передаваемого сигнала. В ходе исследования в открытых источниках информации не было найдено функциональных зависимостей, описывающих законы, по которым изменяются переменные расстояния передачи данных по беспроводной связи LoRa. Для выведения функциональных зависимостей из табличных значений воспользуемся аппроксимацией.

Таблица 1
Table 1

Результаты проведения экспериментов
Experimental results

Расстояние от приемника до передатчика, м	Уровень принимаемого сигнала (RSSI), dBm	Мощность, dBm	Мощность, мВт
102	-114,34	0	1
162	-117,63	1	1,30
170	-116,86	5	3,2
197	-116,03	10	10
272	-113,03	15	32
338	-115,87	17	50

Аппроксимация зависимости расстояния передачи данных от мощности передатчика

Аппроксимируем [Пономарев, Пикулева, 2014; Малышева, 2016] значения, представленные в табл. 1, с помощью линейной регрессии (формула 1):

$$\hat{y} = a \cdot x + b, \quad (1)$$

где x – мощность передатчика; y – расстояние передачи данных.

Найдем коэффициент a по формуле 2:

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \cdot \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - n \cdot \sum x_i^2} = \frac{192,5 \cdot 1608 - 7 \cdot 65131}{192,5^2 - 7 \cdot 13637} = 2,45, \quad (2)$$

n – количество проведенных опытов.

Найдем коэффициент b по формуле 3:

$$b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \cdot \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - n \cdot \sum x_i^2} = \frac{197,5 \cdot 65131 - 13637 \cdot 1608}{197,5^2 - 7 \cdot 13637} = 160,58. \quad (3)$$

Тогда уравнение (1) линейной регрессии, описывающее зависимость мощности передатчика от расстояния передачи данных, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = 2,45 \cdot x + 160,58.$$

Среднюю ошибку аппроксимаций будем находить по формуле 4:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%, \quad (4)$$

где \hat{y} – аппроксимированное значение расстояния передачи данных.

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью квадратичной регрессии.

Уравнение квадратичной регрессии показано на формуле 5:

$$\hat{y} = a \cdot x^2 + b \cdot x + c. \quad (5)$$

Найдем коэффициенты a , b и c с помощью системы уравнений:

$$\begin{cases} a \cdot \sum x_i^2 + b \cdot \sum x_i + n \cdot c = \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i^3 + b \cdot \sum x_i^2 + \sum x_i = \sum x_i y_i \\ a \cdot \sum x_i^4 + b \cdot \sum x_i^3 + \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i \end{cases} = \begin{cases} a \cdot 13637 + b \cdot 197,5 + 7 \cdot c = 1608 \\ a \cdot 1158803,97 + b \cdot 13637 + c \cdot 197,5 = 65131 \\ a \cdot 107308684,71 + b \cdot 1158803,97 + c \cdot 13637 = 4815344,58 \end{cases} = \begin{cases} a = -0,03 \cdot \\ b = 5,64 \\ c = 135,36 \end{cases}$$

Тогда уравнение (5) квадратичной регрессии, описывающее зависимость мощности передатчика от расстояния передачи данных, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = -0,03 \cdot x^2 + 5,64 \cdot x + 135,36.$$

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью кубической регрессии.

Уравнение кубической регрессии показано на формуле 6:

$$\hat{y} = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d. \quad (6)$$

Найдем коэффициенты a , b , c и d с помощью системы уравнений:

$$\begin{cases} a \cdot \sum x_i^3 + b \cdot \sum x_i^2 + c \cdot \sum x_i + n \cdot d = \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i^4 + b \cdot \sum x_i^3 + \sum x_i^2 + \sum x_i = \sum x_i y_i \\ a \cdot \sum x_i^5 + b \cdot \sum x_i^4 + \sum x_i^3 + \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i \\ a \cdot \sum x_i^6 + b \cdot \sum x_i^5 + \sum x_i^4 + \sum x_i^3 = \sum x_i^3 y_i \end{cases} = \begin{cases} a \approx 0 \\ b = -0,05 \\ c = 6,03 \\ d = 134,16 \end{cases}.$$

Тогда уравнение (6) кубической регрессии, описывающее зависимость мощности передатчика от расстояния передачи данных, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = -0,05 \cdot x^2 + 6,03 \cdot x + 134,16.$$

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью степенной регрессии. Уравнение степенной регрессии показано на формуле 7:

$$\hat{y} = a \cdot x^b. \quad (7)$$

Найдем коэффициент b :

$$b = \frac{n \cdot \sum (\ln(x_i) \cdot \ln(y_i)) - \sum \ln(x_i) \cdot \sum \ln(y_i)}{n \cdot \sum \ln^2(x_i) - (\sum \ln(x_i))^2} = \frac{7 \cdot 88,88 - 15,71 \cdot 37,47}{7 \cdot 246,8 - 246,8} = 0,24.$$

Найдем коэффициент a :

$$a = \exp\left(\frac{1}{n} \cdot \sum \ln(y_i) - \frac{b}{n} \cdot \sum \ln(x_i)\right) = \exp\left(\frac{1}{7} \cdot 37,47 + \frac{0,24}{7} \cdot 15,71\right) = 123,29.$$

Тогда уравнение (7) степенной регрессии, описывающее зависимость расстояния передачи данных от мощности передатчика, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = 123,29 \cdot x^{0,24}.$$

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью показательной регрессии.

Уравнение показательной регрессии показано на формуле 8:

$$\hat{y} = a \cdot b^x. \quad (8)$$

Найдем коэффициент b :

$$b = \exp\left(\frac{n \cdot \sum (x_i \cdot \ln(y_i)) - \sum x_i \cdot \sum \ln(y_i)}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}\right) = \exp\left(\frac{7 \cdot 1141,6 - 197,5 \cdot 37,47}{7 \cdot 13637 - 39006,25}\right) = 1,01.$$

Найдем коэффициент a :

$$a = \exp\left(\frac{1}{n} \cdot \sum \ln(y_i) - \frac{\ln(b)}{n} \cdot \sum x_i\right) = \exp\left(\frac{1}{7} \cdot 37,47 - \frac{0,01}{7} \cdot 197,5\right) = 157,06.$$

Тогда уравнение (8) показательной регрессии, описывающее зависимость мощности передатчика от расстояния передачи данных, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = 157,06 \cdot 1,01^x.$$

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью гиперболической регрессии.

Уравнение гиперболической регрессии показано на формуле 9:

$$\hat{y} = a + \frac{b}{x}. \quad (9)$$

Найдем коэффициент b по формуле 10:

$$b = \frac{n \cdot \sum \frac{y_i}{x_i} - \sum \frac{1}{x_i} \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum \frac{1}{x_i^2} - (\sum \frac{1}{x_i})^2} = \frac{7 \cdot 318,37 - 2,24 \cdot 1608}{7 \cdot 1,7 - 5,02} = -200,46. \quad (10)$$

Найдем коэффициент a по формуле 11:

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum y_i - \frac{b}{n} \cdot \sum \frac{1}{x_i} = \frac{1}{7} \cdot 1608 + \frac{200,46}{7} \cdot 2,24 = 293,95. \quad (11)$$

Тогда уравнение (9) гиперболической регрессии, описывающее зависимость расстояния передачи данных от мощности передатчика, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = 293,95 - \frac{200,46}{x}.$$

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью логарифмической регрессии.

Уравнение логарифмической регрессии показано на формуле 12:

$$\hat{y} = a + b \cdot \ln(x). \quad (12)$$

Найдем коэффициент b :

$$b = \frac{n \cdot \sum (y_i \cdot \ln(x_i)) - \sum \ln(x_i) \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum \ln^2(x_i) - (\sum \ln(x_i))^2} = \frac{7 \cdot 4648,9 - 15,71 \cdot 1608}{7 \cdot 39006,25 - 39006,25} = 52,03.$$

Найдем коэффициент a по формуле 13:

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum y_i - \frac{b}{n} \cdot \sum \ln(x_i) = \frac{1}{7} \cdot 1608 - \frac{52,03}{7} \cdot 15,71 = 112,93. \quad (13)$$

Тогда уравнение (12) логарифмической регрессии, описывающее зависимость расстояния передачи данных от мощности передатчика, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = 112,93 + 52,03 \cdot \ln(x).$$

Аппроксимируем значения, представленные в табл. 1, с помощью экспоненциальной регрессии.

Уравнение экспоненциальной регрессии показано на формуле 14:

$$\hat{y} = e^{a+b \cdot x}. \quad (14)$$

Найдем коэффициент b по формуле 15:

$$b = \frac{n \cdot \sum (x_i \cdot \ln(y_i)) - \sum \ln(y_i) \cdot \sum x_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{7 \cdot 1141,6 - 37,47 \cdot 197,5}{7 \cdot 13637 - 39006,25} = 0,01. \quad (15)$$

Найдем коэффициент a по формуле 16:

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum \ln(y_i) - \frac{b}{n} \cdot \sum x_i = \frac{1}{7} \cdot 37,47 - \frac{0,01}{7} \cdot 197,5 = 5,06. \quad (16)$$

Тогда уравнение (14) экспоненциальной регрессии, описывающее зависимость расстояния передачи данных от мощности передатчика, будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{y} = e^{5,06+0,01 \cdot x}.$$

Результаты экспериментов

В табл. 2 приведены средние ошибки аппроксимаций в процентном соотношении. На рис. 1 приведены графики исходной функции и функциональных зависимостей, полученных различными методами аппроксимации.

Для проверки адекватности полученных моделей и оценки значимости включённых в них параметров были рассчитаны основные статистические характеристики: коэффициент детерминации (R^2), t -статистики и соответствующие p -значения (p -value). Расчёты проводились с использованием инструмента «Регрессия» в Microsoft Excel на базе метода наименьших квадратов.

Анализ показал, что для линейной модели коэффициент детерминации составил $R^2 \approx 0,85$, что указывает на высокую долю объяснённой дисперсии зависимой переменной (расстояния передачи данных) мощностью передатчика. Для степенной модели, которая продемонстрировала наименьшую ошибку аппроксимации, значение R^2 превышает 0,91, что подтверждает её высокую объяснительную силу.

t -критерии для коэффициентов регрессий продемонстрировали, что все параметры моделей (включая свободные члены и коэффициенты при независимых переменных) являются статистически значимыми на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Это означает, что вероятность случайного появления таких коэффициентов при отсутствии зависимости между переменными составляет менее 5 %.

Таким образом, полученные модели не только обеспечивают хорошее приближение экспериментальных данных, но и обладают статистической достоверностью. Это позволяет использовать их в инженерных расчётах и прикладных задачах проектирования систем беспроводной связи на базе технологии LoRa.

Для оценки степени связи между мощностью передатчика (факторной переменной) и расстоянием передачи данных (результатирующей переменной) был рассчитан коэффициент детерминации R^2 , который отражает долю дисперсии зависимой переменной, объясняемую моделью.



Для различных моделей значение R^2 варьировалось от 0,78 (экспоненциальная модель) до 0,91 (степенная модель). Наиболее высокий уровень связи был установлен для степенной регрессии, что подтверждает её лучшую аппроксимирующую способность по сравнению с остальными моделями. Значение $R^2 = 0,91$ означает, что 91 % изменчивости расстояния передачи данных объясняется изменениями мощности передатчика, что свидетельствует о высокой существенности взаимосвязи между переменными.

В табл. 2 представлены рассчитанные значения t-статистики для коэффициентов моделей. Они позволяют оценить, являются ли коэффициенты статистически значимыми при стандартном уровне значимости (обычно $\alpha = 0,05$). Значения $|t| > 2$ (приблизительно) свидетельствуют о значимости соответствующего коэффициента. В табл. 2 приведена оценка степени связи между результирующей и факторной переменными на основе коэффициента детерминации (R^2) и F-статистика для оценки значимости каждой регрессионной модели. Все модели показывают F-статистику, превышающую типовые критические значения F при уровне значимости 0,05 (например, $F_{\text{крит}} \approx 7,71$ для $df_1 = 1$, $df_2 = 4$), что указывает на статистическую значимость моделей в целом. Наиболее значимой оказалась степенная модель – $F = 40,44$.

Таблица 2
Table 2

Статистические показатели качества моделей регрессии
Statistical indicators of the quality of regression models

Регрессия	Коэффициент детерминации (R^2)	t-статистика	F-статистика
Линейная	0,85	4,57	22,67
Квадратичная	0,89	4,8	12,14
Кубическая	0,89	-3	5,39
Степенная	0,91	6,1	40,44
Показательная	0,78	1,8	14,18
Гиперболическая	0,77	-2,39	13,39
Логарифмическая	0,88	5,89	29,33
Экспоненциальная	0,78	1,9	14,18

Также была проведена проверка значимости связи с использованием F-критерия (F-теста), где нулевая гипотеза предполагает отсутствие связи между переменными. Полученные значения F-критерия оказались существенно выше критического уровня для соответствующей степени свободы, что позволило отвергнуть нулевую гипотезу и подтвердить статистическую значимость зависимости.

Таким образом, можно заключить, что между мощностью передатчика и расстоянием передачи существует статистически значимая и практически существенная связь, что обосновывает возможность использования построенных моделей в инженерной практике.

Таблица 3
Table 3

Средняя ошибка различных методов аппроксимации
Average error of various approximation methods

Метод аппроксимации	Средняя ошибка, %
Линейная регрессия	15,26
Квадратичная регрессия	9,89
Кубическая регрессия	9,89
Степенная регрессия	9,25
Показательная регрессия	19,44
Гиперболическая регрессия	19,66
Логарифмическая регрессия	10,12
Экспоненциальная регрессия	19,44

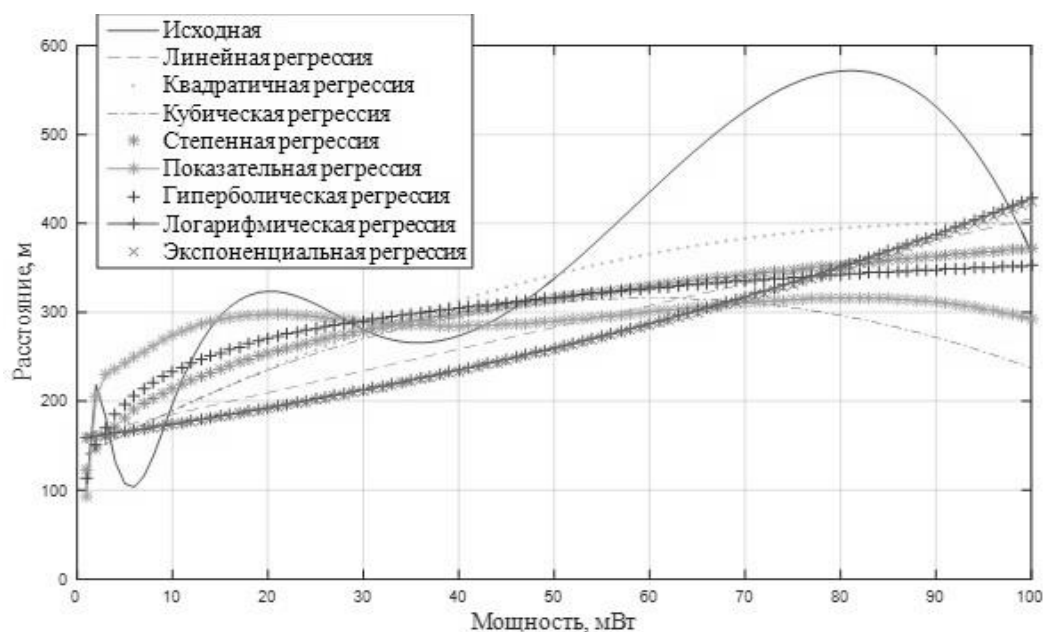


Рис. 1. График табличных экспериментальных значений и графики аппроксимированных функций
Fig. 1. Graph of tabular experimental values and graphs of approximated functions

Содержательный анализ полученных результатов

Полученные зависимости между мощностью передатчика и расстоянием передачи данных позволяют сделать ряд значимых выводов. Прежде всего, выявлена нелинейная природа связи между исследуемыми переменными. Линейная модель оказалась недостаточно точной (средняя ошибка 15,26 %), что указывает на ограниченность её применения при инженерных расчётах для беспроводной связи LoRa.

Наилучшие результаты продемонстрировала степенная модель, показавшая наименьшую ошибку аппроксимации (9,25 %). Это свидетельствует о том, что увеличение мощности передатчика приводит к росту расстояния передачи данных, однако данная зависимость характеризуется убывающей отдачей: на определённом этапе дополнительное увеличение мощности не приводит к существенному приросту расстояния. Данный эффект согласуется с физической природой распространения радиоволн в условиях затухания сигнала и поглощения в среде.

Модели второго и третьего порядка (квадратичная и кубическая) дали схожие результаты по точности, что указывает на возможность описания зависимости полиномами, однако они уступают степенной модели по интерпретируемости и устойчивости при экстраполяции.

Наименее точными оказались гиперболическая, показательная и экспоненциальная регрессии, что может быть связано с тем, что данные модели плохо отражают реальные условия распространения сигнала в сложных промышленных и подземных средах, где присутствуют многолучевость, отражения и затухание.

Результаты аппроксимации согласуются с практическими наблюдениями и техническими характеристиками оборудования LoRa. Выбор адекватной модели важен не только с точки зрения точности, но и для построения инженерных моделей, используемых в системах управления горной техникой, где необходимо заранее рассчитывать зоны надёжной связи при ограничениях по потреблению энергии.

Дополнительно можно отметить, что модели были оценены на небольшом наборе экспериментальных точек. Это требует аккуратного подхода к интерпретации результатов за пределами экспериментального диапазона. Для повышения обобщающей способности моделей в дальнейшем рекомендуется проведение повторных экспериментов в различных средах и условиях, а также использование методов перекрёстной проверки и построение доверительных интервалов для предсказаний.

Заключение

Исходя из табл. 3 и графиков, представленных на рис. 1, можно сделать вывод, что наиболее точным методом аппроксимации зависимости расстояния от мощности передатчика является степенная регрессия.

Основной задачей исследования является установление функциональной зависимости между мощностью передатчика и расстоянием передачи данных на основе экспериментальных точек, полученных в однородных условиях. Следует отметить, что в рамках настоящей статьи не проводился анализ ошибки обобщения, связанной с переносом полученной модели на новые данные или иные условия эксплуатации. Вопросы оценки обобщающей способности модели, включая методы перекрёстной проверки и построение доверительных интервалов, предполагается рассмотреть в дальнейших исследованиях.

Таким образом, в ходе проведения исследований были выявлены зависимости между мощностью передатчика и расстоянием передачи данных. Получены функциональные описания этих зависимостей различными методами аппроксимации экспериментальных данных, вычислены ошибки регрессии в процентном соотношении. Выделены наиболее точные методы аппроксимации данных, полученных в результате эксперимента. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации беспроводных систем управления, особенно в условиях ограниченной видимости и труднодоступных производственных зонах, где критически важны надёжность и дальность связи. В дальнейшем планируется проведение дополнительных исследований в различных средах распространения сигнала для расширения применимости полученных выводов.

Список литературы

- Малышева Т.А. 2016. Численные методы и компьютерное моделирование. Лабораторный практикум по аппроксимации функций. Учебно-методическое пособие. СПб.: Университет ИТМО, 33.
- Межетов М.А., Тихова А.И., Вахрушева У.С., Федоров А.В. 2021. Применение технологии LoRa в беспилотных авиационных системах. Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. Том 2. Иркутск: Иркутский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации». 180–185. EDN UZUCLT.
- Наумов М.А., Карповский А.Ю. 2024. Разработка и исследование стенда для проверки беспроводной радиосвязи LoRa. Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием Инженеры настоящего и будущего: практика и перспективы развития партнерства в высшем техническом образовании. Таганрог. Т. 2. 330–336.
- Наумов М.А., Карповский А.Ю., Казаков В.В. 2024. Разработка системы управления машина и механизмами с применением беспроводной технологии связи LoRa. Сборник научных трудов XXIV Международной научно-технической конференции Автоматизация Технологических процессов. Поиск молодых. Донецк. 123–126.
- Обзор технологии LoRa. URL: <https://itechinfo.ru/node/46> (дата обращения: 01.11.2024).
- Пономарев А.Б., Пикулева Э.А. 2014. Методология научных исследований: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 186.
- Шестакович В.П. 2012. Основы численных методов: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУИР, 68.
- Attia T., Heusse M., Tourancheau B., Duda A. 2019. Experimental Characterization of LoRaWAN Link Quality. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Dec 2019, Waikoloa, United States. fffhal-02316402. URL: [<https://hal.science/hal-02316402/document>].
- Baruffa G. et al. 2020. Error probability performance of chirp modulation in uncoded and coded LoRa systems. *Digital Signal Processing*, 106: 102828.
- IoT Communication Protocols–Network Protocols Ignacio de Mendizábal. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/internet-of-communication-communication-protocols-network-protocols/> (дата обращения: 01.11.2024).
- Liando J.C. et al. 2019. Known and unknown facts of LoRa: Experiences from a large-scale measurement study. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 15(2): 1–35.

- Naumov M.A., Karpovsky A.Yu. 2024. Development of a control system for machines and mechanisms using lora wireless communication technology. Сборник материалов научно-практической конференции для преподавателей гуманитарных дисциплин Young scientists' researches and achievements in science. Донецк. 281–289.
- Performance line, ARM-based 32-bit MCU with Flash, USB, CAN, seven 16-bit timers, two ADCs and nine communication interfaces. URL: <http://inverter48.ru/datasheet/mcu/STM32F103C8T6.pdf?ysclid=m2swy5p2eh408905702>
- Robyns P. et al. 2018. A Multi-Channel Software Decoder for the LoRa Modulation Scheme. *IoTBDs*. 41–51.
- Sornin N., Luis M., Eirich T., Kramp T., Hersent O. 2015. LoRaWAN Specification V1.0. URL: https://loralliance.org/wp-content/uploads/2020/11/2015_-_lorawan_specification_1r0_611_1.pdf.
- SX1276/77/78/79 – 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver URL: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SX1278%20Lora%20Datasheet.pdf
- Tapparel J. 2019. Complete reverse engineering of LoRa PHY. Tech. Rep.
- Tapparel J. et al. 2020. An open-source LoRa physical layer prototype on GNU radio. 2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). IEEE. 1–5.
- Van den Abeele F. et al. 2017. Scalability analysis of large-scale LoRaWAN networks in ns-3. *IEEE Internet of Things Journal*. 4(6): 2186–2198.
- Xu Z. et al. 2023. From Demodulation to Decoding: Toward Complete LoRa PHY Understanding and Implementation. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 18(4): 1–27.

References

- Malysheva T.A. 2016. Numerical methods and computer modeling. Laboratory workshop on function approximation. Educational and methodical manual. St. Petersburg: ITMO University, 33.
- Mezhetov M.A., Tikhova A.I., Vakhrusheva U.S., Fedorov A.V. 2021. Application of LoRa technology in unmanned aircraft systems. Actual problems and prospects of civil aviation development: proceedings of the X International Scientific and Practical Conference, Irkutsk, October 14-15, 2021. Volume 2. Irkutsk: Irkutsk Branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, 180–185. EDN UZUCLT.
- Naumov M.A., Karpovsky A.Y. 2024. Development and research of a stand for testing LoRa wireless radio communications. Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and practical conference with international participation Engineers of the present and future: practice and prospects for partnership development in higher technical education. Taganrog. Vol. 2 330–336.
- Naumov M.A., Karpovsky A.Y., Kazakov V.V. 2024. Development of a machine and mechanism control system using LoRa wireless communication technology. Collection of scientific papers of the XXIV International Scientific and Technical Conference Automation of Technological Processes. Search for Young People. Donetsk, 123–126.
- Overview of LoRa technology. URL: <https://itechinfo.ru/node/46> (date access: 11/01/2024).
- Ponomarev A.B., Pikuleva E.A. 2014. Methodology of scientific research: textbook. manual. Perm: Publishing House of the Perm National University. research. Polytechnic University. University, 186.
- Shestakov V.P. 2012. Fundamentals of numerical methods: textbook. the method. Manual. Minsk: BGUIR, 68.
- Attia T., Heusse M., Tourancheau B., Duda A. 2019. Experimental Characterization of LoRaWAN Link Quality. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Dec 2019, Waikoloa, United States. fffhal-02316402. URL: [https://hal.science/hal-02316402/document].
- Baruffa G. et al. 2020. Error probability performance of chirp modulation in uncoded and coded LoRa systems. *Digital Signal Processing*, 106: 102828.
- IoT Communication Protocols–Network Protocols Ignacio de Mendizábal. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/internet-of-communication-communication-protocols-network-protocols/> (date access: 11/01/2024).
- Liando J.C. et al. 2019. Known and unknown facts of LoRa: Experiences from a large-scale measurement study. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 15(2): 1–35.
- Naumov M.A., Karpovsky A.Yu. 2024. Development of a control system for machines and mechanisms using lora wireless communication technology. Collection of scientific papers of the XXIV International Scientific and Technical Conference Automation of Technological Processes. Search for Young People. Donetsk. 281–289.
- Performance line, ARM-based 32-bit MCU with Flash, USB, CAN, seven 16-bit timers, two ADCs and nine communication interfaces. URL: <http://inverter48.ru/datasheet/mcu/STM32F103C8T6.pdf?ysclid=m2swy5p2eh408905702>



- Robyns P. et al. 2018. A Multi-Channel Software Decoder for the LoRa Modulation Scheme. *IoTBDs*. 41–51.
- Sornin N., Luis M., Eirich T., Kramp T., Hersent O. 2015. LoRaWAN Specification V1.0. URL: https://loralliance.org/wp-content/uploads/2020/11/2015_-_lorawan_specification_1r0_611_1.pdf.
- SX1276/77/78/79 – 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver URL: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SX1278%20Lora%20Datasheet.pdf
- Tapparel J. 2019. Complete reverse engineering of LoRa PHY. Tech. Rep.
- Tapparel J. et al. 2020. An open-source LoRa physical layer prototype on GNU radio. 2020 IEEE 21st International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC). IEEE. 1–5.
- Van den Abeele F. et al. 2017. Scalability analysis of large-scale LoRaWAN networks in ns-3. *IEEE Internet of Things Journal*. 4(6): 2186–2198.
- Xu Z. et al. 2023. From Demodulation to Decoding: Toward Complete LoRa PHY Understanding and Implementation. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 18(4): 1–27.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 12.09.2025

Поступила после рецензирования 28.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received September 12, 2025

Revised November 28, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумов Максим Александрович, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела автоматизации горных машин, ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова»; аспирант кафедры автоматизации и телекоммуникаций, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР, Россия

Карповский Артур Юрьевич, заведующий научно-исследовательским отделом автоматизации горных машин, ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» г. Донецк, ДНР, Россия

Курносков Вячеслав Григорьевич, доктор технических наук, профессор, первый заместитель директора по научной работе, ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк, ДНР, Россия

Андрусенко Сергей Николаевич, главный конструктор проекта отдела автоматизации горных машин, ГБУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк, ДНР, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maxim A. Naumov, Junior Researcher of the Scientific Research Department of Mining Machinery Automation, “GBU “Automatgormash named after V.A. Antipov”, Postgraduate Student of the Department of Automation and Telecommunications, Donetsk National Technical University, Donetsk, DPR, Russia

Artur Yu. Karpovsky, Head of the Scientific Research Department of Mining Machinery Automation, “GBU “Automatgormash named after V.A. Antipov”, Donetsk, DPR, Russia

Vyacheslav G. Kurnosov, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy Director for Scientific Work, “GBU “Automatgormash named after V.A. Antipov”, Donetsk, DPR, Russia

Sergey N. Andrusenko, Chief Project Designer of the Scientific Research Department of Mining Machinery Automation, “GBU “Automatgormash named after V.A. Antipov”, Donetsk, DPR, Russia

УДК 621.398;629.05

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-967-975

EDN YEYEHN

Разработка инновационных методов и технологий повышения помехоустойчивости в космических телекоммуникационных системах управления и передачи данных

¹Ширяев А.А., ²Кукушкин С.С., ³Кукушкин Л.С., ⁴Олейник И.И.

¹МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА)
пр-т Вернадского, д. 78, стр. 4, Москва, 119454, Россия

²НИИ КС имени А.А. Максимова – филиал АО ГКНПЦ им. М.В. Хруничева
ул. Тихонравова, д. 27, Московская обл., г. Королёв, 141091, Россия

³АО «Рязанское производственно-техническое предприятие «Гранит»
ул. Интернациональная, д. 1г, г. Рязань, 390039, Россия

⁴Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

a.shyriaev@mail.ru, adaptermetod@mail.ru, leofrontier@gmail.com, oleinik_i@bsuedu.ru

Аннотация. Статья посвящена решению проблемы повышения помехоустойчивости радиоканалов и космических инфокоммуникаций на основе использования инновационных методов представления, передачи, приёма и обработки данных. Информационно-измерительные и вычислительные технологии обеспечивают современные технические системы возможностью не только контроля технического состояния систем, но и определения траекторий полёта различных космических аппаратов. Это всё свидетельствует о зарождающейся новой потребности использования имеющегося и получаемого в результате проведения опытов в интересах развития и внедрения в практику применения космических систем связи и управления искусственного интеллекта (ИИ). Показаны на примерах различных нетрадиционных технических решений новые возможности, которые способствуют повышению эффективности использования ИИ, обогащённого достижениями человеческого разума и изобретательства. В качестве перспектив развития информационного обеспечения применения таких систем рассмотрены инновационные методы и подходы к развитию существующей теории кодирования передаваемой информации.

Ключевые слова: помехоустойчивость космических инфокоммуникаций и радиоканалов, методы представления данных, искажение информации при её передаче, обработка данных, система остаточных классов, теория кодирования передаваемой информации

Для цитирования: Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Кукушкин Л.С., Олейник И.И. 2025. Разработка инновационных методов и технологий повышения помехоустойчивости в космических телекоммуникационных системах управления и передачи данных. *Экономика. Информатика*, 52(4): 967–975. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-967-975; EDN YEYEHN

Development of Innovative Methods and Technologies for Improving Noise Immunity in Space-Based Telecommunication Control and Data Transmission Systems

¹Alexey A. Shiryaev, ²Sergey S. Kukushkin, ³Leonid S. Kukushkin, ⁴Ivan I. Oleynik

¹MIREA – Russian Technological University (RTU MIREA)

Bld 4, 78 Vernadsky Ave., Moscow 119454, Russia

²A.A. Maksimov Research Institute of Spacecraft, a branch of M.V. Khrunichev State Research
and Production Space Center

27 Tikhonravov St., Korolev 141091, Moscow Region, Russia

³Ryazan Production and Technical Enterprise Granit

1g Internatsionalnaya St., Ryazan 390039, Russia

⁴Belgorod State National Research University

85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

a.shyriaev@mail.ru, adaptermetod@mail.ru, leofrontier@gmail.com, oleinik_i@bsuedu.ru

Abstract. The article is devoted to solving the problem of increasing the noise immunity of radio channels and space infocommunications based on the use of innovative methods of data representation, transmission, reception, and processing. Information, measurement, and computing technologies provide modern technical systems with the ability not only to control the technical condition of systems, but also to determine the flight trajectories of various spacecraft. This all indicates the emerging new need to use the existing data and obtained from experiments in order to develop and implement artificial intelligence (AI) in the practice of using space communication systems and control. The authors use various non-traditional technical solutions to demonstrate new possibilities that enhance the effectiveness of AI, which is enriched by the achievements of human intelligence and ingenuity. The article also explores innovative methods and approaches to developing the existing theory of information encoding.

Keywords: noise resistance of space infocommunications and radio channels, data representation methods, information distortion during transmission, data processing, the system of residual classes, the theory of transmitting information

For citation: Shiryaev A.A., Kukushkin S.S., Kukushkin L.S., Oleynik I.I. 2025. Development of Innovative Methods and Technologies for Improving Noise Immunity in Space-Based Telecommunication Control and Data Transmission Systems. *Economics. Information technologies*, 52(4): 967–975 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-967-975; EDN YEYEHN

Введение

Существующая проблема повышения помехоустойчивости космических инфокоммуникаций определяется следующими основными её составляющими:

1) достигнутыми результатами, обеспечивающими достижение безусловных преимуществ по сравнению с другими известными аналогами в области их проектирования, создания и применения;

2) новыми возможностями совершенствования инфокоммуникаций в части противодействия средствам радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и обеспечения требуемых показателей помехоустойчивости и помехозащищенности;

3) различными информационными составляющими, относящимися к мониторингу той реальной ситуации, в которой перспективные инфокоммуникации должны устойчиво функционировать в условиях широкого применения средств подавления и комплексов РЭБ.

В статье рассмотрены предлагаемые инновационные технические решения, относящиеся к последним двум составляющим проблемы повышения помехоустойчивости космических инфокоммуникаций: надёжного доведения и своевременного использования информационных составляющих обеспечения планирования и успешного выполнения всех

поставленных задач в условиях информационно-технического противодействия этому со стороны вероятного противника.

Также актуальность выполненных исследований определяется современными требованиями использования искусственного интеллекта при передаче информации и управлении по каналам связи и инфокоммуникациям.

Особая научная и практическая значимость этой тематики заключается в том, что разрешение многочисленных противоречий, составляющих основу повышения помехоустойчивости и помехозащищенности инфокоммуникаций, необходимо найти в условиях многочисленных ограничений, растущего фона помех и интенсивности других негативных воздействий [Ширяев, 2023].

Для этого разработаны проблемно-ориентированные структурно-алгоритмические преобразования (САП) передаваемых значений данных и сообщений, обеспечивающие достижение комплексного технического эффекта, сочетающего в себе возможность одновременного разрешения не одного, а нескольких противоречий.

В этом случае создают новую научно-методическую платформу для повышения помехоустойчивости и помехозащищенности инфокоммуникаций на основе гибридного искусственного интеллекта (ГИИ).

При этом активно используемый в настоящее время искусственный интеллект (ИИ) дополняют естественным, которым обладает человек.

Поэтому необходимо переходить к следующему шагу развития ИИ, ориентированному на его обогащение многими приёмами, которые существуют в багаже естественного интеллекта. В их числе различного рода «хитрости», к которым прибегает человек при разрешении противоречий, в том числе кажущихся неразрешимыми в соответствии с существующими теориями. В этом также заключаются побудительные мотивы и совершенствования самих теорий, многие из которых переживают период «застоя».

Основная часть

В качестве примера проявления «застоя» всё чаще приводят и теорию помехоустойчивого кодирования передаваемой информации [Блейхут, 1986]. Всё это может показаться парадоксальным на фоне того грандиозного успеха, которого человечество добилось в плане развития инфо-телекоммуникационных систем (ИТКС). Сделаны фундаментальные открытия К. Шеннона, В.А. Котельникова, Н. Винера и многих других выдающихся учёных. При этом К. Шеннон показал, что для кардинального решения проблемы надёжной передачи данных необходимо кодирование сообщений.

Его теоремы показывают, что при этом информация по каналам связи, в которых действует шум, может передаваться со сколь угодно высокой степенью достоверности при условии, что скорость передачи не превышает некоторой величины, зависящей от статистических свойств шума и сигналов. Её называют пропускной способностью канала связи. Но для этого необходимо было использовать коды большой длины (n), что входит в противоречие с возможностью их реализации в практических приложениях. При больших значениях n список кодовых слов, который необходимо иметь на передающей и приёмной сторонах, становится необозримо большим [Фомин, 1980].

Появилась теория линейных кодов, использующих теорию Э. Галуа, адаптированную к синтезу алгебраических помехоустойчивых кодов. В их числе блочные и свёрточные коды [Никитин, 2001].

Однако быстрый рост скоростей передачи информации и появляющиеся вследствие этого требования к повышению оперативности декодирования привели к тому, что в настоящее время основная функция помехоустойчивых кодов, связанная с исправлением ошибок передачи, не используется.

При этом признаки начавшегося кризисного периода в развитии помехоустойчивых кодов проявляются в следующем:



1) задача использования избыточных контрольных (проверочных) символов стала сводиться к её частному примитивному варианту – определению несовпадения контрольных сумм, полученных при передаче и после приёма передаваемых кодовых последовательностей (при появлении таких признаков по обратному каналу связи передаётся требование повторения передачи информации, принадлежащей этому интервалу времени, в результате чего временные показатели ИТКС могут превышать допустимые их значения);

2) известные методы помехоустойчивого кодирования имеют границу работоспособности, которая определяется вероятностью искажения бит $P_6 > 10^{-2}$ (две ошибки, приходящиеся на 100 переданных бит), а в существующих наилучших условиях передачи информации по космическим каналам связи показатель P_6 уже приблизился к $P_6 = 10^{-3}$, при этом в каналах связи управления он уже в условиях РЭБ принимает значения $P_6 = 10^{-1}$).

Поэтому нужны коды нового поколения и информационные технологии их применения, обеспечивающие возможность расширенного приспособления ИТКС к изменяющимся условиям передачи данных.

Показано, что для этого необходимо разработать значительное множество различных подходов, приёмов, методов и информационных технологий, использование которых позволило бы вывести системы передачи данных (СПД) на новый уровень их развития [Кукушкин, Гладков, Чаплинский, 2008]. Такая возможность появляется при использовании разработанных методов нетрадиционного дополнительного кодирования передаваемой информации, обеспечивающего переход к более экономичным системам представления данных и сообщений.

При этом особое внимание уделено вопросам учета всех специфических особенностей как передаваемой информации, так и появляющихся новых, более жёстких условий, которые связаны с ограниченной пропускной способностью каналов связи и повышением требований к достоверности и полноте получаемой информации.

Основная проблема передачи информации заключается в условиях ограничений на пропускную способность каналов связи и повышения интенсивности помехового фона, действия которого неконтролируемо приводят к ещё более значительным препятствиям при решении задач повышения полноты, точности, достоверности и оперативности при получении информации.

Существующую научно-методическую основу решения проблем передачи информации составляет классическая теория помехоустойчивого кодирования [Борисов, Зинчук, 2009].

То, что она не вполне отвечает потребностям практики, известно давно. Эти мысли высказывались выдающимся отечественным учёным Л.М. Финком [Финк, 1963], которому принадлежит идея непрерывных свёрточных кодов, и его ученику С.А. Осмоловскому [Левин, Плоткин, 1982].

Также следует отметить, что классическое помехоустойчивое кодирование не обладает возможностью приспособления к специфическим особенностям передаваемой информации и изменяющимся условиям передачи. А это основное условие, которое связано с «искусственным интеллектом» систем передачи данных (СПД).

Предлагаемые технические решения связаны с внедрением в существующую теорию и практику элементов искусственного интеллекта, источником синтеза которых становится разработанный прикладной математический аппарат конструктивной теории конечных полей.

Технические решения нетрадиционного представления передаваемых данных в системе остаточных классов и их основные отличительные особенности

В настоящее время по каналам связи передаются цифровые данные с требованиями, предъявляемыми к повышению полноты, целостности и достоверности передаваемой информации. Возможность удовлетворения этим требованиям на основе известных методов и технологий практически исчерпана.

При этом, как и ранее, основным средством борьбы с помехами остаётся применение помехоустойчивого кодирования.

В настоящее время разработано множество различных проблемно-ориентированных направлений совершенствования помехоустойчивого кодирования. Одно из них связано с нетрадиционным представлением данных и сообщений образами-остатками. Особенностью такого дополнительного кодирования и появляющихся при этом новых свойств является то, что значения X_i передаваемых данных телеизмерений (ТИ), представленных $(N = 2n)$ – разрядными двоичными словами, где $N = 10$, а $n = 5$, и результаты дополнительного их кодирования $C_i = \langle b_{1i} \pmod{m_1}, b_{3i} \pmod{m_3} \rangle_2$ (здесь обозначение $\langle \cdot \rangle_2$ является свидетельством использования двоичного кодирования), которые получены путём формального объединения образов-остатков: $b_{1i} \pmod{m_1}$ и $b_{3i} \pmod{m_3}$ в новое кодовое слово с той же разрядностью представления $N = 2n$. Здесь также необходимо отметить присутствие в неявном виде результатов сравнения по модулю m_2 .

Ими в соответствии со свойствами двоичного кода является значение младшего n – разрядного полуслова (a_{mli}) исходного сообщения $X_i = \langle a_{cmi}, a_{mli} \rangle_2$: $a_{mli} = b_{2i} \pmod{m_2}$, где $m_2 = 2^n = 32$. При этом модули m_1 и m_3 определены равными: $m_1 = 2^n - 1 = 31$ и $m_3 = 2^n + 1 = 33$. Оптимальными они являются потому, что произведение модулей сравнения: $m_1 \times m_3 = (2^n - 1)(2^n + 1) = 2^{2n} - 1$ перекрывает диапазон $(0 - (2^{2n} - 1))$ однозначного представления данных $(N = 2n)$ – разрядными двоичными словами X_i .

При таких свойствах двоичного кода обеспечивается, на приёмной стороне, однозначное обратное восстановление значений X_i , что и требуется для реализации безызыточного помехоустойчивого кодирования.

В случае применения предлагаемого метода дополнительного кодирования на основе системы остаточных классов (СОК), вместо традиционной формулы представления значения числа X_i , представляющего собой результат кодирования сообщений:

$$X_i = m_j l_i + b_{ji},$$

используется её сжатая запись в виде сравнения:

$$X_i \equiv b_{ji} \pmod{m_j},$$

где b_{ji} – образ-остаток, полученный в результате операции сравнения X_i по модулю m_j , он представляет собой значение остатка, полученного при делении числа X_i на число m_j , при этом символ « \equiv » означает «тождественное равенство».

В сжатой математической записи нет неполного частного l_i , присутствующего в начальной формуле. Эта особенность может быть использована и при кодировании информации: присутствующая в неявном виде при использовании существующих методов передачи информация о неполном частном l_i исключается при использовании для этой цели результата дополнительного кодирования на основе системы образов-остатков b_{ji} .

Далее в соответствии с математической теорией конечных полей [Булычев, Васильев, Кукушкин, 2016.] можно перейти, руководствуясь простейшей логикой синтеза новых инновационных информационных технологий и технических решений, к системе сравнений по нескольким модулям сравнения, например, $m_1 = 2^n - 1$, $m_2 = 2^n$, $m_3 = 2^n + 1$. Тогда вместо системы уравнений, использующей формализованное описание, получаем систему сравнений:

$$X_i \equiv b_{1i} \pmod{m_1},$$

$$X_i \equiv b_{2i} \pmod{m_2},$$

$$X_i \equiv b_{3i} \pmod{m_3}.$$

Если использовать для передачи только два образа-остатка b_{1i} и b_{3i} , то результат дополнительного кодирования $C_i = \langle b_{1i}, b_{3i} \rangle_2$ имеет ту же разрядность двоичного представления $N = 2n$, что и исходное сообщение X_i .

Результат кодирования $C_i(k\Delta T)$ составлен из их двух образов-остатков $b_{1i}(k\Delta T)$ и $b_{3i}(k\Delta T)$, где ΔT – интервал дискретизации аналогового процесса, а $k = 0, 1, 2, \dots$ – счётное множество формально объединённых в новое двоичное кодовое слово $C_i(k\Delta T) = b_{1i}(k\Delta T) \vee b_{3i}(k\Delta T)$ той же разрядности: $(N = 2n = 10)$.



Особенно эффективно данный метод проявляется при обработке результатов телеметрических параметров (ТПП), когда в результате дополнительного безызбыточного кодирования результатов телеметрических измерений (ТИ) появляются новые свойства:

- метрологическая шкала ТИ (представления данных $C_i(k\Delta T)$ ($\Pi = 0-1023$)) совпадает со шкалой, которая определяется разрядностью (N) кодовых слов, в то время как ее исходное значение, определяемое множеством данных $X_i(k\Delta T)$, находится в пределах $|200-380| = 180$, в результате этого разрешающая способность графического отображения ТМП повышена в $k = 1023/180 = 5,6$ раз;

- увеличено в $m_3 = 2^n + 1$ раз минимальное кодовое расстояние (d_{\min}) в метрике Евклида между соседними значениями закодированных значений ТМП, заключенными между разрывами.

Увеличение минимального кодового расстояния (d_{\min}) в соответствии с теорией свидетельствует о появившейся способности обнаруживать и исправлять ошибки передачи информации. Но в рассмотренном случае увеличение d_{\min} произойдет не везде, а только внутри выделенных временных интервалов, заключенных между соседними линиями. Факт появления разрыва определяют на приёмной стороне на основе выполнения условий следующего неравенства:

$$\Delta C_i = |C_i - C_{i+1}| \geq 0,8 \times 2^N.$$

Внутри временных интервалов, заключенных между соседними разрывами, выполняется уникальное свойство групповой равноостаточности. Оно заключается в том, что любое правильно принятое дополнительно закодированное значение сообщения C_i , принадлежащее выделенному временному интервалу, будучи поделенным на минимальное кодовое расстояние d_{\min} , даст один остаток ξ_i ($\xi_i = \text{Const}$), если оно не было искажено при передаче.

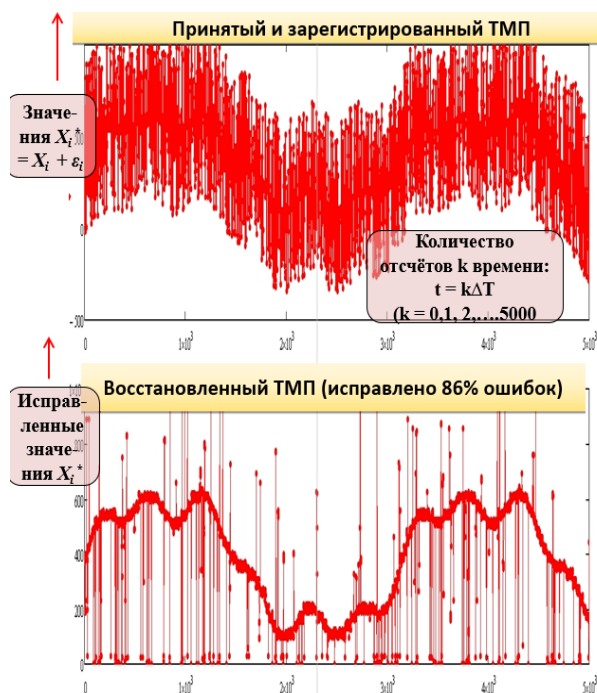
В общем случае при наличии помех, а также искажений, которые вызваны этими помехами, остатки от деления значений $C_i^* = C_i + \varepsilon_i$, где ε_i – ошибка, на d_{\min} становятся случайными величинами. Тогда свойство равноостаточности, соответствующее $\xi_i = \text{Const}$ для детерминированного случая (случая отсутствия помех, определяется как мода распределения $\xi_i^* : Mo[\xi_i^*]$. В результате этого из потока принимаемых дополнительно закодированных значений C_i^* выделяют своеобразный эталон (инвариант) в виде $Mo[\xi_i^*]$, имеющий такую же синхронную форму представления, как и значения параметров $X_i(k\Delta T)$ и $C_i(k\Delta T)$. Благодаря чему местоположение ошибки точно устанавливается, а она сама в последующем исправляется.

Выделенный таким образом инвариант становится основным элементом внедрения в систему передачи данных (СПД) искусственного интеллекта. Основой для его появления становится естественный интеллект человека, подкреплённый математическими методами нетрадиционного представления данных и сообщений в системе остаточных классов.

Изображение эффекта, получаемого при применении разработанных методов и технологий дополнительного безызбыточного кодирования информации в системе остаточных классов, представлено на рисунке.

Левая часть иллюстраций, приведенных на рисунке, показывает новые возможности обнаружения и исправления ошибок при приёме данных телеизмерений, искаженных помехой. Контролируемый параметр (верхний график) в условиях искажения мощной помехой оказывается ненаблюдаемым, но использование при декодировании свойств групповой равноостаточности позволило обнаружить и исправить 86 % ошибок (нижний график) передачи [Ширяев, 2024].

Кроме того, использование другого свойства, появляющегося при дополнительном кодировании информации в СОК, позволяет контролировать достоверность данных телеизмерений, полученных после восстановления на основе определения абсолютных разностей первого и второго порядков, которые определяют по отношению к значениям образов-остатков: вначале $b_{1i} \pmod{m_1}$ и $b_{3i} \pmod{m_3}$, а затем и после подключения к процессу обработки данных $b_{2i} \pmod{m_2}$.



2. Эффект от использования метрики Евклида для контроля достоверности принятых данных ТИ, представленных в СОК, на основе абсолютных разностей между значениями остатков ($\Delta^1 b_{1i}^* = |b_{1i}^* - b_{1i_{i+1}}^*| \pmod{m1}$ и $\Delta^1 b_{2i}^* = |b_{2i}^* - b_{2i_{i+1}}^*| \pmod{m2}$).

Данные ТИ считаются достоверными, если по отношению к ним выполняется условие инварианта №2: $\Delta^1 b_{1i}^* = \Delta^1 b_{2i}^*$ первого и второго порядков разности.

№№	X	Δ ¹ X ₁	Δ ² X ₁	mod 31		mod 33		контроль достоверности
				b ₁	Δ ¹ b ₁	b ₂	Δ ¹ b ₂	
1	596			7		2		
2	597	1		8	1	3	1	
3	600	3	2	11	3	6	3	0
4	604	4	1	15	4	10	4	0
5	605	1	3	16	1	11	1	0
6	609	4	3	20	4	15	4	0
7	613	4	0	24	4	19	4	0
8	594	19	15	5	19	15	15	0
9	605	11	8	16	11	11	11	0
10	611	6	5	22	6	17	6	0
11	606	5	1	17	5	12	5	0
12	612	6	1	23	6	18	6	0
13	615	3	3	26	3	21	3	0
14	616	1	2	27	1	22	1	0
15	621	5	4	1	28	25	5	21
16	621	0	5	1	0	26	0	21
17	623	2	3	3	2	29	2	0
18	622	1	1	2	1	28	1	0
19	623	1	0	3	1	0	1	0

Данные, соответствующие признакам достоверности на основе второго инварианта обведены овалами

Иллюстрация новых возможностей применения разработанных методов
дополнительного безыбыточного кодирования информации
Illustration of new possibilities for applying the developed methods
of additional non-redundant information

Заключение

В статье предлагается использование свойств самой передаваемой информации для повышения помехоустойчивости передаваемой информации и эффективности борьбы с помехами, что является обновлением теории чисел и теории Э. Галуа [Сакалема, 2015].

В статье показано, что известное в теории чисел свойство равноостаточности, проявляющееся в том, что различные по величине числа, будучи поделенными на одни и тот же модуль сравнения, дают один и тот же остаток, было использовано в практических приложениях, связанных с повышением помехоустойчивости инфокоммуникаций и помехозащищенности передаваемой информации.

При этом отсутствуют противоречия, когда вместо целенаправленно вводимых символов двоичного кода используют естественную избыточность самой передаваемой цифровой информации.

Полученные результаты могут использоваться для совершенствования искусственного интеллекта. Для чего развиваются идеи нетрадиционных технических решений, существенно развивающих теоретические и научно-методические положения, составляющие основу обеспечения и повышения помехоустойчивости различных инфокоммуникаций и радиоканалов.

Список литературы

- Блейхут Р. 1986. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир: 576.
Борисов В.И., Зинчук В.М. 2009. Помехозащищенность систем радиосвязи М., Наука: 358.
Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Кукушкин С.С. 2016. Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов. М.: Машиностроение, Полет: 440.
Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. 2008. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем. М.: МО РФ: 327.
Левин Л.С., Плоткин М.А. 1982. Цифровые системы передачи информации. М.: Радио и связь: 216.
Никитин Г.И. 2001. Сверточные коды: Учеб. Пособие СПбГУАП. СПб.: 80.
Осмоловский С.А. 2004. Помехоустойчивое кодирование: кризис и пути выхода из него. Вестник РУДН. Серия Прикладная и компьютерная математика. 3(1): 161–169.



- Сакалема Д.Ж. 2015. Подвижная радиосвязь под ред. О.И. Шелухина. М.: Горячая линия. Телеком: 512.
Финк Л.М. 1963. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. Радио: 576.
Фомин С.В. 1980. Системы счисления. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы: 48.
Ширяев А.А. 2023. Анализ методов повышения эффективности систем передачи данных в беспроводных информационных коммуникациях. Сборник статей Межвузовского международного конгресса «Высшая школа: научные исследования», Москва: 138.
Ширяев А.А. 2024. Разработка методов обеспечения помехоустойчивости космических инфокоммуникаций на основе кодирования в системе остаточных классов. Материалы диссертации, изд-во НИУ БелГУ: 103.

References

- Bleichut R. 1986. Theory and Practice of Error-Correcting Codes. M.: Mir: 576.
Borisov V.I., Zinchuk V.M. 2009. Interference Immunity of Radio Communication Systems. Moscow, Nauka: 358.
Bulychev Yu.G., Vasilyev V.V., Kukushkin S.S. 2016. Information and Measurement Support for Field Tests of Complex Technical Systems. Moscow: Mashinostroenie, Polet: 440.
Kukushkin S.S., Gladkov I.A., Chaplinsky V.S. 2008. Methods and Information Technologies for Monitoring the State of Dynamic Systems. Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation: 327.
Levin L.S., Plotkin M.A. 1982. Digital Information Transmission Systems. Moscow: Radio and Communications: 216.
Nikitin G.I. 2001. Convolutional Codes: Textbook. St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. St. Petersburg: 80.
Osmolovsky S.A. 2004. Noise-resistant coding: crisis and ways out of it. *Bulletin of RUDN. Series Applied and Computer Mathematics*. 3(1): 161–169.
Sakalema D.J. 2015. Mobile Radio Communication, edited by O.I. Shelukhin. Moscow: Goryachaya Liniya. Telecom: 512.
Fink L.M. 1963. Theory of Discrete Message Transmission. M.: Sov. Radio: 576.
Fomin S.V. 1980. Number Systems. M.: Nauka. Main Editorial Board of Physical and Mathematical Literature: 48.
Shiryaev A.A. 2023. Analysis of Methods for Improving the Efficiency of Data Transmission Systems in Wireless Information Communications. Collection of Articles of the Interuniversity International Congress "Higher School: Scientific Research", Moscow: 138.
Shiryaev A.A. 2024. Development of methods for ensuring the noise immunity of space infocommunications based on coding in the residual class system. Dissertation materials, Belgorod State University: 103.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 02.10.2025

Поступила после рецензирования 28.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received October 02, 2025

Revised November 28, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ширяев Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнических систем Института радиоэлектроники и информатики, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия

Кукушкин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный эксперт НИИ КС имени А.А. Максимова, г. Королёв, Московская обл., Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey A. Shiryaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering Systems at the Institute of Radioelectronics and Computer Science, Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia

Sergey S. Kukushkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Chief Scientific Expert at A.A. Maksimov Research Institute of Space Systems, Korolev, Moscow region, Russia



Кукушкин Леонид Сергеевич, научный сотрудник АО «Рязанское производственно-техническое предприятие «Гранит», г. Рязань, Россия

Leonid S. Kukushkin, Researcher at the Ryazan Production and Technical Enterprise Granit, Ryazan, Russia

Олейник Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Ivan I. Oleynik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.39
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-976-986
EDN ZZLCLJ

Требования к разработке разрешающего правила обнаружения сигналов в радиолокационных системах полного поляризационного зондирования с субполосной обработкой многочастотных ортогональных когерентных сигналов

¹Орищук С.Г., ²Олейник И.И., ²Урсол Д.В., ³Федоров П.А., ⁴Орищук Г.С.

¹АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР»

Россия, 115516, г. Москва, Кавказский б-р, д. 59, офис 3-XIV-21

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

³ООО «Системы наземного обеспечения и инновационные технологии»

Россия, Калужская обл., 249033, г. Обнинск, пр-т Ленина, д. 91Б, офис 8-20

⁴АО «Особое конструкторское бюро МЭИ»

Россия, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14

orishuck.sergei@yandex.ru, oleinik_i@bsuedu.ru, ursol@bsuedu.ru, snoiit.fedorov@gmail.com, shuka9@mail.ru

Аннотация. Рассматривается синтез разрешающего правила в однопозиционных радиолокационных системах с полным поляризационным зондированием при субполосной обработке многочастотных ортогональных когерентных сигналов. Последовательно изложены и обоснованы: выбор весов многочастотного сигнала; фильтрация ПВР и регуляризация плохо обусловленных ковариационно-поляризационных матриц. Приведен принцип формирования обучающих выборок и проверка нормальности распределения поляризационных векторов рассеяния. Обосновано применение критерия Неймана – Пирсона для синтеза решающего правила обнаружения сигналов. На основе экспериментальных данных, полученных на макете бортовой радиолокационной системы «Доступ-В», показано, что спектральная усечка ковариационно-поляризационных матриц обеспечивает смещение решающей статистики не более 0,8 % и вероятность правильного обнаружения 0,97 при вероятности ошибки первого рода 10^{-4} . Обоснованы требования к аппаратно-программному обеспечению радиолокационных систем полного поляризационного зондирования.

Ключевые слова: когерентный, поляризационный вектор рассеяния, ковариационно-поляризационная матрица, GLRT, субполосная обработка, полное поляризационное зондирование, вероятность обнаружения, ложная тревога

Для цитирования: Орищук С.Г., Олейник И.И., Урсол Д.В., Федоров П.А., Орищук Г.С. 2025. Требования к разработке разрешающего правила обнаружения сигналов в радиолокационных системах полного поляризационного зондирования с субполосной обработкой многочастотных ортогональных когерентных сигналов. *Экономика. Информатика*, 52(4): 976–986. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-976-986; EDN ZZLCLJ

Requirements for the Development of an Allow Rule for Signal Detection in Full-Polarization Sounding Radar Systems with Subband Processing of Multi-Frequency Orthogonal Coherent Signals

¹Sergey G. Orishchuk, ²Ivan I. Oleynik, ²Denis V. Ursol,

³Pavel A. Fedorov, ⁴Grigory S. Orishchuk

¹JSC “Phazotron-NIIR Corporation”

59 Kavkazsky Blvd., Office 3-XIV-21, Moscow 115516, Russia

²Belgorod State National Research University

85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

³Limited Liability Company “Systems on Nod Observation and Information Technologies”

91B Lenin Ave., Office 8-20, Obninsk 249033, Kaluga Region, Russia

⁴JSC “Special Design Bureau of MPEI”

14 Krasnokazarmennaya St., Moscow 111250, Russia

orishchuk.sergei@yandex.ru, oleynik_i@bsuedu.ru, ursol@bsuedu.ru, snoiit.fedorov@gmail.com,
shuka9@mail.ru

Abstract. The paper considers the synthesis of an allow rule in single-position radar systems with full polarization probing during subband processing of multi-frequency orthogonal coherent signals. The paper consistently presents and justifies the following: the selection of weights for a multi-frequency signal; the filtering of polarization vectors, and the regularization of poorly conditioned covariance-polarization matrices. The paper also describes the principle of forming training samples and checking the normality of the distribution of polarization scattering vectors. The application of the Neumann–Pearson criterion for the synthesis of the decision rule for signal detection is substantiated. Based on the experimental data obtained on the mock-up of the onboard radar system “Access-V”, it is shown that the spectral truncation of the covariance-polarization matrices provides the decision statistics bias of no more than 0.8 % and the probability of correct detection of 0.97 with the probability of the first-kind error of 10^{-4} . The requirements for the hardware and software of full polarization radar systems have been substantiated.

Keywords: coherent, polarization scattering vector, covariance-polarization matrix, subband processing, full polarization probing, detection probability, false alarm

For citation: Orishchuk S.G., Oleynik I.I., Ursol D.V., Fedorov P.A., Orishchuk G.S. 2025. Requirements for the Development of an Allow Rule for Signal Detection in Full-Polarization Sounding Radar Systems with Subband Processing of Multi-Frequency Orthogonal Coherent Signals. *Economics. Information technologies*, 52(4): 976–986 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-4-976-986; EDN ZZLCLJ

Введение

В условиях обнаружения объектов (целей) на фоне помех (подстилающей поверхности) традиционные энергетические и доплеровские методы радиолокационного обнаружения теряют эффективность. Повышение информативности может быть достигнуто за счёт полного поляризационного зондирования (ППЗ) пространства и описания отражённого сигнала поляризационным вектором рассеяния (ПВР) [Олейник, 2020]

$$\mathbf{S}(t) = (S_{HH}(t) \ S_{HV}(t) \ S_{VH}(t) \ S_{VV}(t))^T \in \mathbb{C}^4, \quad (1)$$

где: S_{HH} , S_{HV} , S_{VH} , S_{VV} независимые компоненты поляризационного вектора рассеяния в линейном ортогональном базисе в четырёхмерном комплексном векторном пространстве [Бакулев, 2004]; символ H обозначает горизонтальную, а символ V вертикальную поляризацию.

При этом необходимо учитывать возможность использования сверхширокополосных (СШП) сигналов. Кроме этого, при длине волны, сопоставимой или кратной размеру цели

(или отдельных элементов цели), возникают резонансные отражения, которые по сравнению с полосой сигнала являются узкополосными [Allen, Mills, 2004]. Для адекватного учета этих особенностей возможно использовать методы субполосного анализа и синтеза сигналов, разработанные коллективом ученых под руководством Жилякова Е.Г.

Выбор весов при субполосном представлении сигнала

При субполосном представлении сверхширокополосный сигнал можно представить в виде многочастотного, состоящего из K частот (субполос) [Жиляков, 2015]

$$s(t) = \sum_k^K \alpha_k p_k(t) e^{j2\pi f_k t}, 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

где:

k – текущий номер (индекс) частоты субполосы;

T – обозначает длительность зондирующего импульса (или когерентной пачки импульсов);

$p_k(t)$ – ортонормированные базисные функции;

f_k – несущие частоты субполос;

$\alpha_k \in \mathbb{C}$ – комплексные веса, подлежащие выбору [Allen, 2007].

Оптимальный вектор весов $\alpha = [\alpha_1, \dots, \alpha_K]^T$ максимизирует отношение сигнал/помеха (ОСП) в совокупности субполос:

$$ОСП = \frac{\alpha^H \mathbf{R}_s \alpha}{\alpha^H \mathbf{R}_n \alpha} \rightarrow \max_{\alpha}, \quad (3)$$

где:

$\mathbf{R}_s, \mathbf{R}_n$ – ковариационные матрицы сигнала и помехи (шума) соответственно;

α – оптимальный вектор весов, выраженный вектор-столбцом весовых коэффициентов амплитуд частотных составляющих зондирующего сигнала;

α^H – эрмитово преобразование (транспонирование и замена элементов матрицы на комплексно-сопряженные элементы) оптимального вектора весов.

Стратегия выбора весов заключается в решении обобщённого собственного уравнения

$$\mathbf{R}_s \alpha = \lambda_{\max} \mathbf{R}_n \alpha. \quad (4)$$

На практике \mathbf{R}_s априори неизвестна, и требуются упрощённые стратегии выбора весов субполосного (многочастотного) сигнала. При этом возможны несколько вариантов.

Равномерная стратегия – используется при отсутствии априорной информации о спектральных свойствах цели. Веса задаются как

$$\alpha_k = \frac{1}{\sqrt{K}}, k = 1, \dots, K. \quad (5)$$

Преимущество: максимизация суммарной эффективной площади рассеяния (ЭПР) цели, устойчивость к изменению ракурса. Недостаток: возможное «размазывание» энергии по нерезонансным субполосам [Breiman, 1996].

Резонансная стратегия – применяется при известных частотах резонанса при отражении от цели (например, $f_{рез} \approx 2,3$ ГГц для углового отражателя с ребром 50 мм) [Calude, 2017]. При этом веса задаются следующим образом:

$$\alpha_k = \begin{cases} 1, & f_k = f_{рез} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}. \quad (6)$$

Преимущество – максимальное ОСП в резонансных субполосах. Недостаток – резкое падение вероятности правильного обнаружения P_D при смещении ракурса (экспериментально при $\pm 10^\circ$ – снижение с 0,97 до 0,86).

Адаптивная стратегия реализуется в два этапа. Сначала производится сканирующее

зондирование с равномерными весами. Затем вычисляется мера информативности субполосы $D^{(r)}$. Веса назначаются пропорционально корню из этой меры

$$\alpha_k = \frac{\sqrt{D^{(k)}}}{\|\sqrt{\mathbf{D}}\|_2}, \quad \mathbf{D} = \begin{pmatrix} D^{(1)} & D^{(2)} & \dots & D^{(K)} \end{pmatrix}^T \in \mathbb{R}^K, \quad (7)$$

где:

$D^{(K)}$ – скалярное значение меры различия областей локализации ПВР цели и помехи (шума) в k -й субполосе;

$\|\sqrt{\mathbf{D}}\|_2$ – евклидова норма вектора \mathbf{D} [Кау, 1993].

Экспериментальные исследования с использованием РЛС «Доступ-В» при обнаружении углового отражателя, с разбиением полосы 200 МГц на 6 субполос, показали следующие результаты. При равномерной стратегии вероятность правильного обнаружения $P_D = 0,92$. При резонансной стратегии $P_D = 0,97$, однако при увеличении дисперсии отклонения от ракурса более 0,014 вероятность правильного обнаружения начинает резко падать. При адаптивной стратегии P_D составляет порядка 0,95–0,96.

Фильтрация и субполосная обработка поляризационных векторов рассеяния

Алгоритм субполосной обработки ПВР заключается в следующем.

После приёма выборки сигнала $4N$ (4 поляризации $\times N$) отсчётов по дальности/времени производится формирование ПВР.

При использовании пачки сигналов производится когерентное накопление и пространственная фильтрация.

Для каждого элемента разрешения формируется средний ПВР

$$\mathbf{s} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \mathbf{s}^{(l)}, \quad (8)$$

где:

L – число импульсов в пачке.

Далее, для подавления помех применяется проекция на подпространство сигнала. По сути, это фильтрация сигналов

$$\tilde{\mathbf{S}} = \mathbf{U}_s \mathbf{U}_s^H \mathbf{S}, \quad (9)$$

где:

$\tilde{\mathbf{S}}$ – обозначает проекцию исходного поляризационного вектора рассеяния на подпространство сигнала, или, иначе говоря, фильтрованный, очищенный от шума вектор ПВР;

\mathbf{U}_s -столбцы – собственные векторы КПМ \mathbf{R}_s , соответствующие наибольшим собственным числам.

При этом ранг ковариационно-поляризационной матрицы (КПМ) сигнала будет определяться числом линейно независимых (информативных) компонент поляризационного вектора рассеяния (ПВР).

Следующая операция – субполосное разложение.

Сигнал с помощью положительно определённых ядер $A_r(t)$ разбивается на R неперекрывающихся субполос [Жиликов, 2015].

В каждой субполосе формируется отдельный ПВР-оценщик $s^{(r)}$, а затем – субполосная ковариационно-поляризационная матрица (СКПМ)

$$\mathbf{R}^{(r)} = E \left[\left(\mathbf{s}^{(r)} - \boldsymbol{\mu}^{(r)} \right) \left(\mathbf{s}^{(r)} - \boldsymbol{\mu}^{(r)} \right)^H \right], \quad (10)$$

где:

$\mathbf{s}^{(r)}$ – случайный вектор, представляющий собой поляризационный вектор рассеяния (ПВР), измеренный в r -й субполосе;

$\boldsymbol{\mu}^{(r)}$ – математическое ожидание (вектор средних) поляризационного вектора рассеяния (ПВР) в r -й субполосе [Жиляков и др., 2018]

$$\boldsymbol{\mu}^{(r)} = \begin{bmatrix} E[s_{HH}^r] \\ E[s_{HV}^r] \\ E[s_{VH}^r] \\ E[s_{VV}^r] \end{bmatrix}.$$

$\mathbf{R}^{(r)}$ является плохо обусловленной ($\kappa = \lambda_{\max}/\lambda_{\min} \approx 10^4 - 10^5$), поскольку истинная матрица сингулярна, а измерения содержат шумы и системные ошибки,

$\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ – собственные числа ковариационно-поляризационной матрицы – $\mathbf{R} \in \mathbb{C}^{4 \times 4}$.

Для обращения $\mathbf{R}^{(r)}$ в GLRT-статистике возможны разные подходы.

Достаточно распространенным является регуляризация по Тихонову – добавление диагональной матрицы:

$$\mathbf{R}_\varepsilon = \mathbf{R}^{(r)} + \varepsilon \mathbf{I}, \quad \varepsilon = 0.01 \cdot \text{tr} \mathbf{R}^{(r)}, \quad (11)$$

где:

$\mathbf{R}^{(r)}$ – ковариационно-поляризационная матрица (КПМ) в r -й субполосе;

ε – регуляризирующий параметр (коэффициент Тихонова) – положительное вещественное число, добавляемое к диагонали КПМ для улучшения её численной устойчивости при обращении (обычно вычисляется как 1 % от следа исходной матрицы $\text{tr} \mathbf{R}^{(r)}$);

\mathbf{I} – единичная матрица размера 4×4 – диагональная матрица с единицами на главной диагонали.

Сумма собственных чисел КПМ, пропорциональная общей мощности сигнала в субполосе.

Добавление произведения $\varepsilon \mathbf{I}$ равносильно добавлению белого шума к сигналу – стандартный метод регуляризации в задачах обращения плохо обусловленных матриц. \mathbf{R}_ε – регуляризованная КПМ.

Метод Тихонова ("ridge regression") достаточно прост в реализации, но привносит систематическое смещение в решающую статистику GLRT, что снижает вероятность правильного обнаружения [Van Trees, 2013].

При реальных измерениях (шум, дрейф параметров) КПМ становится сингулярной или почти сингулярной, и её обратная матрица не может быть вычислена точно. Регуляризация \mathbf{R}_ε позволяет получить устойчивую оценку $\mathbf{R}_\varepsilon^{-1}$, но ценой потери точности – так как вводится искусственная «размытость» в модель сигнала.

Преимущество метода – численная устойчивость. Недостаток – внесение смещения в решающую статистику (на 12–15 % при $\varepsilon = 0,01$), что подтверждено моделированием и теоретически [Van Trees, 2013].

Кроме метода Тихонова возможно использование спектральной усечки, которая заключается в замене малых собственных чисел нулём

$$\lambda_k = \begin{cases} 1/\lambda_i, & \lambda_i > \delta \cdot \text{tr} \mathbf{R}^{(r)} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (12)$$

где:

λ_i – собственное число КПМ $\mathbf{R}^{(r)}$;

λ_i^+ – регуляризованное обратное значение собственного числа;

δ – пороговый коэффициент (обычно выбирается $10^{-3} - 10^{-4}$);

$\text{tr} \mathbf{R}^{(r)}$ – след ковариационно-поляризационной матрицы (КПМ) в r -й субполосе.

Этот метод не вносит смещения, так как соответствует проекции на подпространство, натянутое на информативные собственные векторы.

Существуют строгие доказательства: при гауссовом шуме и истинной сингулярности \mathbf{R} , спектральная усечка совпадает с условным математическим ожиданием оценки [Фомин, Тарловский, 1986].

Спектральная усечка используется для вычисления регуляризованной псевдообратной матрицы $[\mathbf{R}^{(r)}]^+$ в выражении GLRT-статистики

$$T = \left(s^{(r_{\max})} - \mu_u^{(r_{\max})} \right)^H \left[R_u^{(r_{\max})} \right]^+ \left(s^{(r_{\max})} - \mu_u^{(r_{\max})} \right).$$

Замена λ_i на λ_i^+ позволяет избежать деления на очень малые числа (которые возникают из-за погрешностей измерений и физической сингулярности истинной КПМ), что приводило бы к неустойчивости алгоритма.

В псевдообратной матрице остаются в основном большие собственные числа, остальные обнуляются. Это соответствует проекции сигнала на подпространство, натянутое на информативные («сигнальные») компоненты, «шумовые» игнорируются [Breiman, 1996].

Метод не вносит систематического смещения в решающую статистику (в отличие от регуляризации по Тихонову).

Еще одним методом является PCA-проекция (Principal Component Analysis Projection), то есть проекция на главные компоненты. Этот метод линейного преобразования многомерных данных заключается в том, что исходные признаки (векторы) ортогонально проецируются на новую систему координат, образованную собственными векторами ковариационной матрицы (главными компонентами), упорядоченными по убыванию соответствующих собственных чисел (снижение размерности) [Van Trees, Bell, 2013]

$$\mathbf{s}_{red} = \mathbf{Q}_{1:M}^H \mathbf{s}, \quad (13)$$

где:

\mathbf{s} – исходный поляризационный вектор рассеяния (ПВР) размерности 4;

\mathbf{s}_{red} – редуцированный (сокращённый) вектор ПВР – результат проекции 4-мерного исходного вектора \mathbf{s} на M -мерное подпространство, где $M \leq 4$; размерность результата: \mathbb{C}^M ;

$\mathbf{Q}_{1:M}^H$ – эрмитово сопряжённая матрица, составленная из первых столбцов матрицы собственных векторов \mathbf{Q} – выполняет линейное преобразование из \mathbb{C}^4 в \mathbb{C}^M , проецируя вектор на подпространство, натянутое на первые главные компоненты [Кау, 1993].

Матрица $\mathbf{Q} = [\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \mathbf{q}_3, \mathbf{q}_4]$ является унитарной матрицей, полученной при спектральном разложении КПМ $\mathbf{R} = \mathbf{Q}\mathbf{\Lambda}\mathbf{Q}^H$. $\mathbf{\Lambda}$ – диагональная матрица собственных чисел, полученная из ковариационно-поляризационной матрицы \mathbf{R} .

При таком подходе сохраняется 98–99 % энергии флуктуаций, но возможна потеря дискриминативных признаков, связанных с деполяризацией [Фомин, Тарловский, 1986].

Для сравнения различных методов регуляризации было проведено моделирование с использованием натуральных данных, полученных по уголкового отражателю. Проводилось 10^4 испытаний по обнаружению уголкового отражателя. При этом задавалась ошибка первого рода $P_{FA} = 10^{-4}$ и ОСП = –5 дБ.

Результаты моделирования:

– регуляризация по Тихонову ($\epsilon = 0,01$) показала вероятность правильного обнаружения $P_D = 0,81$ и смещение порога +14,2 %;

– спектральная усечка ($\delta = 10^{-3}$) показала $P_D = 0,97$ и смещение +0,8 %;

– метод PCA показал $P_D = 0,94$ и смещение –1,3 %.

В данном случае метод спектральной усечки совмещает высокую эффективность ($P_D > 0,96$) и теоретическую корректность (отсутствие систематической ошибки).

Решающее правило обнаружения целей на фоне помехи

Решающее правило заключается в получении обучающих выборок и расчетам по ним параметров распределения, выборе критерия обнаружения и построении отношения правдоподобия, получении контрольных выборок с расчетом параметров распределения [Жиляков и др., 2022].

Для использования критерия Неймана – Пирсона формулируются гипотезы [Calude, Longo, 2017]

$$H_0 : s = u \rightarrow CN(\mu_u, R_u), \quad H_1 : s = \mu_s + u, \quad (14)$$

где:

H_0 – нулевая гипотеза (цель отсутствует);

H_1 – альтернативная гипотеза (цель присутствует);

s – наблюдаемый ПВР (измеряемый сигнал);

u – шум/фон (ПВР подстилающей поверхности);

CN – комплексное нормальное распределение;

μ_u – математическое ожидание ПВР фона;

R_u – КПМ ПВР фона; μ_s – вектор сигнала от цели.

GLRT-статистика имеет вид [Дикуль и др., 2007]

$$T = (s^{(r_{\max})} - \mu_u^{(r_{\max})})^H [R_u^{(r_{\max})}]^+ (s^{(r_{\max})} - \mu_u^{(r_{\max})}), \quad (15)$$

где:

T – решающая статистика, используемая для принятия решения об обнаружении;

$s^{(r)}$ – наблюдаемый поляризационный вектор рассеяния (ПВР) в субполосе, размерностью 4×1 ;

r_{\max} – индекс субполосы, выбранной по критерию максимума меры различия; наиболее информативная субполоса для текущего наблюдения;

$\mu_u^{(r)}$ – вектор математического ожидания ПВР подстилающей поверхности (ПП) в субполосе, полученный путём усреднения множества реализаций ПВР на участке, где заведомо отсутствует цель;

$R_u^{(r)}$ – ковариационно-поляризационная матрица (КПМ) ПВР ПП в субполосе r ;

$[R_u^{(r)}]^+$ – псевдообратная матрица КПМ ПП в субполосе r , полученная методом спектральной усадки;

$(\cdot)^H$ – эрмитово сопряжение (транспонирование + комплексное сопряжение элементов).

При использовании критерия Неймана – Пирсона задаётся порог η по фиксированному уровню ошибки первого рода или уровню ложных тревог (при проведении экспериментов задавалось 10^{-4}) [Фомин, Тарловский, 1986]

$$P_{FA} = P_r(T > \eta | H_0) = 10^{-4}. \quad (16)$$

Экспериментальные исследования проводились с использованием РЛС «Доступ-В».

Обучающие выборки получены в диапазоне 9,375 ГГц с пересчётом амплитуд на дальность 500 м.

Подстилающая поверхность (степь). Получено 120 реализаций ПВР подстилающей поверхности (помехи) в секторе $30^\circ \times 500$ м (1 элемент разрешения), ОСП ≥ 25 дБ.

В качестве цели использовались уголки отражатели (УО1 с ЭПР 39,75 м², УО2 с ЭПР 198,66 м²) по 80 реализаций на каждый ракурс (шаг 5° по азимуту, $\pm 45^\circ$), фиксированный угол места = 0° . Автомобили (А1 – снегоочиститель, А2 – заправщик), аналогично УО, дополнительно – 5° по углу места (-5° – $+5^\circ$).

На рис. 1 приведены результаты обнаружения при регуляризации по Тихонову и спектральной усадке (ROC) при обнаружении УО1.

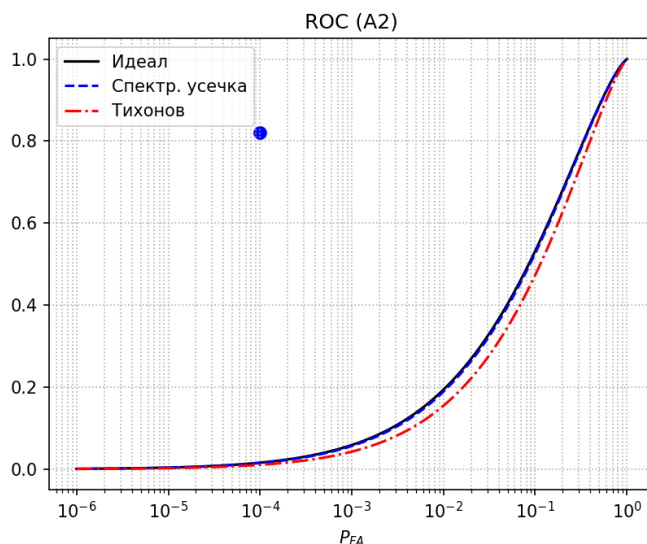


Рис. 1. Результаты обнаружения
Fig. 1. Detection results

Сплошная линия – теоретическая. Пунктирная линия – для различных методов. Разрыв между спектральной усечкой $P_D = 0,82$ и методом Тихонова $P_D = 0,64$ составляет 18 %.

На рис. 2 приведены полученные вероятности правильного обнаружения $P_D(P_{FA})$ при различных заданных ошибках первого рода для всех четырех объектов при спектральной усечке.

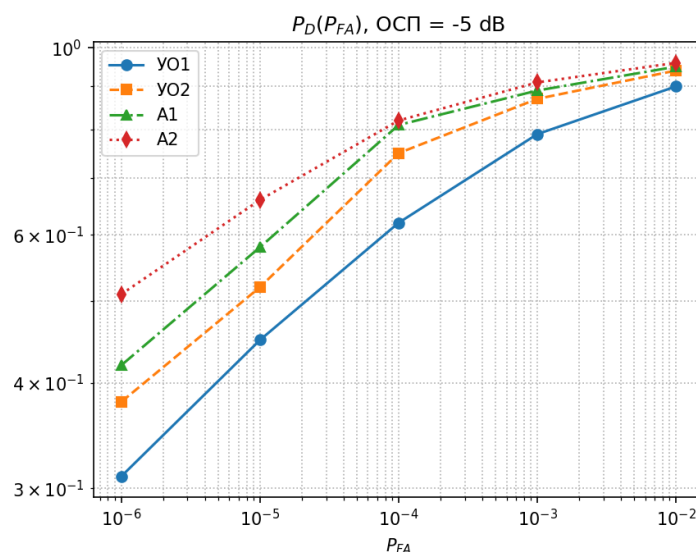


Рис. 2. Результаты обнаружения объектов при спектральной усечке
Fig. 2. Results of object detection during spectral truncation

Видно, что для YO2 и A2 кривые почти совпадают (разница $< 0,03$), что говорит о схожести их поляризационных свойств.

С использованием экспериментальных данных были получены оценки влияния технических параметров приемных трактов РЛС на характеристики обнаружения.

В качестве технических параметров были выбраны:

δ_a – амплитудный разбаланс приемных каналов;

δ_ϕ – фазовый разбаланс приемных каналов;

ρ – развязка по поляризации;

β – шум АЦП.

На рис. 3 приведены зависимости P_D при ошибке первого рода 10^{-4} от технических параметров трактов при обнаружении объекта А2.

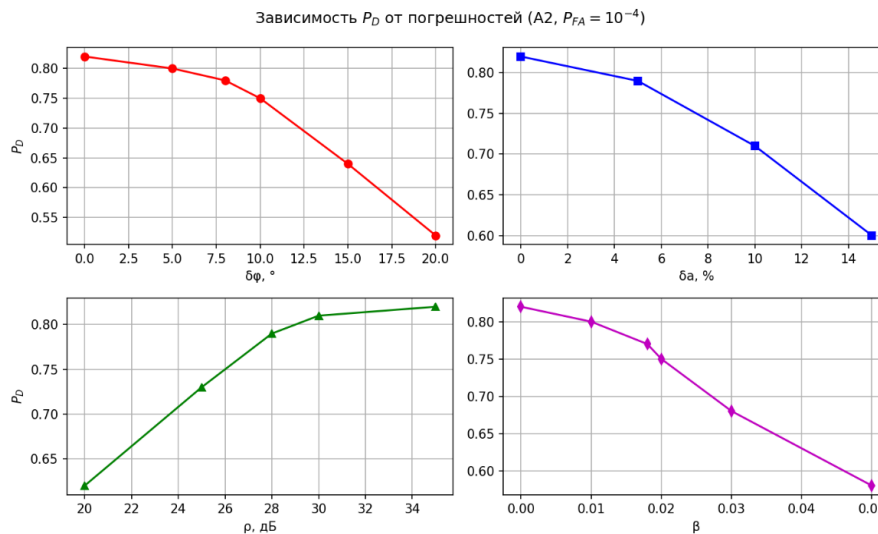


Рис. 3. Зависимость P_D от технических параметров приемных трактов
Fig. 3. P_D dependence on the technical parameters of the receiving paths

Приемлемые показатели качества обнаружения объектов получаются при: $\delta a < 5\%$ (амплитудный разбаланс); $\delta\varphi < 8\%$ (фазовый разбаланс); $\rho > 30$ дБ (развязка по поляризации); $\beta < 0,01$ (шум АЦП).

Заключение

Разработано решающее правило обнаружения объектов на фоне помех (подстилающей поверхности) с использованием критерия Неймана – Пирсона.

Рассмотрены варианты выбора весов многочастотного сигнала при субполосном представлении сигналов.

Рассмотрены варианты регуляризации плохо обусловленных ковариационно-поляризационных матриц. Наиболее предпочтительным является метод спектральной усечки.

С использованием экспериментальных данных получены показатели качества обнаружения различных объектов на фоне помех (подстилающей поверхности).

На основе проведенных экспериментальных исследований получены оценки влияния технических параметров приемных трактов РЛС на показатели качества обнаружения.

Список литературы

- Бакулев П.А. 2004. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 320.
- Жиляков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности. *Автоматика и телемеханика*, 4: 51–66.
- Жиляков Е.Г., Олейник И.И., Попов А.Н., Тетерин Д.П., Яшин А.Г., Харитонов А.Ю. 2022. Субполосный способ радиолокационного обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Патент 2765272 РФ: МПК G01S 13/52 (2006.01), G01S 13/66 (2006.01), № 2021102659, опубликован 27.01.2022; Бюл. № 3.
- Диккуль О.Д., Новоченко Ю.П., Олейник И.И. 2007. Многоальтернативные решения задач выбора класса принадлежности радиолокационных объектов для систем с поляризационным зондированием. *Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. Прикладная математика. Управление*, 7(38), 4: 197–206.
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Олейник И.И., Романькова Т.С. 2018. Обработка сигналов в линейных системах. *Наука. Инновации. Технологии*, 2: 35–48.

- Олейник И.И. 2020. Представление сигналов при обработке информации в малобазовой поляризационной измерительной системе. *Экономика. Информатика*, 47(2): 422–431.
- Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. 1986. Статистическая теория распознавания образов. М.: Радио и связь, 264 с.
- Allen R.L., Mills D.W. 2004. Signal analysis. Time, frequency, scale, and structure. IEEE Press, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 246.
- Breiman L. 1996. Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(2): 123–140.
- Calude C.S., Longo G. 2017. The Deluge of Spurious Correlations in Big Data. *Foundations of Science*, 22: 595–612.
- Kay S.M. 1993. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 595.
- Van Trees H.L., Bell K.L. 2013. Detection, Estimation, and Modulation Theory. Part I. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 1176.

References

- Bakulev, P.A. 2004. Radar Systems. Moscow: Radiotekhnika, 320.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal Subband Methods of Finite-Duration Signals Analysis and Synthesis. *Automation and Remote Control*, 4: 51–66.
- Zhilyakov E.G., Oleynik I.I., Popov A.N., Teterin D.P., Yashin A.G., Kharitonov A.Yu. 2022. Subband method of radar detection of small unmanned aerial vehicles. Patent 2765272 of the Russian Federation: IPC G01S 13/52 (2006.01), G01S 13/66 (2006.01), No. 2021102659, published on 27.01.2022; Bulletin No. 3.
- Dikul O.D., Novochenko Yu.P., Oleynik I.I. 2007. Multialternative solutions of the problems of the class of belonging of radar objects for systems with polarization probing. *Scientific statements of BelGU. Ser. Informatics. Applied mathematics. Management*, 7(38), 4: 197–206.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleynik I.I., Romankova T.S. 2018. Signal Processing in Linear Systems. *Science. Innovations. Technologies*, 2: 35–48.
- Oleynik I.I. 2020. Signal representation in information processing in a low-base polarization measurement system. *Economics. Information technologies*, 47(2): 422–431.
- Fomin Ya.A., Tarlovsky G.R. 1986. Statistical Theory of Pattern Recognition. Moscow: Radio and Communications, 264.
- Allen R.L., Mills D.W. 2004. Signal analysis. Time, frequency, scale, and structure. IEEE Press, Wiley-Interscience, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 246.
- Breiman L. 1996. Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(2): 123–140.
- Calude C.S., Longo G. 2017. The Deluge of Spurious Correlations in Big Data. *Foundations of Science*, 22: 595–612.
- Kay S.M. 1993. Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 595.
- Van Trees H.L., Bell K.L. 2013. Detection, Estimation, and Modulation Theory. Part I. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 1176.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 09.10.2025

Поступила после рецензирования 28.11.2025

Принята к публикации 02.12.2025

Received October 09, 2025

Revised November 28, 2025

Accepted December 02, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Оришук Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника управления, АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey G. Orishchuk, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Department, JSC “Phazotron-NIIR Corporation”, Moscow, Russia



Олейник Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Ivan I. Oleynik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Denis V. Ursol, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Федоров Павел Александрович, генеральный директор ООО СНОиИТ, г. Обнинск, Калужская область, Россия

Pavel A. Fedorov, CEO of Limited Liability Company “Systems on Nod Observation and Information Technologies”, Obninsk, Kaluga region, Russia

Орищук Григорий Сергеевич, инженер второй категории, АО «Особое конструкторское бюро МЭИ», г. Москва, Россия

Grigory S. Orishchuk, Engineer of the Second Category, JSC “Special Design Bureau of MPEI”, Moscow, Russia