Белгородский государственный национальный исследовательский университет

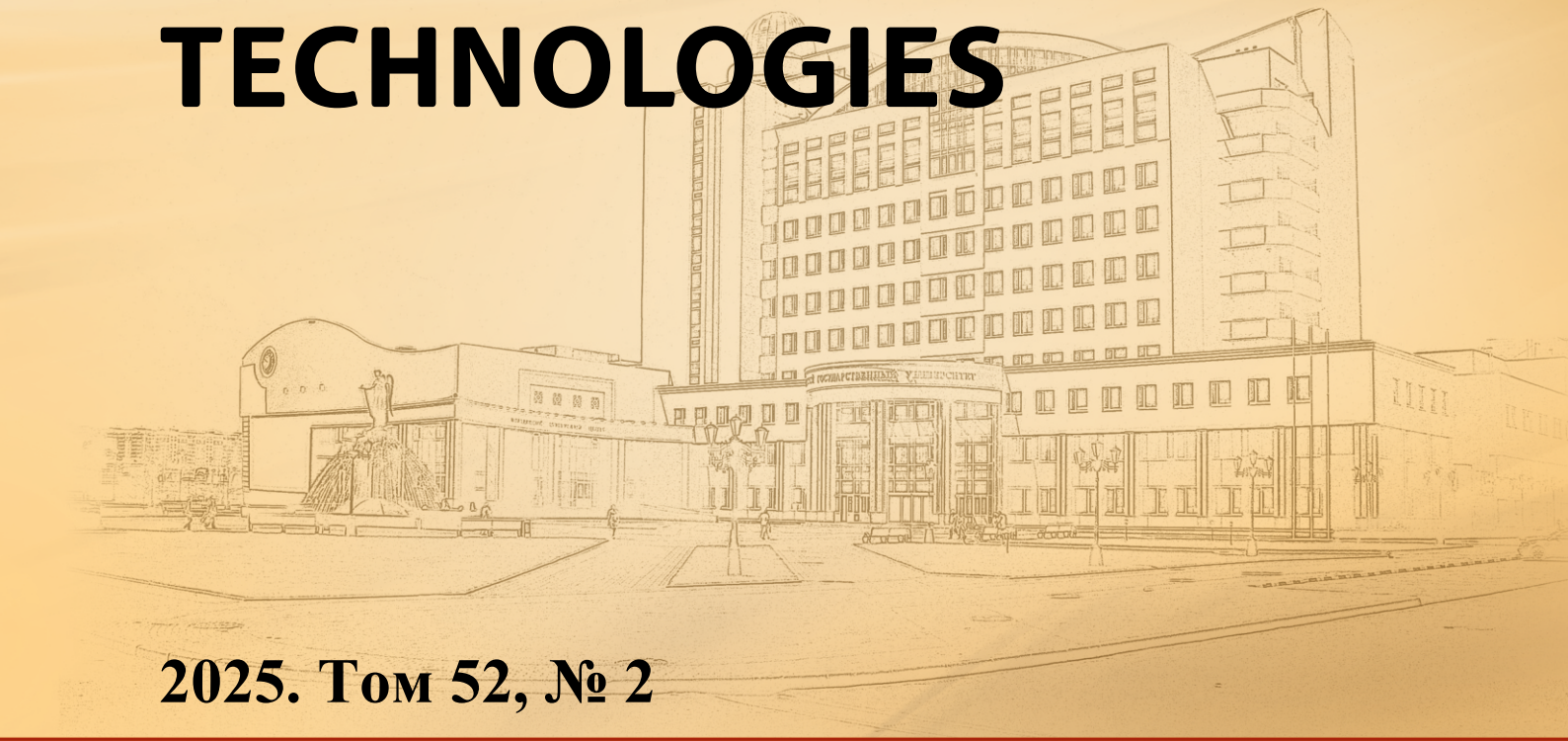
ISSN 2687-0932 (online)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2025. Том 52, № 2

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА
2025. Том 52, № 2

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. Жиляков, 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. Стрябкова, 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 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. Иващук, 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. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Мишенина. Редактор англоязычных текстов Е.С. Данилова. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 25,8. Дата выхода 30.06.2025. Оригинал-макет подготовлен центром полиграфического производства НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

243 Азжеурова К.Е., Соловьева Н.Е.
Ключевые индикаторы устойчивого инвестиционного развития приграничных регионов
255 Добродомова Т.Н., Лыщикова Ю.В.
Моделирование устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона в условиях цифровизации
268 Лемнев В.Н., Стрябкова Е.А.
Переосмысление функций экономического пространства в условиях усложнения пространственной организации и цифровой трансформации экономики
279 Петрова Е.А., Калинина В.В., Усачева И.В.
Моделирование и оценка влияния социально-экономических факторов и цифровой трансформации на экономический рост территории на базе нейронных сетей
291 Соловей Ю.А.
Трансформация теоретических подходов к территориальному капиталу региона: отечественный и зарубежный опыт

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

306 Коробейникова О.М., Дугина Т.А., Горбачева А.С.
Состояние и тенденции развития нефтегазовой отрасли России
318 Рудычев А.А., Трошин А.С., Билинский А.Р.
Стратегические направления повышения конкурентоспособности предприятия в контексте приоритетов экономического развития российской промышленности
331 Симонцев Д.А., Савотченко С.Е.
Сравнительный анализ моделей управления региональными сбытовыми сетями предприятий минерально-сырьевой отрасли
346 Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П.
Проблемы и перспективы развития транспортной отрасли как фактора роста российской экономики

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

354 Кроливецкая В.Э., Солдатенкова И.В.
О стандартах качества кредитной деятельности банков и защите прав заемщиков
372 Токарь Е.В., Региг Иссам
Учетно-аналитическое обеспечение управления финансовым состоянием организаций: современное состояние и развитие

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

383 Титов А.И., Корсунов Н.И., Щербинина Н.В.
Метод опорных контуров в задании признаков классификации изображений объектов
391 Ганичева А.В., Ганичев А.В.
Моделирование случайной составляющей агитационного процесса
400 Аль-Шамки А.А.О., Аль Жанзир З.М.
Метод обработки изображений магнитно-резонансной томографии на основе линейной интерполяции и алгоритма светлячков
413 Колесников Ю.Д., Заливин А.Н., Александров А.В., Федорова Н.В.
Моделирование сигнальных откликов от БПЛА при использовании доплеровской РЛС и их спектральный анализ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

421 Бобышев П.П., Жихарев А.Г., Гапицонов И.Ю., Кузнецов А.В.
Метод системного моделирования организационно-деловых процессов
433 Константинов И.С., Альамери А.Н.М., Гайворонский В.А.
Исполнительная подсистема управления процессом лечения детей больных спектральным аутизмом
441 Al-Khafaji Israa M. Abdalameer, Panov A.V.
The Autonomous Movement of an Omnidirectional Robot Along a Calculated Trajectory

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

455 Осипов Д.Л., Гавришев А.А.
К вопросу об использовании методов нелинейной динамики для обнаружения сигналов в присутствии шумов
456 Куценко С.М., Салтанаева Е.А., Ахметов А.М.
Обнаружение вторжений в компьютерные сети на основе аномалий с помощью методов машинного обучения
476 Чурсин Д.С.
Об устойчивости стеганографических методов для защиты цифровых изображений в условиях внешних воздействий

SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES
2025. Volume 52, No. 2

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

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

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. Stryabkova, 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 of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

Members of 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. Vladyka, 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. Volchkov, 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 Kazpotrebsoyuz, 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. Mishenina. Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Mishenina. English text editor E.S. Danilova. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 25,8. Date of publishing 30.06.2025. 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

243 Azzheurova K.E., Solovjeva N.E.
Key Indicators of Sustainable Investment Development in Border Regions
255 Dobrodomova T.N., Lyshchikova J.V.
Modeling the Sustainable Development of the Subjects of the Central Chernozem Macro-Region in the Context of Digitalization
268 Lemnev V.N., Stryabkova E.A.
Reconceptualizing the Functions of Economic Space in the Context of Spatial Complexity and Digital Economic Transformation
279 Petrova E.A., Kalinina V.V., Usacheva I.V.
Modeling and Assessing the Impact of Socio-Economic Factors and Digital Transformation on the Economic Growth of a Territory Based on Neural Networks
291 Solovey J.A.
Transformation of Theoretical Approaches to the Territorial Capital of the Region: Domestic and Foreign Experience

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

306 Korobeynikova O.M., Dugina T.A., Gorbacheva A.S.
The State and Development Trends of the Oil and Gas Industry in Russia
318 Rudychev A.A., Troshin A.S., Bilinsky A.R.
Strategic Directions for Increasing Enterprise Competitiveness in the Context of Priorities of the Russian Industry Economic Development
331 Simontsev D.A., Savotchenko S.E.
Comparative Analysis Into Management Models of Regional Distribution Networks of Enterprises in the Mineral Resource Industry
346 Selyukov M.V., Tsevenkova E.O., Shalygina N.P.
Problems and Prospects for the Development of the Transport Industry as a Factor in the Growth of the Russian Economy

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

359 Krolivetskaya V.E., Soldatenkova I.V.
On Quality Standards for Banks' Lending Activities and Protection of Borrowers' Rights
372 Tokar E.V., Regig Issam
Accounting and Analytical Support for Financial Condition Management of Organizations: Current State and Development

COMPUTER SIMULATION HISTORY

383 Titov A.I., Korsunov N.I., Shcherbinina N.V.
Support Contours for Image Feature Extraction in Object Classification
391 Ganicheva A.V., Ganichev A.V.
Modeling the Random Component of the Campaigning Process
400 Al-Shamkhee A.A.O., Al Janzeer Z.M.
Magnetic Resonance Imaging Processing Method Based on Linear Interpolation and Firefly Algorithm
413 Kolesnikov Y.D., Zalivin A.N., Alexandrov A.V., Fedorova N.V.
Modeling of Signal Responses from UAVs Using Doppler Radar and Their Spectral Analysis

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

421 Bobyshev P.P., Zhikharev A.G., Gapitsonov I.Yu., Kuznetsov A.V.
Method of System Modeling of Organizational and Business Processes
433 Konstantinov I.S., Almeri A.N.M., Gaivoronsky V.A.
Executive Subsystem for Managing the Treatment of Children with Spectral Autism
441 Al-Khafaji Israa M. Abdalameer, Panov A.V.
The Autonomous Movement of an Omnidirectional Robot Along a Calculated Trajectory

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

455 Osipov D.L., Gavrishev A.A.
On the Use of Nonlinear Dynamics Methods for Detecting Signals in the Presence of Noise
456 Kutsenko S.M., Saltanaeva E.A., Akhmetov A.M.
Anomaly-Based Intrusion Detection in Computer Networks Using Machine Learning Techniques
476 Chursin D.S.
Analysis of the Stability of Steganographic Methods for Protecting Digital Images under Conditions of External Influences

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА
REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 330.332.1.338.2
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-243-254
EDN AYDDWZ

Ключевые индикаторы устойчивого инвестиционного развития приграничных регионов

[1] Азжеурова К.Е., [2] Соловьева Н.Е.
[1] Курский филиал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
Россия, 305016, г. Курск, ул. Ломоносова, 3
[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308000, г. Белгород, ул. Победы, 85
azjeurovake@yandex.ru, solovjeva@bsuedu.ru

Аннотация. В условиях геополитической напряжённости и обострения ситуации на границах России особую значимость приобретают исследования по устойчивому экономическому развитию приграничных территорий. Курская и Белгородская области, являясь регионами Центрального федерального округа, расположенными непосредственно в зоне влияния военных действий, сталкиваются как с дополнительными вызовами, так и с новыми возможностями для модернизации экономики и привлечения инвестиций. В статье представлен анализ ключевых показателей инвестиционной деятельности в данных регионах за последние годы. Особое внимание уделено изменению инвестиционной привлекательности по данным регионам под воздействием внешних факторов. Проведённая оценка позволяет выявить текущие тенденции и потенциальные точки роста, а также сформулировать рекомендации по повышению устойчивости инвестиционного развития в условиях повышенной неопределённости. Результаты исследования могут быть использованы в практике регионального управления, стратегическом планировании и разработке мер государственной поддержки приграничных территорий.

Ключевые слова: инвестиционная деятельность, устойчивое развитие, приграничные регионы, Центральный федеральный округ, социально-экономическое развитие

Для цитирования: Азжеурова К.Е., Соловьева Н.Е. 2025. Ключевые индикаторы устойчивого инвестиционного развития приграничных регионов. *Экономика. Информатика,* 52(2): 243–254. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-243-254 EDN AYDDWZ

Key Indicators of Sustainable Investment Development in Border Regions

[1] Kseniya E. Azzheurova, [2] Natalia E. Solovjeva
[1] Kursk Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation
3 Lomonosov St., Kursk 305016, Russia
[2] Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
azjeurovake@yandex.ru, solovjeva@bsuedu.ru

Abstract. In the context of geopolitical tensions and the aggravation of the situation on Russia's borders, research on the sustainable economic development of border territories is of particular importance. The Kursk and Belgorod

© Азжеурова К.Е., Соловьева Н.Е., 2025

regions, being regions of the Central Federal District and located directly in the zone of influence of military operations, face both additional challenges and new opportunities to modernize the economy and attract investment. The article presents an analysis of key indicators of investment activity in these regions in recent years. Special attention is paid to changes in the investment attractiveness of these regions under the influence of external factors. The assessment makes it possible to identify current trends and potential growth points, as well as formulate recommendations for improving the sustainability of investment development in conditions of increased uncertainty. The results of the research can be used in the practice of regional management, strategic planning and the development of measures of state support for border territories.

Keywords: investment activity, sustainable development, border regions, Central Federal District, socio-economic development

For citation: Azzheurova K.E., Solovjeva N.E. 2025. Key Indicators of Sustainable Investment Development in Border Regions. *Economics. Information technologies*, 52(2): 243–254 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-243-254 EDN AYDDWZ

Введение

В условиях геополитической нестабильности и усиления санкционного давления на Россию приграничные регионы, такие как Курская и Белгородская области, сталкиваются с уникальными вызовами и возможностями. Эти территории, находясь в зоне непосредственного влияния военных действий, требуют особого внимания с точки зрения устойчивого инвестиционного развития. Актуальность исследования обусловлена необходимостью выявления ключевых индикаторов, которые позволят оценить инвестиционную устойчивость регионов в условиях повышенной неопределенности и разработать меры по ее укреплению.

Несмотря на стратегическое расположение и наличие ресурсного потенциала, приграничные регионы сталкиваются с рядом проблем: высокая зависимость от федерального финансирования и бюджетных перераспределений; снижение инвестиционной привлекательности из-за геополитических рисков, недостаточная диверсификация экономики, что увеличивает уязвимость к внешним шокам и дефицит инфраструктурных и кадровых ресурсов для реализации крупных инвестиционных проектов.

Цель исследования заключается в проведении анализа ключевых индикаторов устойчивого инвестиционного развития Курской и Белгородской областей для выявления текущих тенденций и разработки рекомендаций по повышению инвестиционной устойчивости.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является инвестиционная деятельность и социально-экономическое развитие приграничных регионов Центрального федерального округа (Курская и Белгородская области).

Предметом исследования выступают ключевые показатели инвестиционной устойчивости, их динамика и влияние на экономическое развитие регионов.

Задачи исследования:

1. Провести анализ инвестиционных показателей (объем инвестиций в основной капитал, структура финансирования, приоритетные отрасли) в Курской и Белгородской областях за 2020–2024 гг.

2. Оценить соответствие региональной инвестиционной политики (включая нормативно-правовую базу и меры поддержки) современным вызовам и потребностям устойчивого развития.

Методы исследования. В исследовании были использованы: статистический анализ данных Росстата и Минэкономразвития РФ, сравнительный анализ инвестиционной привлекательности регионов ЦФО, была применена экспертная оценка эффективности мер государственной поддержки и контент-анализ инвестиционной декларации Курской области.

Научная новизна исследования заключается в систематизировании индикаторов инвестиционной устойчивости приграничных регионов в условиях геополитической нестабильности. Разработаны рекомендации по совершенствованию инвестиционной политики с учетом специфики приграничных территорий.

Результаты и их обсуждение

В современных условиях, когда геополитическая обстановка оказывает существенное влияние на социально-экономическое развитие отдельных территорий, особую значимость приобретают исследования, направленные на изучение устойчивости инвестиционной активности в приграничных регионах. Курская и Белгородская области, входящие в состав Центрального федерального округа, находятся на юго-западной границе России и испытывают прямое воздействие текущих военных действий.

Регионы сталкиваются с необходимостью перераспределения бюджетных ресурсов, модернизации инфраструктуры, обеспечения безопасности и поддержания экономической стабильности [Есенкова, Евченко, 2022]. В то же время эти территории обладают высоким потенциалом для развития благодаря стратегическому расположению, наличию сырьевых ресурсов и развитой промышленной базы. Поэтому актуальным становится вопрос о том, какие показатели могут служить индикаторами устойчивого инвестиционного развития и как они изменяются под влиянием внешних факторов.

В последнее время инвестиционная сфера привлекает все большее внимание со стороны российских властей, бизнеса и общества. Перспективность инвестиций определяется множеством факторов: общей экономической и политической ситуацией, состоянием внешней торговли, курсом национальной валюты, научно-техническими открытиями, обнаружением новых источников сырья, изменениями потребительского спроса и уровня доходов населения, а также национальными традициями [Халин, 2022]. На сегодняшний день инвестиции служат фундаментом экономического роста регионов, способствуя увеличению ВРП, пополнению бюджета, укреплению конкурентоспособности и раскрытию инвестиционного потенциала территорий.

Ключевой задачей региональной политики должна стать целенаправленная работа по снижению территориальных диспропорций, которые мешают устойчивому и самодостаточному развитию страны и ее регионов [Большаков, Мандрощенко, 2020]. Неравномерное распределение инвестиций по территории России является основной причиной этих диспропорций в инвестиционной обеспеченности регионов. Для изучения факторов, влияющих на уровень и динамику инвестиций в региональной экономике, необходимо проанализировать текущее состояние инвестиционных процессов в субъектах РФ, в частности, в Курской и Белгородской областях. Ниже представлены данные по инвестициям в основной капитал в регионах ЦФО за период 2018–2022 гг. (табл. 1). [Россия в цифрах, 2024].

Исследование инвестиций в основной капитал выявило, что пандемия COVID-19 спровоцировала значительное сокращение инвестиционной активности в большинстве российских регионов. Это падение инвестиций вызвало острый спад производства в широком спектре отраслей, включая строительство и обрабатывающую промышленность [Иваницкий, Петренко, 2020]. В докризисный период основными драйверами роста инвестиций выступали доходы от экспорта сырья, доступные иностранные кредиты под низкий процент и государственное финансирование. Однако введение санкций резко снизило экспортную выручку и практически заблокировало для многих корпораций возможность рефинансирования долгов. В результате компании были вынуждены сворачивать инвестиционные программы для сохранения ликвидности, а правительство направило бюджетные средства на поддержку малого и среднего бизнеса (МСБ), предотвращая его массовое банкротство [Пантелей, 2020].

Таблица 1
Table 1

Динамика инвестиций в основной капитал по регионам ЦФО, 2018–2022 гг., млн руб.
Dynamics of investments in fixed assets by regions of the Central Federal District, 2018–2022, million rubles

	Годы/Субъекты	2020	2021	2022	2023	2024
	Российская Федерация	20 393 742	23 239 504	28 413 875	34 036 300	39 533 700
	Центральный федеральный округ	6 582 673	7 952 979	9 571 468	10 731 312	12 603 319
1	Белгородская область	169 508	168 772	196 748	212 210	236 308
2	Брянская область	75 242	83 718	90 964	94 136	118 061
3	Владимирская область	95 286	102 361	184 392	181 731	143 200
4	Воронежская область	259 172	285 010	344 143	374 135	350 087
5	Ивановская область	44 388	45 269	62 133	67 502	70 205
6	Калужская область	112 164	132 592	143 759	125 725	144 173
7	Костромская область	28 311	45 063	37 933	47 900	44 406
8	Курская область	136 893	193 790	203 145	231 243	260 615
9	Липецкая область	171 804	179 400	166 200	187 205	261 626
10	Московская область	1 077 672	1 182 602	1 376 015	1 593 545	1 820 021
11	Орловская область	55 049	58 815	60 475	58 362	65 398
12	Рязанская область	62 505	75 730	92 431	101 302	133 354
13	Смоленская область	64 976	71 256	66 401	94 644	108 474
14	Тамбовская область	74 770	79 397	81 329	92 398	99 037
15	Тверская область	84 863	87 064	89 036	141 167	179 883
16	Тульская область	137 984	182 405	212 315	235 052	272 923
17	Ярославская область	92 691	111 393	116 594	135 819	176719
18	г. Москва	3 839 394	4 868 342	6 047 455	6 757 236	8118831

В целом же по России за рассматриваемый период наблюдается рост инвестиций в основной капитал [Барт, Мартынюк, 2021]. В табл. 2 представлен рейтинг по субъектам РФ по объему инвестиций в ОК за 2024 год. Следует отметить, что Курская область среди всех регионов по данному показателю занимает 35 место, а Белгородская область – 37 место [Россия в цифрах, 2024].

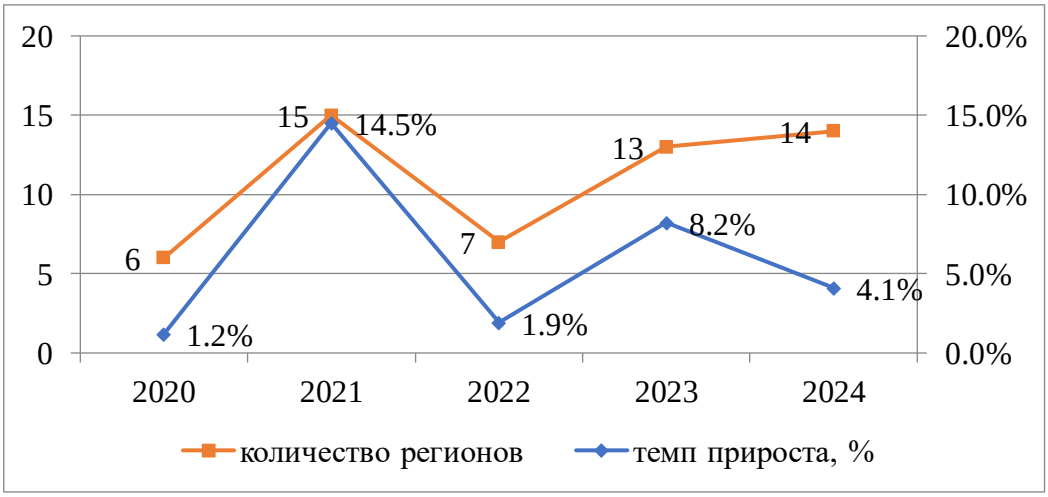
Опубликованные Росстатом за 2024 года данные по инвестициям в основной капитал (ИОК) позволяют говорить о постепенном росте показателей.

На рисунке представлена динамика по количеству регионов ЦФО с растущими инвестициями и темп прироста инвестиций в основной капитал по сравнению с предыдущим годом [Демироглу, 2020]. Таким образом, 14 из 18 субъектов ЦФО в 2024 году показали прирост инвестиций в основной капитал.

Таблица 2
Table 2

Рейтинг субъектов по объему инвестиций в основной капитал за 2024 год (млн руб.)
Rating of subjects by volume of investments in fixed assets for 2024 (million rubles)

№	Наименование субъекта	Объем инвестиций (млн руб.)
1	г. Москва	8 118 830,8
2	Тюменская область	3 808 371,2
3	Московская область	1 820 020,7
4	г. Санкт-Петербург	1 529 463,1
5	Республика Татарстан	1 435 077,7
6	Краснодарский край	1 119 623,7
7	Ленинградская область	1 110 530,9
8	Красноярский край	1 089 874,4
9	Иркутская область	998 763,6
10	Амурская область	956 122,4
11	Свердловская область	898 166,9
12	Республика Саха (Якутия)	795 211,5
13	Республика Башкортостан	783 797,8
14	Нижегородская область	728 170,9
15	Ростовская область	717 290,3
16	Хабаровский край	625 635,4
17	Пермский край	623 985,0
18	Новосибирская область	590 589,6
19	Самарская область	568 596,5
20	Челябинская область	549 101,5
	…	
35	Курская область	260 614,7
36	Вологодская область	250 377,5
37	Белгородская область	236 308,2



Инвестиции в основной капитал по регионам ЦФО
Investments in fixed assets by regions of the Central Federal District

Составлено авторами на основе данных [Россия в цифрах, 2024]

В табл. 3 представлен рейтинг субъектов ЦФО по инвестиционной привлекательности за 2024 год.

Таблица 3
Table 3

Рейтинг субъектов ЦФО по инвестиционной привлекательности за 2024 год
Rating of subjects of the Central Federal District by investment attractiveness for 2024

Место в ЦФО	Регион	Уровень инвестиционной привлекательности	Изменение уровня относительно 2023 года
1	Москва	IC1	подтвержден
2	Московская область	IC2	подтвержден
3	Белгородская область	IC3	подтвержден
4	Воронежская область	IC3	подтвержден
5	Тульская область	IC3	подтвержден
6	Липецкая область	IC3	подтвержден
7	Ярославская область	IC4	повышен
8	Курская область	IC4	понижен
9	Калужская область	IC4	подтвержден
10	Владимирская область	IC4	повышен
11	Рязанская область	IC5	подтвержден
12	Смоленская область	IC5	повышен
13	Тамбовская область	IC5	подтвержден
14	Ивановская область	IC5	повышен
15	Костромская область	IC5	повышен
16	Орловская область	IC5	повышен
17	Тверская область	IC6	повышен
18	Брянская область	IC6	повышен

Курская область занимает в 2024 году 8 место в рейтинге инвестиционной привлекательности регионов, в 2023 году занимала 5 место, в 2022 и 2021 – 8, в 2020 – 7. За рассматриваемый период Белгородская область стабильно занимает 3 место.

Курская область: В 2024 году инвестиции в ОК для развития региона составили 260,6 млрд руб., показав рост 103,3 % к 2023 году в сопоставимых ценах. Предприятия (крупный и средний бизнес) освоили 202,3 млрд руб. (102,6 % к 2023 году) [Сергеева и др., 2022]. Приоритеты: энергетика (54,2 %), сельское хозяйство (10,7 %), промышленность (8,7 %) [Воропаева, 2021]. Основной источник – собственные средства (83,5 %).

Белгородская область: Инвестиции в ОК выросли на 3,1 % (сопост. цены) до 236 млрд руб. Регион 7-й в ЦФО по объему инвестиций и 6-й – по их росту на душу населения (+12,6 %). Успешно реализовано 38 крупных проектов (33 млрд руб., 1000 новых рабочих мест) из портфеля в 139 проектов (466 млрд руб.). Важным стимулом является СЭЗ (10 участников), чья территория была расширена в 2024–2025 гг., в т. ч. на зоны КТО, с предложением льготных страховых взносов (7,6 %) для резидентов [Оруч, 2020].

Совершенствование нормативной правовой базы инвестиционной деятельности продолжается постоянно. Представлена она следующими законодательными документами:

– *закон Белгородской области от 03.07.2006 № 57 «О государственной поддержке инвестиционной деятельности» – определяет меры стимулирования инвесторов, включая налоговые льготы и субсидии;*

– *закон Белгородской области от 28.12.2012 № 182 «О промышленной политике» – регулирует развитие промышленных кластеров и поддержку инновационных проектов;*

– *закон Белгородской области от 05.05.2014 № 236 «О налоговых льготах для резидентов особых экономических зон» – устанавливает пониженные ставки по налогу на прибыль и имущество;*

– закон Белгородской области от 20.12.2017 № 319 «О государственно-частном партнерстве» – создает правовые основы для реализации инфраструктурных проектов;

– закон Белгородской области от 15.07.2020 № 412 «О стратегическом планировании» – закрепляет приоритеты долгосрочного инвестиционного развития;

– постановление правительства Белгородской области от 12.03.2021 № 123-пп «О создании Корпорации развития Белгородской области» – определяет функции агентства по привлечению инвестиций;

– распоряжение губернатора Белгородской области от 10.11.2022 № 210-р «Об утверждении инвестиционной стратегии до 2030 года» – фиксирует ключевые направления привлечения капитала;

– закон Курской области от 26.11.2003 №57-ЗКО «О налоге на имущество организаций»;

– закон Курской области от 12.08.2004 №37-ЗКО «Об инвестиционной деятельности в Курской области»;

– закон Курской области от 17.07.2008 №36-ЗКО «О залоговом фонде Курской области»;

– закон Курской области от 14.12.2010 №112-ЗКО «О понижении налоговой ставки налога на прибыль организаций, подлежащего зачислению в областной бюджет, для отдельных категорий налогоплательщиков»;

– закон Курской области от 29.10.2013 №101-ЗКО «Об инвестиционном фонде Курской области»;

– закон Курской области от 22.06.2015 №58-ЗКО «Об установлении критериев, которым должны соответствовать объекты социально-культурного и коммунально-бытового назначения, масштабные инвестиционные проекты, для размещения (реализации) которых допускается предоставление земельных участков в аренду без проведения торгов»;

– закон Курской области от 14.12.2020 №111-ЗКО «О внесении изменений в Закон Курской области "Об инвестиционной деятельности в Курской области»;

– закон Курской области от 14.12.2020 №112-ЗКО «Об отдельных вопросах реализации региональных инвестиционных проектов в Курской области»;

– постановление Губернатора Курской области от 20.09.2021 № 418-пг «Об определении органа исполнительной власти Курской области, уполномоченного на подписание от имени Курской области соглашений о реализации новых инвестиционных проектов, включенных в сводный перечень новых инвестиционных проектов»;

– распоряжение Губернатора Курской области от 19 мая 2022 г. №153-рг «Об утверждении Инвестиционной декларации Курской области» [Информационно-правовой портал «Гарант.ру», 2025].

Таким образом, на данный момент:

– в Белгородской области функционирует нормативно-правовая база, которая включает: льготы по налогообложению для инвесторов, институты развития (Корпорация развития, Совет по инвестициям), механизмы ГЧП и концессий, стратегические документы, определяющие приоритеты;

– Курская область обладает развитой нормативно-правовой базой для регулирования инвестиционной деятельности. Региональное законодательство включает Закон Курской области «Об инвестиционной деятельности», а также комплекс подзаконных актов. В рамках государственной программы «Развитие экономики и внешних связей Курской области» реализуется подпрограмма по созданию благоприятных инвестиционных условий. Институциональная инфраструктура представлена Советом по улучшению инвестиционного климата, АО «Агентство по привлечению инвестиций Курской области» и АУКО «Корпорация развития Курской области», которые оказывают различные формы государственной поддержки инвесторам.

С 2021 года в регионе ведется работа по созданию особой экономической зоны промышленно-производственного типа «Третий полюс» в Железногорске и Железногорском

районе. Правовой статус ОЭЗ закреплен Постановлением Правительства РФ от 26.02.2022 № 244. Для резидентов зоны разработана система налоговых льгот, регулируемая специальной законодательной базой [Дроковский, Есенжулова, 2021].

В Белгородской области действуют следующие инструменты поддержки: специальные инвестиционные контракты (СПИК) – льготные условия для крупных проектов; субсидирование процентных ставок по кредитам для бизнеса, предоставление земельных участков без торгов для стратегических инвесторов, поддержка экспортно-ориентированных производств через региональные программы.

Курская область модернизировала нормативно-правовую базу для стимулирования инвестиционной активности. В региональное законодательство внесены поправки, регулирующие предоставление мер государственной поддержки участникам специальных инвестиционных контрактов (СПИК).

Для активизации строительного сектора расширен перечень инвестиционных проектов, имеющих право на получение земельных участков без торгов. В новую категорию вошли проекты по строительству многоквартирных домов площадью от 20 тыс. кв. метров при условии передачи 10 % площадей в муниципальную или региональную собственность.

Особого внимания заслуживает работа по привлечению федерального финансирования для создания инфраструктуры инвестиционных проектов, а также подготовка проектов с использованием механизмов концессии и ГЧП, активно ведущаяся с 2022 года.

Отдельного рассмотрения требует Инвестиционная декларация Курской области, утвержденная распоряжением Губернатора № 153-рг от 19.05.2022, которая стала важным элементом региональной инвестиционной политики.

В рамках исследования целесообразно провести оценку соответствия структуры инвестиционной декларации Курской области.

Проведенный структурный анализ документа позволяет сделать следующие выводы.

Раздел о перспективах развития: во-первых, должен отражать инвестиционные преимущества территории и стратегические цели; во-вторых, в декларации перспективы сформулированы как приоритетные направления региональной власти; в-третьих, цель развития дублирует национальный показатель (рост инвестиций на 70 % к 2030 году). Отмечается недостаточная адаптация цели к региональной специфике, что может снизить реалистичность ее достижения.

Второй инфраструктурный раздел содержит описание конкурентных преимуществ региона, где представлены инфраструктурные объекты, преференциальные режимы, механизмы господдержки, кадровый потенциал и 11 крупных инвестиционных проектов, где прописаны перспективные инновационные проекты на стадии подготовки.

В третьем разделе предлагается раскрыть гарантии для инвесторов, которые включают предоставление поддержки и для сохранения стабильных условий ведения бизнеса. В декларации акцент сделан на гарантии безопасности предпринимательской деятельности

Четвертый раздел инвестиционной декларации включает перечень ответственных должностных лиц, но несмотря на это отсутствует описание процедуры формирования команды и четкое определение полномочий губернатора как лидера.

Также была проведена экспертная оценка соответствия содержания инвестиционной декларации Курской области Методическим рекомендациям на основе ранее опубликованной методики [Маслюк, Медведева, 2022], где применена балльная система оценки (0–2 балла за каждый критерий). В результате экспертной оценки получилось 34 балла из 48 возможных. Декларация в целом соответствует методическим рекомендациям, а содержательная часть способна удовлетворить информационные запросы инвесторов. Документ демонстрирует достаточное соответствие установленным требованиям, однако содержит ряд областей для совершенствования в части адаптации целей к региональной специфике и детализации информации об инвестиционной команде (табл. 4) [Маслюк, Медведева, 2022].

Таблица 4
Table 4

Экспертная оценка соответствия содержания инвестиционной декларации Курской области Методическим рекомендациям
Expert assessment of compliance of the content of the investment declaration of the Kursk region with Methodological recommendations

Рекомендованное содержание разделов инвестиционной декларации субъекта РФ	Фактическое наличие информации в инвестиционной декларации Курской области	Экспертная оценка качества информации в инвестиционной декларации Курской области в баллах
1	2	3
Раздел 1. Общее описание целей инвестиционного развития субъекта РФ		
– главная цель инвестиционного развития субъекта РФ	отражена, полностью, повторяет национальную цель	1
– перспективы развития	описаны в виде приоритетов	1
Раздел 2. Ключевые характеристики субъекта РФ		
– наличие необходимой инфраструктуры	присутствуют	2
– наличие на территории субъекта РФ преференциальных режимов	присутствуют	2
– соблюдение сроков согласований и предоставления разрешительной документации	присутствуют	2
– приоритетные направления инвестиционного развития	присутствуют	2
– новые инновационные отрасли экономики	присутствуют	2
– развитие традиционных отраслей экономики субъекта РФ с прогнозом достижения качественных показателей по ним	присутствуют	2
– планируемые к реализации инвестиционные проекты	частично	1
Раздел 3. Инвестиционные обязательства субъекта РФ		
– неухудшение условий реализации инвестиционных проектов	присутствуют	2
– соблюдение алгоритмов действий инвестора по присоединению к инфраструктуре	присутствуют	2
– оперативное рассмотрение споров	присутствуют	2
– общедоступность информации о мерах государственной поддержки инвестиционной деятельности	присутствуют	2
– неукоснительное соблюдение условий предоставления мер поддержки инвесторов	присутствуют	2
– обеспечение конкурентного распределения ресурсов для целей реализации инвестиционных проектов	присутствуют	2
– повышение уровня доходов населения субъекта Российской Федерации	присутствуют	2

Окончание табл. 4
End of table 4

1	2	3
Раздел 4. Инвестиционная команда субъекта РФ – состав инвестиционной команды – условия формирования команды – распределение ответственности между членами инвестиционной команды в части взаимодействия с инвесторами	 присутствуют присутствуют представлена в виде функционала в сфере инвестиционной политики	 2 2 1
Суммарное количество баллов		34

Для повышения инвестиционной привлекательности российских регионов необходимо найти баланс между двумя важными аспектами:

1) унификация инвестиционных условий и стандартов;

2) максимальное использование уникальных конкурентных преимуществ каждой территории.

Такой синтез должен быть отражен в региональных инвестиционных декларациях, что станет важным условием для реального роста инвестиционных потоков как на региональном, так и на национальном уровне.

Предложения по совершенствованию работы Совета по инвестициям Курской области:

– расширение функционала Совета: включение полномочий по разработке инвестиционной декларации и контроль соответствия декларации федеральным методическим рекомендациям;

– оптимизация состава Совета за счет включения следующих экспертов: специалист по оценке эффективности инвестиционных проектов и эксперт по информационному сопровождению, а также аналитик по мониторингу и стратегическому анализу, юрист по правовому обеспечению и координатор по контролю реализации проектов.

Такая модернизация структуры Совета позволит повысить качество инвестиционной политики региона и эффективность взаимодействия с инвесторами.

Подобные изменения позволят вывести инвестиционную политику региона на качественно новый уровень. Соответственно, из всего перечисленного набора мероприятий следует сосредоточиться в первую очередь на вопросе налоговых льгот – их преимуществ и вероятных недостатков.

Заключение

Белгородская область демонстрирует высокую инвестиционную активность, чему способствует гибкое законодательство, льготные режимы (СЭЗ) и системная работа институтов развития. Дальнейшее совершенствование правовой базы и расширение мер поддержки позволит усилить позиции региона в борьбе за инвестиции, особенно в условиях приграничного положения.

Курская область обладает потенциалом для роста, но требует более системных мер по привлечению инвесторов, особенно в условиях приграничного статуса. Успех будет зависеть от реализации ОЭЗ, улучшения координации власти и бизнеса, а также конкретных шагов по снижению рисков для инвесторов.

Безусловно, российские регионы, в особенности приграничные территории, нуждаются в значительных капиталовложениях. Анализ инвестиционной деятельности в Курской и Белгородской областях показывает, что, несмотря на сложную геополитическую обстановку, регионы сохраняют потенциал для устойчивого экономического развития. Однако региональные органы власти должны задействовать широкий спектр инструментов по активизации инвестиционных процессов и привлечению капиталов. Развитие инвестиционной

системы региона напрямую зависит от эффективности управления и от степени участия исполнительных органов власти в инвестиционном пространстве.

Список источников

Информационно-правовой портал «Гарант.ру». URL: https://base.garant.ru/73791873 (дата обращения: 10.03.2025).

Россия в цифрах 2024. – стат. справочник / Росстат, 2024. 66 с.

Список литературы

Барт Т.В., Мартынюк В.М. 2021. Стимулирование инвестиций в инфраструктурные проекты социальной сферы. *Креативная экономика*, 15(4): 1295–1308.

Большаков В.В., Мандрощенко О.В. 2020. Проблемы и направления совершенствования инструментов налогового стимулирования частных инвестиций в промышленное производство. *Московский экономический журнал*, 6: 560–576.

Воропаева Д.А. 2021. Анализ особых экономических зон и пути улучшения их уровня развития в России. *Международный научно-исследовательский журнал*, 12(114), Ч. 4: 35–39.

Демироглу Н.Б. 2020. Налоговое стимулирование как элемент экономической политики государства. *Кант,* 4 (37): 62–66.

Дроковский Н.Б., Есенжулова Л.С. 2021. Налоговая политика Калининградской области. *Экономика и бизнес: теория и практика*, 7 (77): 56–58.

Есенкова Г.А., Евченко А.В. 2022. Региональные механизмы сглаживания социально-экономического неравенства муниципальных территорий в пространственно-административной и бюджетно-финансовой проекциях. Актуальные вопросы устойчивого развития современного общества и экономики. Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году культурного наследия народов России. Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Курский филиал. Курск: 94–100.

Иваницкий В.П., Петренко Л.Д. 2020. Развитие ответственных инвестиций в соответствии с концепцией устойчивых финансов. *Журнал новой экономики*, 21(4): 63–78.

Маслюк Н.А., Медведева Н.В. 2022. Инструментарий реализации регионального инвестиционного стандарта нового поколения. Власть и управление на Востоке России, 2(99): 8–20.

Медведева Н.В., Маслюк Н.А. 2022. Новые инструменты привлечения инфраструктурных инвестиций в экономику региона. *Власть и управление на Востоке России*, 3 (100): 87–100.

Оруч Т.А. 2020. Особые экономические зоны России: оценка эффективности деятельности и практика привлечения инвестиций. *Вестник Самарского университета. Экономика и управление*, 11(2): 49–55.

Сергеева Н.М., Соловьева Т.Н., Святова О.В., Зюкин Д.А., Федулов М.А. 2022. Влияние специализации на экономическое развитие регионов. *Международный сельскохозяйственный журнал,* Т. 65, 1(385): 28–32.

Халин В.И. 2022. Алгоритм финансирования инвестпроекта посредством концессионного механизма через призму учёта роли заинтересованных сторон. *Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы*, 3: 15–22.

References

Barth T.V., Martynyuk V.M. 2021. Stimulating investments in social infrastructure projects. *Creative Economy*, 15(4):1295–1308 (in Russian).

Bolshakov V.V., Mandroshchenko O.V. 2020. Problems and directions of improving the instruments of tax incentives for private investment in industrial production. *Moscow Economic Journal*, 6:560–576 (in Russian).

Voropaeva D.A. 2021. Analysis of special economic zones and ways to improve their level of development in Russia. *International Scientific Research Journal*, 12(114), Part 4: 35–39 (in Russian).

Demiroglu N.B. 2020. Tax incentives as an element of the state's economic policy. *Kant*, 4 (37): 62–66 (in Russian).

Drokovsky N.B., Yesenzhulova L.S. 2021. Tax policy of the Kaliningrad region. *Economics and Business: Theory and Practice*, 7 (77): 56–58 (in Russian).

Yesenkova G.A., Evchenko A.V. 2022. Regional mechanisms for smoothing the socio-economic inequality of municipal territories in spatial-administrative and budgetary-financial projections. Current issues of sustainable development of modern society and economy. Collection of scientific articles of the All-Russian scientific and Practical conference dedicated to the Year of Cultural Heritage of the Peoples of Russia. Financial University under the Government of the Russian Federation, Kursk branch. Kursk: 94–100 (in Russian).

Ivanitsky V.P., Petrenko L.D. 2020. Development of responsible investments in accordance with the concept of sustainable finance. *Journal of New Economics*, 21(4): 63–78 (in Russian).

Maslyuk N.A., Medvedeva N.V. 2022. The toolkit for the implementation of the regional investment standard of the new generation. *Power and Governance in the East of Russia*, 2(99): 8–20 (in Russian).

Medvedeva N.V., Maslyuk N.A. 2022. New tools for attracting infrastructure investments into the region's economy. *Power and Governance in the East of Russia*, 3 (100): 87–100 (in Russian).

Oruch T.A. 2020. Special economic zones of Russia: performance assessment and practice of attracting investments. *Bulletin of Samara University. Economics and Management*, 11(2): 49–55 (in Russian).

Sergeeva N.M., Solovyova T.N., Svyatova O.V., Zyukin D.A., Fedulov M.A. 2022. The impact of specialization on the economic development of regions. *International Agricultural Journal*, vol. 65, 1(385): 28–32 (in Russian).

Khalin V.I. 2022. The algorithm of financing an investment project through a concession mechanism through the prism of taking into account the role of stakeholders. *Innovative Economy: information, Analytics, forecasts*, 3: 15–22 (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 28.03.2025
Поступила после рецензирования 12.05.2025
Принята к публикации 23.05.2025

Received March 28, 2025
Revised May 12, 2025
Accepted May 23, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Азжеурова Ксения Евгеньевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и финансов, Курский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, г. Курск, Россия

Соловьева Наталья Евгеньевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры социальных технологий и государственной службы, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kseniya E. Azzheurova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Finance, Kursk Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Kursk, Russia

Natalia E. Solovjeva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social Technologies and Public Administration, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.146
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-255-267
EDN ZBOMNM

Моделирование устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона в условиях цифровизации

Добродомова Т.Н., Лыщикова Ю.В.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
dobrodomova_t@bsuedu.ru, lyshchikova@bsuedu.ru

Аннотация. В статье на основе исследования эволюции подходов к моделированию устойчивого развития регионов, а также с учетом ранее полученных авторами результатов предложен авторский методический подход, базирующийся на структуре «умной» устойчивой территории и основных направлениях и показателях ее оценки. В качестве объекта исследования определены пять областей Центрально-Черноземного макрорегиона. Предметом исследования стали процессы устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона с точки зрения их экономических, социальных и экологических приоритетов во взаимосвязи с процессами цифровизации. Авторами использованы методы экономико-математического моделирования, сравнительного, динамического, корреляционно-регрессионного анализа. Эмпирическую базу исследования составили материалы статистического сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели 2023». Расчеты проводились в пакете анализа данных Microsoft Excel. По итогам нескольких этапов проверки независимых переменных на мультиколлинеарность были отобраны результативный и факторные признаки, построены уравнения регрессии, отражающие зависимость результативного признака от факторных признаков, определены коэффициенты множественной корреляции и степень влияния учтенных и неучтенных в модели факторов на результативный признак. Согласно полученным уравнениям регрессии установлено, что изменения факторных признаков могут иметь различное влияние на ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона, как по направлению связи, так и по величине влияния. Полученные результаты актуализируют необходимость дальнейшего расширения перечня возможных факторных и результативных признаков устойчивого развития, включения в этот перечень показателей развития цифровой инфраструктуры и инновационной деятельности региона, исследования их взаимовлияния и поиска оптимального соотношения переменных в моделях устойчивого развития для увеличения объясняющих и прогностических возможностей моделей.

Ключевые слова: устойчивое развитие, региональная экономика, цифровая трансформация, Центрально-Черноземный макрорегион, корреляционно-регрессионный анализ

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01636, https://rscf.ru/project/23-28-01636/

Для цитирования: Добродомова Т.Н., Лыщикова Ю.В. 2025. Моделирование устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона в условиях цифровизации. *Экономика. Информатика*, 52(2): 255–267. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-255-267 EDN ZBOMNM

© Добродомова Т.Н., Лыщикова Ю.В., 2025

Modeling the Sustainable Development of the Subjects of the Central Chernozem Macro-region in the Context of Digitalization

Tatyana N. Dobrodomova, Julia V. Lyshchikova
Belgorod State National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
dobrodomova_t@bsuedu.ru, lyshchikova@bsuedu.ru

Abstract. The article proposes the authors' methodological approach based on the structure of a "smart" sustainable territory and the main directions and indicators of its assessment. It relies on the study of the evolution of approaches to modeling the sustainable development of regions, as well as on the authors' previous findings. Five regions of the Central Chernozem macro-region were identified as the object of research. The subject of the study was the sustainable development processes in the subjects of the Central Chernozem macro-region in terms of their economic, social and environmental priorities in connection with digitalization. The authors used methods of economic and mathematical modeling, comparative, dynamic, correlation and regression analysis. The empirical base of the study was made up of materials from the statistical collection "Regions of Russia. Socio-economic indicators 2023". The calculations were performed in the Microsoft Excel data analysis package. Multi-stage checking of independent variables for multicollinearity made it possible to select the effective feature and the factorial features, to construct regression equations reflecting the former's dependence on the latter, as well as to determine multiple correlation coefficients and the degree of the influence that the factors taken into account and those unaccounted for in the model exert on the effective feature. According to the regression equations obtained, it was found that changes in factor characteristics can have different effects on GRP per capita in the subjects of the Central Chernozem macro-region, both in the direction of relationship and in the magnitude of influence. The results obtained actualize the need to further expand the list of possible factorial and effective signs of sustainable development, to include indicators of the region's digital infrastructure development and innovation activities into this list, to study their mutual influence and to find the optimal ratio of variables in sustainable development models to increase the explanatory and predictive capabilities of models.

Keywords: sustainable development, regional economy, digital transformation, Central Chernozem macro-region, correlation and regression analysis

Acknowledgements: the research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-28-01636, https://rscf.ru/project/23-28-01636/

For citation: Dobrodomova T.N., Lyshchikova J.V. 2025. Modeling the Sustainable Development of the Subjects of the Central Chernozem Macro-region in the Context of Digitalization. *Economics. Information technologies*, 52(2): 255–267 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-255-267 EDN ZBOMNM

Введение

В настоящее время становится очевидным, что постиндустриальное общество, достигнув определенного «потолка» в своем развитии, далее работает на пределе экологических возможностей для обеспечения комфортной естественной и искусственной среды обитания для человечества. Причиной этого является ограниченность природных ресурсов, имеющихся в распоряжении, а также их невоспроизводимость (или медленная воспроизводимость). В то же время значительное антропогенное давление на природу, практически неконтролируемое и во многих случаях непредсказуемое, с каждым годом растет в геометрической прогрессии. В результате как развитые, так и развивающиеся страны, как никогда ранее, остро нуждаются в новых инструментах и подходах к формированию региональной политики на основе устойчивого развития, чтобы обеспечить гармоничное развитие всех сфер: социальной, экономической, промышленной, деловой, экологической и т. д. Решение подобного рода сложной проблемы не может основываться только на экспертных или качественных, в какой-то мере интуитивных подходах, а требует разработки и применения современных методов экономико-математического моделирования и обеспечения соответствующей информационной базы.

Использованию статистических методов и подходов экономико-математического моделирования при формировании политики устойчивого развития регионов посвящено большое количество научных работ.

Ретроспективно, в первую очередь следует упомянуть модель глобального развития Дж. Форрестера, основанную на формализации нелинейных динамических процессов, и доказавшую, что при сохранении нынешних тенденций развития человечеству следует ожидать экономического, экологического и социального кризиса [Форрестер, 1978]. Модель Форрестера, изложенная им в работе «Мировая динамика» в 1971 году, привлекла внимание общественности к мировым проблемам устойчивого развития и послужила толчком к дальнейшим исследованиям в этой области и появлению нового направления – глобального моделирования устойчивого развития. Так, например, в дальнейшем получила широкое распространение модель Пирса – Тернера, отражающая обратные взаимосвязи в экологических и экономических системах. В основу данной модели положена идея перехода от традиционной линейной или открытой экономической системы к циклической, или экономике замкнутого цикла [Pearce, Turner, 1989].

К числу первых моделей, посвященных изучению взаимосвязи между экономикой и окружающей средой, можно отнести также модель межотраслевого баланса В.В. Леонтьева и Д. Форда, поскольку при балансовом методе должно соблюдаться равновесие между производством, социальной сферой и экологией. Сама идея модели межотраслевого баланса позволяет устанавливать взаимосвязи между отраслями промышленности региона в процессе его деятельности. Но она в большей степени ориентирована именно на производственно-экономическую деятельность. Использование природных ресурсов в ней учтено только в качестве компенсации за загрязнение. В дальнейшем модель межотраслевого баланса была значительно модернизирована, особенно на региональном уровне, в контексте установления связей между природной средой и экономикой региона. При этом критерием оптимизации моделей регионального уровня часто выступает минимизация общих приведенных издержек производства наряду с минимизацией затрат на природоохранные мероприятия. Однако они не учитывают социальную составляющую регионального развития [Рюмина, 2000].

Сейчас глобальное понимание того, что такое устойчивое развитие, как его можно измерить и как его можно достичь, меняется. Первоначально в докладе «Наше общее будущее» [Brundtland, 1987] основное внимание уделялось содействию нынешнему экономическому росту без ущерба для окружающей среды и для возможностей будущего экономического роста, т. е. по большому счету это была эколого-экономическая концепция. Со временем стал более детально проработанным трехкомпонентный подход к устойчивому развитию, основанный на триединстве экологической, социальной и экономической составляющих. Сегодня этот подход понимается как требующий принятия решений, способствующих инклюзивному экономическому росту, равенству и беспристрастности в социальном развитии, а также поддержанию и восстановлению качества окружающей среды на планете.

Дальнейшая трансформация устойчивого развития свидетельствует о продолжающейся эволюции глобального понимания этой концепции, в том числе в контексте происходящей во всем мире цифровой революции. Цели в области устойчивого развития (ЦУР), принятые ООН в 2015 году, предоставляют широкий перечень индикаторов для отбора на государственном уровне, что позволяет индивидуализировать подход и придавать показателям различный вес в зависимости от страновых условий развития. Соответственно, некоторые цели и показатели могут иметь больший вес, чем другие, но в любом случае все 17 целей рассматриваются как неделимые [Modelling for Sustainable Development: New decisions for a new age, 2019]. В ЦУР также подчеркивается, что человечество может устойчиво развиваться только в том случае, если хорошо понятны взаимосвязи между целями. Таким образом, ключевой проблемой моделирования устойчивого развития на современном этапе становится необходимость понимания сложных связей и взаимодействий между целями в области развития и, следовательно, между экологическими, социальными и экономическими параметрами, включенными в модели [Henderson, Loreau, 2023; Алферова, Третьякова, 2024].

В связи с этим, переходя к современным подходам к моделированию устойчивого развития регионов, представленным в российской и зарубежной научной периодике, нужно упомянуть такие новации, как использование методов когнитивного анализа [Zakharova, Prokhorova, 2015], сетевого анализа и нейронных сетей [Ranjula Bali Swain, Shyam Ranganathan, 2021], агент-ориентированного моделирования [Rodionov, Dianov, Dianov, 2022], индексного анализа [Borodin, 2023], комбинирование различных методов корреляционно-регрессионного анализа и математической статистики [Yemelina, Omarova, Anara, 2018; Antipov et al., 2020; Шимановский, Третьякова, 2020; Shamaeva, Surskova, 2021; Ospanov et al., 2022; Marhasova et al., 2022], включение факторов цифровизации [Tsypkin et al., 2020; Tulchynska et al., 2021; Leonova, Vinogradov, Burylov, Mozaleva, 2021; Bolsunovskaya et al., 2023].

Анализ данных исследований подтверждает тезис о слабой структурированности и нелинейности устойчивого развития региональных систем. При этом статистические методы хорошо разработаны только для одномерных случайных величин. Если учитывать несколько взаимосвязанных факторов, то придется обратиться к построению многомерной статистической модели. Таким образом, возникает необходимость в устранении существующих противоречий в моделировании устойчивого развития регионов и в разработке подхода, который основан на установлении надежной взаимосвязи между основными целями и сферами устойчивого развития с учетом фактора цифровизации.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают пять областей Центрально-Черноземного макрорегиона, а именно Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая и Тамбовская области. Предметом исследования являются процессы устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона с точки зрения их экономических, социальных и экологических приоритетов во взаимосвязи с процессами цифровизации.

В основу авторского методического подхода положены результаты предыдущих исследований авторов, а именно структура «умной» устойчивой территории и основные направления и показатели ее оценки (конкурентоспособность и инновационное развитие; формирование удобной для человека физической и виртуальной среды; сохранение природной среды; развитие социального и человеческого капитала; качество жизни, равенство и инклюзивность; эффективность администрирования, открытость и участие общества в управлении) [Лыщикова, 2023, 2024].

Для получения результатов, представленных в статье, были использованы методы экономико-математического моделирования, сравнительного, динамического, корреляционно-регрессионного анализа. Эмпирическую базу исследования составили материалы статистического сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели 2023». Расчеты проводились в пакете анализа данных Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Обобщающим показателем экономической деятельности и устойчивого развития региона, характеризующим процесс производства товаров и услуг для конечного использования, является валовой региональный продукт на душу населения, динамика которого представлена на рис. 1.

Проанализировав динамику ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона за период с 2018 по 2022 год, мы получили ряд выводов.

В 2022 году по сравнению с 2018 годом ВРП на душу населения в Белгородской области вырос на 61,3 тыс. руб. или в 1,129 раза, таким образом, относительное увеличение составило 12,9 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 27,4 тыс. руб. или в 1,054 раза, относительное увеличение составило 5,4 %.

ВРП на душу населения Курской области в 2022 году по сравнению с 2018 годом вырос на 87,8 тыс. руб. или в 1,235 раза, таким образом, относительное увеличение составило 23,5 %.

По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 41,7 тыс. руб. или в 1,099 раза, относительное увеличение составило 9,9 %.

В 2022 году по сравнению с 2018 годом ВРП на душу населения Липецкой области вырос на 67,2 тыс. руб. или в 1,147 раза, таким образом, относительное увеличение составило 14,7 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 27,1 тыс. руб. или в 1,055 раза, относительное увеличение составило 5,5 %.

ВРП на душу населения Тамбовской области в 2022 году по сравнению с 2018 годом вырос на 60,5 тыс. руб. или в 1,213 раза, таким образом, относительное увеличение составило 21,3 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 29,1 тыс. руб. или в 1,092 раза, относительное увеличение составило 9,2 %.

В 2022 году по сравнению с 2018 годом ВРП на душу населения Воронежской области вырос на 107,5 тыс. руб. или в 1,305 раза, таким образом, относительное увеличение составило 30,5 %. По сравнению с 2021 годом исследуемый показатель 2022 года вырос на 49,7 тыс. руб. или в 1,127 раза, относительное увеличение составило 12,7 %.

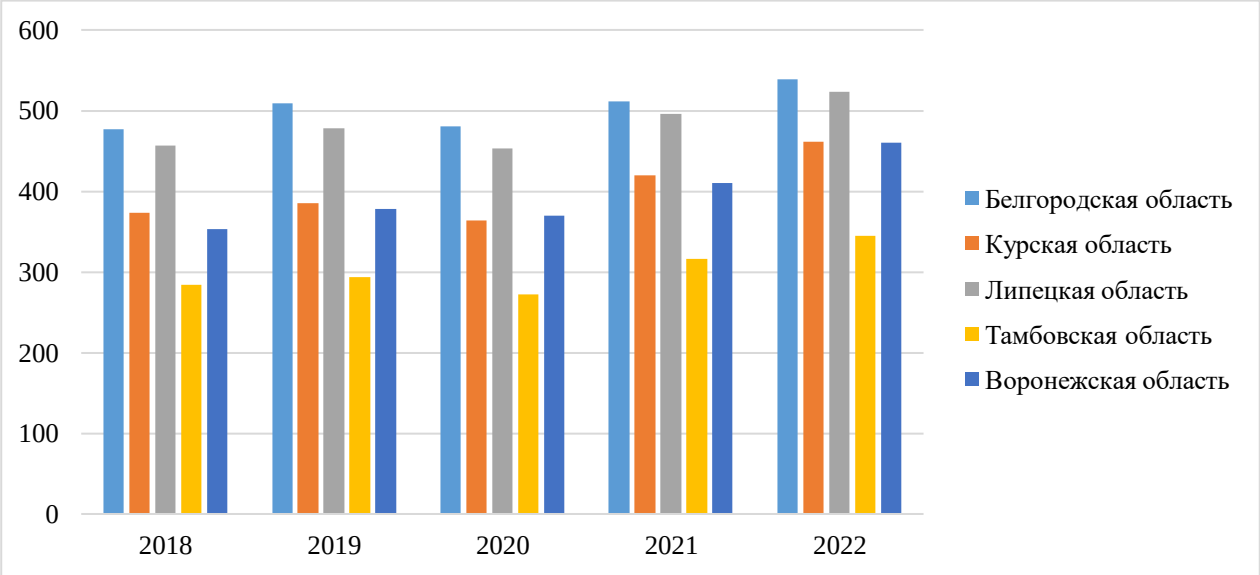


Рис 1. Динамика ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона за 2018–2022 гг. (построено авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])

Fig. 1. Dynamics of GRP per capita in the subjects of the Central Chernozem macro-region for 2018–2022 (constructed by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

Чтобы оценить интенсивность изменения ВРП на душу населения исследуемых регионов во времени, мы рассчитали коэффициенты опережения, приняв за базу сравнения базисный темп роста ВРП на душу населения Белгородской области. В результате анализа мы установили, что Курская область по размеру ВРП на душу населения развивается интенсивнее Белгородской области в 1,094 раза, Липецкая – в 1,017 раза, Тамбовская в 1,075 раза и Воронежская – в 1,156 раза.

Далее мы построили уравнения трендов ВРП на душу населения регионов Центрально-Черноземного макрорегиона и рассчитали для них величину достоверности аппроксимации (рис. 2).

Достоверность аппроксимации во всех случаях близка к 1, что говорит о максимально точном соответствии между теоретическим и реальным распределением.

Далее на основе направлений и составляющих «умного» устойчивого развития территорий мы отобрали факторы для построения модели взаимосвязи результативного и факторных признаков устойчивого развития регионов в условиях цифровизации.

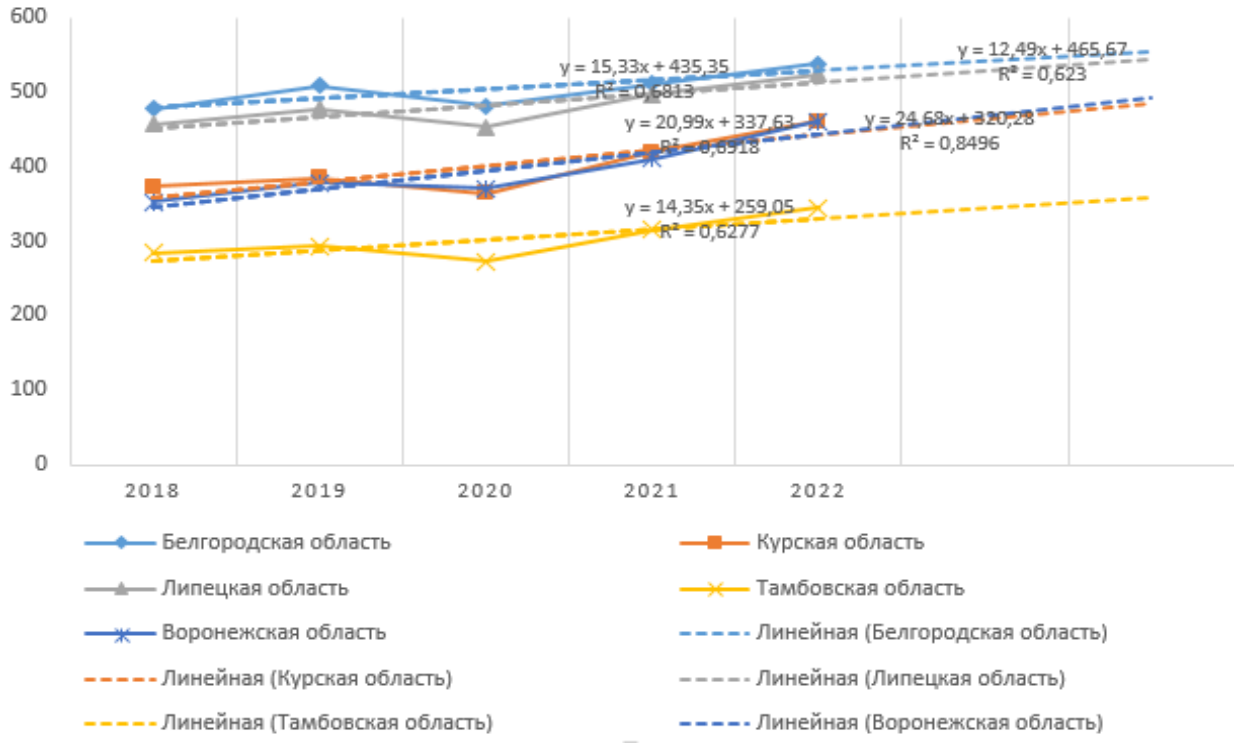


Рис. 2. Уравнения тренда и величина достоверности аппроксимации ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона (построено авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
Fig. 2. Trend equations and the magnitude of the reliability of the GRP approximation per capita of the subjects of the Central Chernozem macroregion (constructed by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

В качестве результативного признака выбран размер ВРП на душу населения (y), а в качестве факторных признаков по направлениям: конкурентоспособность и инновационное развитие – инвестиции в основной капитал (x_1); сохранение природной среды – улавливание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников (x_2); формирование удобной для человека виртуальной среды – затраты на внедрение и использование цифровых технологий (x_3); развитие социального и человеческого капитала – заболеваемость на 1000 человек населения (x_4); формирование удобной для человека физической среды – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя (x_5); качество жизни, равенство и инклюзивность – коэффициент Джини (x_6).

На следующем этапе исследования была проведена проверка независимых переменных модели на мультиколлинеарность путем построения матрицы коэффициентов корреляции по шести факторным признакам. Так мы выявили, что между X_1 и X_3, X_1 и X_5, X_2 и X_5 существует тесная связь, то есть наблюдается явление мультиколлинеарности.

Поскольку фактор X_1 дважды повторился в комбинациях признаков, характеризующихся мультиколлинеарностью, то мы заменили его на другой показатель конкурентоспособности и инновационного развития – стоимость основных фондов.

После замены фактора X_1 снова была проведена проверка независимых переменных модели на мультиколлинеарность, в результате которой было установлено, что X_5 имеет тесную связь со всеми независимыми переменными. Поэтому на следующем этапе мы заменили показатель общей площади жилых помещений, приходящейся в среднем на одного жителя региона, на другой показатель формирования удобной для человека физической среды – мощность амбулаторно-поликлинических организаций региона.

Данная замена показателя не оказала положительного влияния на совокупность факторов для построения модели устойчивого развития территории, поскольку построенная матрица коэффициентов корреляции показала наличие тесной связи между X_1, X_2, X_3, X_4 и X_5. В

результате еще нескольких итераций и проверок на мультиколлинеарность на завершающем этапе подбора в качестве факторных признаков были предложены: стоимость основных фондов (x_1), объем оборотной и последовательно используемой воды (x_2), затраты на внедрение и использование цифровых технологий (x_3), заболеваемость на 1000 человек населения (x_4), внутренние затраты на научные исследования и разработки (x_5) и коэффициент Джини (x_6).

Далее по каждому субъекту Центрально-Черноземного макрорегиона для отобранных результативного и факторных признаков были построены матрицы коэффициентов корреляции.

Матрица коэффициентов корреляции по шести независимым переменным показала на наличие тесной связи между затратами на внедрение и использование цифровых технологий (x_3) и внутренними затратами на научные исследования и разработки (x_5). Наличие прямой тесной взаимосвязи между затратами на внедрение и использование цифровых технологий и внутренними затратами на научные исследования и разработки, т. е. между показателями развития цифровой инфраструктуры и инновационного развития региона, безусловно, заслуживает внимания и дополнительного дальнейшего исследования с точки зрения оценки влияния развития цифровой инфраструктуры на инновационное развитие региона. Но поскольку данные факторные признаки характеризуются мультиколлинеарностью, на следующем этапе мы исключили независимые переменные X_3 и X_5 и построили матрицы коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по пяти исследуемым регионам (табл. 1–5).

Таблица 1
Table 1

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Белгородской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Belgorod region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	*X1*	*X2*	*X4*	*X6*
y	1				
X1	0,735275	1			
X2	-0,72615	-0,62343	1		
X4	0,011095	0,416184	0,447244	1	
X6	-0,72327	-0,83038	0,380561	-0,46941	1

Таблица 2
Table 2

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Воронежской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Voronezh region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	*X1*	*X2*	*X4*	*X6*
y	1				
X1	0,635032	1			
X2	0,659063	0,6930599	1		
X4	0,97901	0,49025	0,497212	1	
X6	0,919165	0,5704531	0,6759498	0,6841817	1

Таблица 3
Table 3

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Курской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Kursk region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	*X1*	*X2*	*X4*	*X6*
y	1				
X1	0,84252	1			
X2	-0,47555	0,673919	1		
X4	0,79688	0,680771	-0,87548	1	
X6	0,86293	0,690773	-0,62952	0,786998	1

Таблица 4
Table 4

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Липецкой области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Lipetsk region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	*X1*	*X2*	*X4*	*X6*
y	1				
X1	0,696711	1			
X2	0,048293	-0,21971	1		
X4	-0,78688	-0,57125	-0,59994	1	
X6	-0,73194	-0,66457	0,09757	0,548916	1

Таблица 5
Table 5

Матрица коэффициентов корреляции по четырем независимым переменным по Тамбовской области (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
Matrix of correlation coefficients for four independent variables in the Tambov region (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

	y	*X1*	*X2*	*X4*	*X6*
y	1				
X1	0,703831	1			
X2	-0,59706	0,197323	1		
X4	-0,55048	-0,4364	0,475203	1	
X6	0,912027	0,676359	-0,73048	-0,81757	1

После того, как мы убедились в отсутствии тесной связи между отобранными независимыми переменными, на основе корреляционно-регрессионного анализа нами были построены уравнения регрессии, отражающие зависимость результативного признака от

факторных признаков, определены коэффициенты множественной корреляции и степень влияния учтенных и неучтенных в модели факторов на результативный признак (табл. 6).

Таблица 6
Table 6

Результаты моделирования устойчивого развития субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона (рассчитано авторами по данным [Регионы России. Социально-экономические показатели, 2023])
The results of modeling the sustainable development of the subjects of the Central Chernozem macroregion (calculated by the authors according to [Regions of Russia. Socio-economic indicators, 2023])

Регион	Уравнение регрессии	Коэффициент множественной корреляции	Влияние учтенных в модели факторов, %	Влияние неучтенных в модели факторов, %
Белгородская область	$y=11394,93+0,003x_1-4,64x_2+11,13x_4+7739,65x_6$	0,68	42,1	57,9
Воронежская область	$y=-1151,99+1,73x_1+0,021x_2+0,96x_4+2502,2x_6$	0,71	52,4	47,6
Курская область	$y=1697,95+0,00015x_1+0,225x_2+2,23x_4-1248,91x_6$	0,71	53,2	46,8
Липецкая область	$y=7491,24-0,00019x_1-1,24x_2-5,94x_4-0,056x_6$	0,53	41,8	58,2
Тамбовская область	$y=-10377+8,801x_1+2,99x_2+1,02x_4+23838,1x_6$	0,82	63,2	36,8

Далее мы оценили тесноту связи между результативным признаком и факторными признаками в полученных уравнениях регрессии по шкале Чеддока. Коэффициент множественной корреляции принимает значения от 0,53 до 0,82, следовательно, между результативным признаком и факторными признаками существует средняя (по Белгородской и Липецкой области) и сильная (по Воронежской, Курской и Тамбовской области) связь.

Также согласно выводу итогов в пакете анализа данных Microsoft Excel на основе F-критерия Фишера мы определили, что с вероятностью 0,95 все полученные нами уравнения линейной множественной регрессии являются статистически значимыми.

Исходя из построенных моделей, изменение валового регионального продукта на душу населения в исследованных субъектах Центрально-Черноземного макрорегиона может быть объяснено влиянием выбранных факторных признаков на величину от 41,8 % до 63,2 %, влияние неучтенных в моделях факторов составляет от 36,8 % до 58,2 %.

Также нужно отметить, что, согласно полученным уравнениям регрессии, изменения факторных признаков могут иметь различное влияние на результативный признак, т. е. ВРП на душу населения субъектов Центрально-Черноземного макрорегиона, как по направлению связи (положительное или отрицательное влияние), так и по величине влияния. Данные результаты в целом согласуются с результатами других исследований, согласно которым между показателями экономического, социального и экологического развития регионов достаточно часто наблюдается обратная взаимосвязь. Также полученные результаты актуализируют необходимость дальнейшего расширения перечня возможных факторных и результативных признаков устойчивого развития, включения в этот перечень показателей развития цифровой инфраструктуры и инновационной деятельности региона, исследования их взаимовлияния и поиска оптимального соотношения переменных в моделях устойчивого развития для увеличения объясняющих и прогностических возможностей моделей.

Заключение

В заключение сформулируем несколько выводов по результатам исследования, которые могут стать основой для дальнейших разработок.

Несмотря на разнообразие подходов к оценке и моделированию устойчивого развития регионов, все они, на наш взгляд, обладают рядом недостатков. Во-первых, оценка устойчивости регионального развития осуществляется только на основе определенных показателей, которые, в свою очередь, оцениваются на основе статистических данных и, чаще всего, сравниваются с некими граничными условиями. Однако такой подход дает четкое представление лишь о текущей ситуации. Он не позволяет моделировать развитие региона путем установления причинно-следственных связей и анализа возможных сценариев реализации определенных стратегических целей, и поэтому он неэффективен в управлении региональным развитием и в реализации региональной политики.

Во-вторых, разнообразие подходов к оценке устойчивого развития регионов, наличие разных групп критериев, разных уровней предельных критериев устойчивого развития приводит к тому, что каждый регион может самостоятельно формировать оценки устойчивости, которые могут противоречить друг другу. При примерно одинаковых показателях развития один регион может считать себя регионом, отвечающим условиям устойчивого развития, а другой – нет. Это означает, что на национальном уровне невозможно оценить уровень устойчивого развития как регионов, так и государства в целом. Единственным решением в этом направлении, на наш взгляд, должна стать централизованная разработка методов оценки устойчивого развития регионов с установлением единого перечня показателей и граничных условий для них. Новая методология должна не только оценивать текущее состояние развития региона в соответствии с принципами устойчивого развития, но и учитывать причинно-следственные связи между показателями эффективности региона для разработки стратегических целей и задач устойчивого развития.

Список источников

Регионы России. Социально-экономические показатели 2023. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 14.10.2024).

Brundtland G. 1987. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. URL: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf (дата обращения: 14.10.2024).

Modelling for Sustainable Development: New decisions for a new age. 2019. International Institute for Sustainable Development. https://www.iisd.org/system/files/publications/modelling-for-sustainable-development.pdf (дата обращения: 14.10.2024).

Список литературы

Алферова Т.В., Третьякова Е.А. 2024. Структурное моделирование взаимосвязей целей устойчивого развития регионов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 18(2): 5–24. DOI: 10.14529/em240201

Антипов С.К. 2022. Моделирование устойчивого развития арктических регионов Российской Федерации (на примере Мурманской области). *π-Economy*, 15(6): 146–159. DOI: 10.18721/JE.15610

Лыщикова Ю.В. 2023. «Умный устойчивый город»: формирование концепции, оценка, управление. Цифровые интеллектуальные экосистемы в экономике и промышленности. Санкт-Петербург: 106–128. DOI: 10.18720/IEP/2023.5/5

Лыщикова Ю.В. 2024. Концепция «умная деревня» как новый подход к устойчивому развитию сельских территорий. *АПК: экономика, управление*, 3: 103–116. DOI: 10.33305/243-103

Рюмина Е.В. 2000. Анализ эколого-экономических взаимодействий. Москва. Наука, 158 с.

Форрестер Дж. В. 1978. Мировая динамика / перевод с англ. А.Н. Ворощука, С.А. Пегова ; под ред. Д.М. Гвишиани, Н.Н. Моисеева ; с предисл. Д.М. Гвишиани и послесл. Н.Н. Моисеева. Москва: Наука, 167 с.

Шимановский Д.В., Третьякова Е.А. 2020. Моделирование социо-эколого-экономических взаимосвязей как способ оценки устойчивого развития регионов РФ. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*, 15(3): 369–384. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-369-384

Antipov S. K. et al. 2020. Comparing Models of Sustainable Development for the Arctic Region of the Russian Federation. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 539: 012102. doi:10.1088/1755-1315/539/1/012102

Bolsunovskaya M.V., Kudryavtseva T.Y., Rudskaya I.A., Gintciak A.M., Zhidkov D.O., Fedyaevskaya D.E., Burlutskaya Z.V. 2023. Digital Platform for Modeling the Development of Regional Innovation Systems of Russian Federation. *International Journal of Technology*, 14(8): 1779–1789. https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i8.6843

Borodin C.H. 2023. A Model for Assessing Regional Sustainable Development Based on the Index Method. *Economy of Regions*, 19(1): 45–59. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-4

Henderson K., Loreau M. 2023. A model of Sustainable Development Goals: Challenges and opportunities in promoting human well-being and environmental sustainability. *Ecological Modelling*, 475, 110164. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110164

Leonova T., Vinogradov L., Burylov V., Mozaleva N. 2021. Modeling Of Regions Sustainable Development Based On Digital Technologies. In I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova & A. S. Budagov (Eds.), Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society (ICEST-II 2021). European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. European Publisher, 116: 707–716. https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.09.02.79

Marhasova V., Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semykhulyna I. 2022. Modeling the harmony of economic development of regions in the context of sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 17, No. 2, pp. 441–448. https://doi.org/10.18280/ijsdp.170209

Ospanov Y.A., Orazbayeva K.N., Mendebayeva A.D., Mukhametov Y.M., Sadu Zn.N. 2022. Sustainable development and environmental management of the region based on economic and mathematical modeling. Proc. SPIE 12296, International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022), 122960A. https://doi.org/10.1117/12.2642899

Pearce D.W., Turner R. K. 1989. Economics of Natural Resources and the Environment. JHU Press, 392 p.

Ranjula Bali Swain, Shyam Ranganathan. 2021. Modeling interlinkages between sustainable development goals using network analysis. *World Development*, 138, 105136. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105136.

Rodionov D., Dianov D., Dianov S. 2022. Agent-based modelling of sustainable development of regional healthcare infrastructure. *Sustainable Development and Engineering Economics* 3, 3. https://doi.org/10.48554/SDEE.2022.3.3

Shamaeva E.F., Surskova E.S. 2021. Modeling the relationship between achieving the sustainable development goals on the example of the Russian Federation. SHS Web of Conferences, 128, 05015. https://doi.org/10.1051/shsconf/202112805015

Tsypkin Yu.A. et al. 2020. Strategic digital model for sustainable spatial regional development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 579, 012138. doi:10.1088/1755-1315/579/1/012138

Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semyhulina I. 2021. Modeling the influence of innovative factors on sustainable development of regions in the context of digitalization. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(8): 1–8.

Yemelina N., Omarova A., Anara K. 2018. Modelling of Sustainable Development. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 9(1): 124–129. doi:10.14505//jemt.v9.1(25).15

Zakharova E.N., Prokhorova V.V. 2015. Modeling of Sustainable Development of the Region on the Basis of Cognitive Analysis. *Asian Social Science*, 11(7). DOI: 10.5539/ass.v11n7p362.

References

Alferova T.V., Tretyakova E.A. 2024. Structural modeling of the interrelationships of the sustainable development goals of the regions. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 18(2): 5–24. DOI: 10.14529/em240201

Antipov S.K. 2022. Modeling the sustainable development of the Arctic regions of the Russian Federation (using the example of the Murmansk region). *π-Economy*, 15(6): 146–159. DOI: 10.18721/JE.15610

Lyschikova Yu.V. 2023. "Smart sustainable city": concept formation, assessment, management. Digital intelligent ecosystems in the economy and industry. Saint Petersburg: 106–128. DOI: 10.18720/IEP/2023.5/5

Lyschikova Yu.V. 2024. The concept of "smart village" as a new approach to sustainable rural development. *APK: economics, management*, 3: 103–116. DOI: 10.33305/243-103

Ryumina E.V. 2000. Analysis of ecological and economic interactions. Moscow. Science, 158 p.

Forrester J. V. 1978. World dynamics / Translated from the English by A.N. Voroshchuk, S.A. Pegova ; Edited by D.M. Gvishiani, N.N. Moiseev; With a preface by D.M. Gvishiani and afterword by N.N. Moiseev. Moscow: Nauka, 167 p.

Shimanovsky D.V., Tretyakova E.A. 2020. Modeling of socio-ecological and economic relationships as a way to assess the sustainable development of the regions of the Russian Federation. *Bulletin of the Perm University. Series: Economics*, 15(3): 369–384. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-369-384

Antipov S. K. et al. 2020. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 539: 012102. doi:10.1088/1755-1315/539/1/012102

Bolsunovskaya M.V., Kudryavtseva T.Y., Rudskaya I.A., Gintciak A.M., Zhidkov D.O., Fedyaevskaya D.E., Burlutskaya Z.V. 2023. Digital Platform for Modeling the Development of Regional Innovation Systems of Russian Federation. *International Journal of Technology*, 14(8): 1779–1789. https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i8.6843

Borodin C.H. 2023. A Model for Assessing Regional Sustainable Development Based on the Index Method. *Economy of Regions*, 19(1): 45–59. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-4

Henderson K., Loreau M. 2023. A model of Sustainable Development Goals: Challenges and opportunities in promoting human well-being and environmental sustainability. *Ecological Modelling*, 475, 110164. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110164

Leonova T., Vinogradov L., Burylov V., Mozaleva N. 2021. Modeling Of Regions Sustainable Development Based On Digital Technologies. In I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova & A. S. Budagov (Eds.), Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society (ICEST-II 2021). European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. European Publisher, 116: 707–716. https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.09.02.79

Marhasova V., Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semykhulyna I. 2022. Modeling the harmony of economic development of regions in the context of sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 17, No. 2, pp. 441–448. https://doi.org/10.18280/ijsdp.170209

Ospanov Y.A., Orazbayeva K.N., Mendebayeva A.D., Mukhametov Y.M., Sadu Zn.N. 2022. Sustainable development and environmental management of the region based on economic and mathematical modeling. Proc. SPIE 12296, International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022), 122960A. https://doi.org/10.1117/12.2642899

Pearce D.W., Turner R.K. 1989. Economics of Natural Resources and the Environment. JHU Press, 392 p.

Ranjula Bali Swain, Shyam Ranganathan. 2021. Modeling interlinkages between sustainable development goals using network analysis. *World Development*, 138, 105136. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105136.

Rodionov D., Dianov D., Dianov S. 2022. Agent-based modelling of sustainable development of regional healthcare infrastructure. *Sustainable Development and Engineering Economics* 3, 3. https://doi.org/10.48554/SDEE.2022.3.3

Shamaeva E.F., Surskova E.S. 2021. Modeling the relationship between achieving the sustainable development goals on the example of the Russian Federation. SHS Web of Conferences, 128, 05015. https://doi.org/10.1051/shsconf/202112805015

Tsypkin Yu.A. et al. 2020. Strategic digital model for sustainable spatial regional development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 579, 012138. doi:10.1088/1755-1315/579/1/012138

Tulchynska S., Popelo O., Garafonova O., Yaroshenko I., Semyhulina I. 2021. Modeling the influence of innovative factors on sustainable development of regions in the context of digitalization. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(8): 1–8.

Yemelina N., Omarova A., Anara K. 2018. Modelling of Sustainable Development. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 9(1): 124–129. doi:10.14505//jemt.v9.1(25).15

Zakharova E.N., Prokhorova V.V. 2015. Modeling of Sustainable Development of the Region on the Basis of Cognitive Analysis. *Asian Social Science*, 11(7). DOI: 10.5539/ass.v11n7p362.

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 28.11.2024
Поступила после рецензирования 12.12.2024
Принята к публикации 16.12.2024

Received November 28, 2024
Revised December 12, 2024
Accepted December 16, 2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Добродомова Татьяна Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Лыщикова Юлия Владимировна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatyana N. Dobrodomova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Julia V. Lyshchikova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.14
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-268-278
EDN DELMIT

Переосмысление функций экономического пространства в условиях усложнения пространственной организации и цифровой трансформации экономики

Лемнев В.Н., Стрябкова Е.А.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
vladimir.lemnev@gmail.com, stryabkova@bsuedu.ru

Аннотация. В статье предлагается систематизация и переосмысление функций экономического пространства в условиях цифровизации, институциональных трансформаций и усложнения логики пространственной организации экономики. На основе обобщения теоретических подходов и анализа современных эмпирических кейсов обосновывается необходимость расширения классической типологии функций. Рассматриваются институциональная, координирующая, связывающая, интеграционная и производственная функции, анализируется их эволюция и взаимосвязи. Подчёркивается их роль в формировании более гибкой и адаптивной модели пространственного развития.

Ключевые слова: территориальное развитие, цифровизация, пространственная связанность, интеграция регионов, институциональные изменения

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания НИУ «БелГУ» FZWG-2023-0014, тема проекта «Пространственно-сетевое взаимодействие российских регионов в контексте новых вызовов технологического развития».

Для цитирования: Лемнев В.Н., Стрябкова Е.А. 2025. Переосмысление функций экономического пространства в условиях усложнения пространственной организации и цифровой трансформации экономики. *Экономика. Информатика*, 52(2): 268–278. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-268-278 END DELMIT

Reconceptualizing the Functions of Economic Space in the Context of Spatial Complexity and Digital Economic Transformation

Vladimir N. Lemnev, Elena A. Stryabkova
Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
vladimir.lemnev@gmail.com, stryabkova@bsuedu.ru

Abstract. This article proposes a systematization and reinterpretation of the functions of economic space in the context of digitalization, institutional transformations, and the increasing complexity of spatial organization. It introduces a revised functional model that reflects contemporary trends in spatial development, including the growing importance of digital infrastructure, network-based interactions, and decentralized coordination. The paper identifies five key functions of economic space – the institutional, the coordinating, the connecting, the integrative, and the productive one – and analyzes their role under current spatial and economic conditions. Particular attention is paid to the dual impact of digitalization: on the one hand, it facilitates new forms of spatial agglomeration; on the other, it reduces dependence on physical infrastructure and enables more balanced development in peripheral regions. The proposed framework provides a conceptual

© Лемнев В.Н., Стрябкова Е.А., 2025

basis for further research and the development of analytical tools for assessing spatial balance and informing territorial policy.

Keywords: territorial development, digitalization, spatial connectivity, regional integration, institutional change

Acknowledgements: the study was prepared as part of the state task of NRU "BelSU" FZWG-2023-0014, the project topic is "Spatial-network interaction of Russian regions in the context of new challenges of technological development".

For citation: Lemnev V.N., Stryabkova E.A. 2025. Reconceptualizing the Functions of Economic Space in the Context of Spatial Complexity and Digital Economic Transformation. *Economics. Information technologies*, 52(2): 268–278 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-268-278 END DELMIT

Введение

Понимание сущности экономического пространства невозможно без анализа функций, которые оно выполняет в рамках социально-экономической системы. Через свои функции экономическое пространство проявляет себя как механизм организации, регулирования и воспроизводства территориально распределённых экономических процессов. Они служат связующим звеном между теоретическим осмыслением и прикладными задачами пространственного развития – проектированием инфраструктуры, управлением межрегиональными связями, координацией отраслей и развитием институциональных форм. В условиях цифровизации, высоком уровне территориального неравенства и структурных трансформациях экономики изучение функций экономического пространства приобретает особую значимость.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью переосмысления функций экономического пространства в условиях цифровизации, инновационных трансформаций и роста территориального неравенства. Современные вызовы требуют обновления стратегии пространственного развития с акцентом на сбалансированность и устойчивость, что обуславливает потребность в совершенствовании оценочного инструментария. Переосмысление функций позволяет выявить ключевые механизмы пространственной организации и уточнить ориентиры для оценки сбалансированности развития территорий.

Новизна исследования заключается в переосмыслении функций экономического пространства через их систематизацию, динамический анализ их эволюции за последние десятилетия и обоснование новых интерпретаций с учетом процессов цифровизации, сетевой экономики и усложнения пространственных систем.

Объекты и методы исследования

Цель данной статьи – систематизировать функции экономического пространства, проанализировать их эволюцию под воздействием процессов цифровизации и пространственных трансформаций, а также предложить уточнённую интерпретацию ключевых функций для последующего применения в оценке сбалансированности территориального развития.

Объектом исследования выступает экономическое пространство как система условий и механизмов территориальной организации экономики.

Предметом исследования являются функции экономического пространства и их трансформация под воздействием цифровизации, институциональных изменений и пространственной перестройки.

Методологическую основу исследования составляют системный и функциональный подходы, а также методы теоретического анализа, типологизации, компаративного анализа.

Результаты и их обсуждение

Понимание сущности экономического пространства в научной литературе носит многоплановый характер и отражает эволюцию взглядов на его роль в социально-экономическом развитии. В своём теоретическом исследовании О.А. Бияков выделяет три основных подхода к его определению [Бияков, 2004], каждый из которых фокусируется на определённом аспекте пространственной организации и в определенной степени представляет собой эволюционную ступень в развитии научного представления о данном феномене:

1. **Территориальный (географический) подход** рассматривает экономическое пространство как физическую территорию, насыщенную объектами и связями. Пространство выступает фоном для размещения хозяйственной деятельности, а ключевыми характеристиками становятся плотность, структура и конфигурация размещения (А. Гранберг, Г. Костинский, Ф. Рянский и др. [Бияков, 2004]).

2. **Ресурсный (социальный) подход** акцентирует внимание на системе отношений по поводу доступа и использования ресурсов. В центре анализа – экономические интересы, действия и перераспределение факторов производства между субъектами (В. Радаев, В. Чекмарев, П. Кругман и др. [Бияков, 2004]).

3. **Информационно-процессный (системный) подход** интерпретирует пространство как результат взаимодействий между субъектами, реализующих хозяйственную деятельность через обмен информацией и участие в согласованных экономических процессах. Пространство здесь предстает как динамическая система, опосредованная институтами и временем (Е. Иванов, С. Паринова, Д. Касти, Г. Хакен и О. Бияков [Бияков, 2004]).

В дополнение к этим трем подходам в рамках настоящего исследования предлагается **интегральный подход**, объединяющий территориальные, социальные и системные аспекты. Экономическое пространство в данном случае рассматривается как сложная среда, формируемая совокупностью взаимодействий, институтов, сетей и материальных условий. Такой синтетический подход, с нашей точки зрения, наиболее применим при решении практических задач оценки сбалансированности пространственного развития за счет совокупности учитываемых факторов. В табл. 1 представлена возможная структура исследования, в которой объектом могут выступать различные характеристики экономического пространства.

Таблица 1
Table 1

Структура взаимосвязи подходов, объекта и предмета исследования
Structure of the interrelation between approaches, object, and subject of research

Концепт	Экономическое пространство		
Подход к исследованию	Территориальный	Социально-ресурсный	Информационно-процессный
Проявление	Пространственные характеристики и границы	Отношения, интересы, доступ к ресурсам	Информационные потоки, координация
Объект исследования	Уровень сбалансированности пространственного развития		
Предмет 1-го уровня	Функции пространства		
Предмет 2-го уровня	Методы оценки (индикаторы, модели, индексы)		
Предмет 3-го уровня	Инструменты пространственной политики		

Перейдём непосредственно к функциям экономического пространства. Значительное место в их типологии занимает классификация, предложенная О.А. Бияковым, согласно которой выделяются шесть ключевых функций: институциональная, регулирующая, синхронизирующая, корректирующая, оптимизирующая и информационная [Бияков, 2004]. Следует отметить, что эти функции соотносятся с информационно-процессным подходом

автора. В рамках настоящего исследования они будут переосмыслены и адаптированы к интегральной концептуальной рамке с целью практического применения при оценке сбалансированности пространственного развития.

Институциональная функция. Данная функция связывает экономическое и институциональное пространство в единый механизм. О.А. Бияков справедливо указывает на её дуалистическую природу: в идеальной среде экономическое пространство и институциональная среда находятся в динамическом равновесии, при котором изменение одного фактора влечёт за собой трансформацию другого, обеспечивая устойчивость и эффективность всей системы [Бияков, 2004].

Однако на практике такое равновесие нарушается – и восстановление баланса между экономическими и институциональными составляющими происходит с определённой временной задержкой. Это позволяет ввести полезную метафору: «теплопроводность» институциональной функции – характеристика, определяющая, насколько быстро изменения в институциональной среде адаптируются к экономическим условиям и наоборот.

В этом контексте особенно уместно рассмотреть классификацию Bathelt & Glückler [Bathelt, Glückler, 2014], которые выделяют три механизма институциональных изменений:

• Гистерезис (hysteresis) – инерционное сохранение устаревших институтов, уже не соответствующих изменившейся экономической среде; такие институты могут снижать адаптивность системы и нарушать её функциональность.

• Эмерджентные изменения (emergent change) – стихийное и длительное приспособление институтов к меняющейся реальности через повседневные практики большого числа акторов. Этот механизм имеет высокую «теплоёмкость» и низкую «проводимость».

• Институциональное предпринимательство (institutional entrepreneurship) – это целенаправленные действия ограниченного круга акторов, способные быстро трансформировать институциональную среду и, соответственно, временно нарушить баланс между институциональной и экономической логикой. Такой механизм характеризуется низкой теплоёмкостью и высокой проводимостью: даже небольшое воздействие может быстро и радикально изменить состояние системы.

Дополнительную ценность для осмысления институциональной функции представляет типология взаимосвязи пространства и институциональных изменений, предложенная в работе Wright A., Irwing G. и др. [Wright et al., 2023]. Авторы, проанализировав 290 эмпирических исследований, выделяют четыре уровня вовлечённости пространства в институциональные трансформации: от функционального подхода, в рамках которого пространство выступает как нейтральный фон или ресурс, до взаимоконституирующего, где пространство и институты формируют и преобразуют друг друга в процессе изменений. Именно эта последняя модель наилучшим образом иллюстрирует дуалистическую природу институциональной функции, описанную О.А. Бияковым [Бияков, 2004]: в такой логике экономическое пространство и институциональная среда не просто взаимодействуют, а встраиваются друг в друга как элементы единой системы, в которой ни один из факторов не является первичным или вторичным, а изменения в одном вызывают преобразования в другом.

Более того, на основании собранной авторами эмпирической базы можно сделать опосредованное наблюдение об изменении исследовательского фокуса: если в более ранних работах пространство рассматривалось преимущественно как ресурс или сцена, на которой разыгрываются институциональные процессы, то в более современных исследованиях происходит переход к пониманию пространства как активного фактора институционального преобразования. В качестве одного из примеров этого тренда авторы указывают на сдвиги в организации труда после пандемии COVID-19, когда границы между домашним и рабочим пространствами стали размываться, что вызвало радикальные изменения в институтах труда и организационных практиках.

Координирующая функция. Регулирующая, синхронизирующая и корректирующая функции, выделенные О.А. Бияковым [Бияков, 2004], хотя и различаются по своему содержанию, тем не менее направлены на близкие и взаимодополняющие аспекты внутренней согласованности

экономического пространства в рамках V-процесса[1]. *Регулирующая* функция задаёт институциональные рамки и общую направленность участия субъектов в V-процессе, *синхронизирующая* – обеспечивает согласование темпов и ритмов экономических процессов, а *корректирующая* – ориентирована на сближение частных интересов участников пространства в целях минимизации конфликтов и трансакционных издержек.

Объединяя эти три взаимосвязанные функции в рамках более широкой координирующей функции, мы получаем целостное представление о том, как пространство поддерживает системную устойчивость и согласованность действий множества субъектов. В этом контексте экономическое пространство выступает не только как среда для взаимодействия, но и как интегральный механизм внутренней самонастройки, обеспечивающий баланс между структурой, временем и интересами экономических агентов.

Такое расширенное понимание находит параллель в подходе Ричардсона [Richardson, 1972], который предложил различать три типа координации в экономике:

– через рынок (взаимодействие несвязанных видов деятельности),

– через иерархию (внутри фирмы),

– через сотрудничество (между технологически или функционально близкими субъектами).

Дополнительное развитие этой идеи предложено в работе D. Harrison и др. [Harrison et al., 2023], где вводится четвёртый режим – координация через распределённый контроль (distributed control). В отличие от рыночной координации, основанной на конкурентных ценовых сигналах и принципиальной отчуждённости субъектов, распределённый контроль подразумевает наличие устойчивых ориентиров, прозрачных правил взаимодействия и доверительных механизмов согласования, действующих даже при отсутствии централизованного управления. Такой тип координации особенно актуален в условиях цифровизации, платформенных моделей и сложных территориальных сетей, где участники действуют автономно, но не изолированно. В качестве примера, в рыночной логике повар просто покупает рыбу у любого поставщика, ориентируясь на цену и наличие. В модели распределённого контроля рыбак и повар не связаны контрактом, но координируют действия через устойчивые ожидания, повторяющиеся практики либо законодательные нормы, и на выходе мы получаем, например, цифровую прозрачность цепочки поставок – как в случае с использованием блокчейна для определения даты и места вылова рыбы.

В этой логике экономическое пространство выступает как среда децентрализованной согласованности, где упорядоченность обеспечивается не через иерархию или рынок в чистом виде, а через распределённую, многослойную и гибкую систему взаимодействий, встроенную в локальные и цифровые инфраструктуры. Это радикально отличает координирующую функцию в современных условиях от прежних представлений о жёстком территориальном планировании, подчёркивая её гибридный и нелинейный характер.

Связывающая функция. Данная функция экономического пространства проявляется в его способности соединять разнородные элементы – территориальные, экономические, информационные и инфраструктурные – в единую функционирующую систему. Фактор связанности в отечественной литературе изучил Мирзабалаев [Мирзабалаев, 2023]. В классическом смысле речь идёт о логистической и транспортной связности, которая обеспечивает перемещение ресурсов, людей, товаров и услуг между участками пространства. Однако в современном понимании эта функция выходит за рамки физической инфраструктуры, включая также цифровую, коммуникационную и институциональную связанность.

[1] Под V-процессом (виртуальным экономическим процессом) О.А. Бияков понимает воспроизводственный процесс, объединяющий экономическую деятельность большинства субъектов в пределах пространства и обеспечивающий согласование их темпов, направлений и интересов. Детально экономический процесс и концепцию V-процесса он исследует в своей более ранней работе «Экономический процесс: сущность, анализ и синтез понятия» [Бияков, 2004].

Информационная функция, выделяемая О.А. Бияковым [Бияков, 2004], в данном контексте может быть интерпретирована как частный аспект связывающей: пространство выполняет роль среды передачи и структурирования информации между субъектами, снижая уровень неопределённости и способствуя принятию согласованных решений. Современные формы этой связности – цифровые платформы, геоинформационные системы, логистические цепочки.

Дополнительно связывающая функция охватывает адаптационно-устойчивостной аспект. Пространство, хорошо связанное физически (логистически и инфраструктурно) и информационно, обладает большей адаптивной способностью, так как может быстрее перераспределять потоки ресурсов и реагировать на внешние и внутренние изменения. Это делает экономическое пространство более резилиентным к внешним шокам, усиливая его роль как инфраструктуры устойчивости. [Giannakis, Papadas, 2021]

При этом одним из механизмов устойчивости и адаптации является экономическая диверсификация в рамках пространственной единицы – наличие разнообразных видов экономической активности, институциональных форм и производственных специализаций внутри одного региона или территории [Sutton, Arku, 2022]. Такая диверсификация стимулируется, в том числе, трансакционными издержками, возникающими при импорте товаров и услуг из внешних пространственных субъектов, что делает локальные источники предпочтительными. Диверсификационная составляющая позволяет не только повысить гибкость пространственной системы, но и существенно снизить риски, связанные с монопрофильностью, отраслевой зависимостью или внешними шоками. Особенно в условиях ограниченной логистической связанности, санкционной нестабильности или разрывов глобальных цепочек поставок, именно локализованное разнообразие становится залогом устойчивости: в критической ситуации производство или услуга, доступные внутри пространства, оказываются более надёжным и управляемым ресурсом, чем внешне привнесённые.

Интеграционная функция. Интеграционная функция экономического пространства заключается в его способности объединять отдельные фрагменты – локальные экономические участки, административные единицы, социоинституциональные образования – в более крупные, взаимосвязанные целостностные структуры. В этом процессе происходит не просто механическое объединение территорий, но формирование новых порядков пространственной организации, где пересобираются логики взаимодействия, кооперации и управления.

Особое значение интеграционная функция приобретает в условиях, когда границы между средой и управлением становятся подвижными. Пространство больше не просто объект планирования, а соучастник процессов управления. Административные, функциональные и экономические масштабы часто не совпадают: экономические связи выходят за пределы формальных границ, а эффективное управление должно реализовываться через гибкие, распределённые механизмы, действующие на разных уровнях [Marin et al. 2024].

Развитие туризма на Балканском полуострове представляет собой наглядный пример реализации интеграционной функции экономического пространства вне административных границ. Несмотря на политико-территориальную раздробленность, регион объединён географической и культурной общностью, что способствует формированию трансграничных связей. Одной из форм такой интеграции выступает трансграничный туризм. В его развитии важную роль играет программа ЕС Interreg, направленная на поддержку приграничного сотрудничества и реализацию проектов, углубляющих межрегиональное взаимодействие [European Commission, 2025].

Также в контексте интеграционной функции особенно важным становится вопрос порядков пространственной организации. Малые экономические пространства (например, моногорода или локальные агломерации) включаются в более крупные и сложные структуры – сначала на уровне субрегиона, затем региона, макрорегиона и, наконец, транснационального образования. Как результат, термин «экономическое пространство» применим как к компактной территориальной системе, так и к таким образованиям, как Европейский союз, в зависимости от степени институциональной, логистической, цифровой и политико-экономической интеграции.

Кроме того, в классическом подходе интеграция трактовалась как укрупнение – экономическое «схлопывание» мелких пространств в крупные единицы, например, в рамках ТПК, агломераций или интеграционных кластеров. Однако в современном контексте речь идёт не только о физическом или экономическом объединении, но и о когнитивной, административной и функциональной интеграции, когда локальные пространства входят в более масштабные структуры через участие в сетях, цифровых экосистемах и многоуровневом управлении. Среди отечественных исследователей о данном феномене рассуждает Минакир в своем историческом исследовании влияния пространства на экономику [Минакир, Демьяненко, 2010]. Развернутое теоретическое осмысление этих процессов также предлагает Джон Аллен в своей концепции «топологий власти» [Allen, 2011]. Он утверждает, что власть (в широком понимании, в том числе власть ТНК) и пространственная организация в современном мире больше не укладываются в жёсткие территориальные рамки: влияние и интеграция происходят через «охват» (reach), а не через прямой контроль. Пространства – от моногорода до наднациональных образований – включаются в более крупные конфигурации за счёт регуляторных механизмов, информационных потоков, нормативных стандартов и цифровых инфраструктур, а не только путём административного объединения. В этой логике пространство становится не объектом власти, а результатом её действия – формой, собираемой через взаимодействие политических, экономических и институциональных агентов.

Производственная функция. Последней функцией экономического пространства, которую мы рассматриваем в рамках данного исследования, является производственная функция. Несмотря на все более активное смещение фокуса с производительности и объема производства [Coyle, 2016] в сторону устойчивости, равномерности развития и экологического баланса [Vuong, et al., 2019] – эффективность производства остаётся одним из ключевых ориентиров организации экономики в пространстве.

С 1990–2000-х годов в развитых экономиках усиливается переход от индустриальной логики размещения к кластерной и инновационной. Пространства, где сосредоточены предприятия, научно-исследовательские центры и сервисные компании, обеспечивают эффект синергии, ускоряют обмен знаниями и стимулируют рост производительности. Здесь территория становится не просто фоном, но и активной средой поддержки производственного процесса – институциональной и инфраструктурной [Porter, 1998].

Однако с 2010-х годов наблюдается параллельный тренд: ослабление зависимости экономической деятельности от физической пространственной локализации. Всё больше компонентов производственного цикла – от услуг и логистики до разработки и координации – переходят в цифровую среду. Как подчёркивает OECD[1], цифровизация трансформирует саму природу производственных взаимодействий, снижая зависимость от географических узлов и создавая новые формы распределённого производства и управления [OECD, 2020].

Эта двойственность, с одной стороны в виде перехода к кластерной логике размещения производства, но с другой – в виде активной децентрализации производственных цепочек, также получила подтверждение в исследовании китайских исследователей. На основе данных более 24 тысяч китайских предприятий показано, что цифровая экономика также способствует географической агломерации производства – но не по логике транспортных или трудовых издержек, а через снижение транзакционных издержек, расширение рыночного потенциала и усиление эффекта знаний. То есть пространственный эффект агломераций еще более усиливается за счет фактора цифровизации. Кроме того, цифровая среда усиливает регионы с недостаточно развитой физической инфраструктурой, что открывает путь к более сбалансированному пространственному развитию [Wang et al., 2023].

Так, продолжая логику авторов, недостаточная инфраструктурная развитость отдельных территорий может быть компенсирована цифровыми преимуществами, что позволит, например: разместить серверную инфраструктуру при низкой стоимости энергии и земли, создать IT-хаб в регионе с высокой квалификацией рабочей силы и относительно низким

[1] Организация экономического сотрудничества и развития

уровнем оплаты труда, либо разместить колл-центр или другие удалённые сервисы в регионе с низкой оплатой труда. Тем самым формируются условия для уменьшения пространственного неравенства в развитии территорий при их неблагоприятном географическом расположении и ограниченных инфраструктурных возможностях. В рамках данной логики научный интерес вызывает китайский проект «Цифровая деревня». Например, другая группа китайских исследователей утверждает об успешности проекта в контексте борьбы с бедностью за счет повышения возможностей для предпринимательства [Zhao et al., 2025]. Также в этом контексте выглядит оправданной французская программа 2013 года PFTHD[1] – план по обеспечению доступности сверхвысокоскоростного интернета во Франции в самых удаленных регионах страны, которая ставит целью:

– к 2022 году 100 % покрытие 4G или более 30 Мбит/с.

– к 2025 году 100 % покрытие своей территории сетью оптического волокна [Arcep, 2025].

Таким образом, производственная функция всё в большей степени определяется не только географическим расположением и инфраструктурой, но и уровнем цифровой зрелости территории, что особенно актуально как для производственных, так и для связанных с ними непроизводственных процессов.

Представленная таблица (табл. 2) обобщает выделенные нами основные функции экономического пространства с учётом современных условий и демонстрирует вариант аналитической интерпретации, который может быть дополнен или адаптирован в зависимости от исследовательских задач и территориального контекста. Такой подход позволяет не только систематизировать теоретические знания, но и заложить основу для создания инструментов пространственной диагностики, пригодных для использования в региональной политике, разработке стратегий развития и институциональном проектировании.

Таблица 2
Table 2

Функции экономического пространства и их аналитическая роль
Functions of economic space and their analytical role

Функция	**Содержание**	**Роль для экономического пространства**	**Потенциальные метрики**
1	2	3	4
Институциональная	Обеспечивает взаимосвязь между экономическим и институциональным пространством; задаёт правила и механизмы взаимодействия.	Повышает устойчивость территорий, ускоряет адаптацию к изменениям.	Индекс качества институтов, нормативная плотность, скорость институциональных изменений.
Координирующая	Обеспечивает согласование темпов, интересов и направлений развития между субъектами.	Снижает фрагментацию, усиливает согласованность пространственной политики.	Разница в темпах роста, наличие стратегий и согласованных программ развития.
Связывающая	Формирует единую систему за счёт логистических, цифровых и институциональных связей.	Повышает адаптивность территорий и устойчивость к внешним шокам.	Индексы транспортной и цифровой связанности, плотность инфраструктур.

[1] «Le plan France Très Haut Débit» (PFTHD), перевод с фр. «план Франция – сверхвысокоскоростной интернет».

Окончание табл. 2
End of table 2

1	2	3	4
Интеграционная	Объединяет локальные пространства в более крупные структуры через включение в сети.	Уменьшает разрыв между центром и периферией, усиливает региональную согласованность.	Уровень межрегионального сотрудничества, участие в трансграничных проектах.
Производственная	Организует размещение производственной активности с учётом цифровизации и кластерной логики.	Увеличивает производительность и стимулирует равномерное развитие новых экономических узлов.	Индекс кластеризации, цифровая зрелость, уровень распределённого производства.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило актуальность переосмысления функций экономического пространства в условиях ускоренной цифровизации, роста институциональной сложности и трансформации логики пространственной организации экономики. Систематизация функций позволила перейти от фрагментарного описания отдельных механизмов пространственной организации к целостной функциональной модели, включающей пять взаимосвязанных элементов: институциональную, координирующую, связывающую, интеграционную и производственную функции.

Предложенная типология открывает возможности для дальнейшей конкретизации понятийного аппарата пространственной экономики и формирования прикладных инструментов анализа сбалансированности территориального развития. Современные вызовы требуют перехода от жёстких территориальных моделей к гибким, адаптивным и многослойным пространственным системам, в которых функции играют ключевую роль для понимания трансформации социально-экономических связей.

Таким образом, исследование вносит вклад в развитие функционального подхода к пространственному анализу, закладывая основу для построения более чувствительных к реальности инструментов территориального планирования и региональной политики.

Ограничения и дальнейшие исследования. Настоящее исследование носит преимущественно теоретико-аналитический характер, что предопределяет ряд ограничений. Во-первых, предложенная систематизация функций экономического пространства основана на качественном анализе теоретических источников и современных эмпирических кейсов, однако не сопровождается статистической верификацией или модельной апробацией. Во-вторых, несмотря на охват широкого круга функций, акцент был сделан преимущественно на макроуровне пространственной организации, тогда как вопросы функционирования экономического пространства на мезо- и микроуровнях требуют отдельного исследования.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на:

– расширение и теоретическое обоснование дополнительного перечня функций;

– разработку индикаторов и методик оценки отдельных функций экономического пространства;

– эмпирическую проверку взаимосвязей между функциями и факторами пространственного развития;

– адаптацию предложенной функциональной модели к условиям российских регионов;

– исследование взаимодействия между функциями на разных уровнях – от локального до глобального.

Список источников

Arcep, 2025. Le plan France Très Haut Débit (PFTHD). URL: arcep.fr/mes-demarches-et-services/collectivites/fiches-pratiques/le-plan-france-tres-haut-debit-pfthd.html (дата обращения: 25.04.2025).

European Territorial Cooperation – INTERREG. URL: social-economy-gateway.ec.europa.eu/eu-funding-programmes/european-territorial-cooperation-interreg_en (дата обращения: 23.04.2025).

OECD, 2020. OECD Digital Economy Outlook 2020. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/bb167041-en.

Список литературы

Бияков О.А. 2004. Экономический процесс: сущность, анализ и синтез понятия. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 1: 82–88.

Бияков О.А. 2004. Экономическое пространство: сущность, функции, свойства. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2: 101–108.

Минакир П.А., Демьяненко А.Н. 2010. Пространственная экономика: эволюция подходов и методология. *Пространственная экономика*, 2: 6–32.

Мирзабалаев Р.В. 2023. Связанность экономического пространства как фактор территориального развития. *РЭиУ*, 4 (76).

Allen J. 2011. Topological twists: Power's shifting geographies. *Dialogues in Human Geography*, 1(3): 283-298. DOI: 10.1177/2043820611421546.

Bathelt H., Glückler J. 2014. Institutional change in economic geography. *Progress in Human Geography*, 38(3). DOI: 10.1177/0309132513507823.

Coyle D. 2016. The Political Economy of National Statistics. Economics Discussion Paper Series No. EDP-1603, The University of Manchester.

Giannakis E., Papadas C. 2021. Spatial Connectivity and Regional Economic Resilience in Turbulent Times. *Sustainability*, 13(20). DOI: 10.3390/su132011289.

Harrison D., Munksgaard K., Prenkert F. 2023. Coordinating Activity Interdependencies in the Contemporary Economy: The Principle of Distributed Control. *British Journal Management*, 34: 1488–1509. DOI: 10.1111/1467-8551.12650.

Marin V., Molinero C., and Arcaute E. 2024. The scalar mismatch of regional governance: a comparative analysis of hierarchical structures. *Environment and Planning B*, 51(9): 2126–2145. DOI: 10.1177/23998083241234405.

Porter M. 1998. Clusters and the New Economics of Competition. Harvard Business Review, 76: 77-90.

Richardson G. 1972. The Organisation of Industry. *The Economic Journal*, 82(327): 883–896. DOI: 10.2307/2230256.

Sutton J., Godwin A. 2022. Regional economic resilience: towards a system approach. *Regional Studies, Regional Science*, 9(1): 497–512. DOI: 10.1080/21681376.2022.2092418.

Vuong Q., Ho M., Nguyen H, Nguyen M. 2019. The trilemma of sustainable industrial growth: evidence from a piloting OECD's Green city. *Palgrave Communications*, 5(156). DOI: 10.1057/s41599-019-0369-8.

Wang M., Zhang M., Chen H., Yu D. 2023. How Does Digital Economy Promote the Geographical Agglomeration of Manufacturing Industry. *Sustainability*, 15(2), 1727. DOI: 10.3390/su15021727.

Wright A.L., Irving G., Zafar A., Reay T. 2023. The Role of Space and Place in Organizational and Institutional Change: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Management Studies*, 60: 991–1026. DOI: 10.1111/joms.12868.

Zhao X., Lan F, Zhang L. 2025. The impact of digital village construction on poverty vulnerability among rural households. Sci Rep 15, 9967. DOI: 10.1038/s41598-025-91928-7.

References

Biyakov O.A. 2004. The Economic Process: Essence, Analysis and Synthesis of the Concept. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 1: 82–88.

Biyakov O.A. 2004. Economic Space: Essence, Functions, and Properties. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2: 101–108.

Minakir P.A., Demyanenko A.N. 2010. Spatial Economy: Evolution of Approaches and Methodology. *Spatial Economics*, 2: 6–32.

Mirzabalayev R.V. 2023. Connectivity of Economic Space as a Factor of Territorial Development. *Russian Journal of Regional Economics and Management (RZhREiU)*, 4(76).

Allen J. 2011. Topological twists: Power's shifting geographies. *Dialogues in Human Geography*, 1(3): 283–298. DOI: 10.1177/2043820611421546.

Bathelt H., Glückler J. 2014. Institutional change in economic geography. *Progress in Human Geography*, 38(3). DOI: 10.1177/0309132513507823.

Coyle D. 2016. The Political Economy of National Statistics. Economics Discussion Paper Series No. EDP-1603, The University of Manchester.

Giannakis E., Papadas C. 2021. Spatial Connectivity and Regional Economic Resilience in Turbulent Times. *Sustainability*, 13(20). DOI: 10.3390/su132011289.

Harrison D., Munksgaard K., Prenkert F. 2023. Coordinating Activity Interdependencies in the Contemporary Economy: The Principle of Distributed Control. *British Journal Management*, 34: 1488–1509. DOI: 10.1111/1467-8551.12650.

Marin V., Molinero C., and Arcaute E. 2024. The scalar mismatch of regional governance: a comparative analysis of hierarchical structures. *Environment and Planning B*, 51(9): 2126–2145. DOI: 10.1177/23998083241234405.

Porter M. 1998. Clusters and the New Economics of Competition. Harvard Business Review, 76: 77–90.

Richardson G. 1972. The Organisation of Industry. *The Economic Journal*, 82(327): 883–896. DOI: 10.2307/2230256.

Sutton J., Godwin A. 2022. Regional economic resilience: towards a system approach. *Regional Studies, Regional Science*, 9(1): 497–512. DOI: 10.1080/21681376.2022.2092418.

Vuong Q., Ho M., Nguyen H, Nguyen M. 2019. The trilemma of sustainable industrial growth: evidence from a piloting OECD's Green city. *Palgrave Communications*, 5(156). DOI: 10.1057/s41599-019-0369-8.

Wang M., Zhang M., Chen H., Yu D. 2023. How Does Digital Economy Promote the Geographical Agglomeration of Manufacturing Industry. *Sustainability*, 15(2), 1727. DOI: 10.3390/su15021727.

Wright A.L., Irving G., Zafar A., Reay T. 2023. The Role of Space and Place in Organizational and Institutional Change: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Management Studies*, 60: 991-1026. DOI: 10.1111/joms.12868.

Zhao X., Lan F, Zhang L. 2025. The impact of digital village construction on poverty vulnerability among rural households. Sci Rep 15, 9967. DOI: 10.1038/s41598-025-91928-7.

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 14.04.2025
Поступила после рецензирования 14.05.2025
Принята к публикации 20.05.2025

Received April 14, 2025
Revised May 14, 2025
Accepted May 20, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лемнёв Владимир Николаевич, аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Стрябкова Елена Анатольевна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir N. Lemnev, postgraduate student of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Elena A. Stryabkova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia.

УДК 332.14
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-279-290
EDN DKDUZM

Моделирование и оценка влияния социально-экономических факторов и цифровой трансформации на экономический рост территории на базе нейронных сетей

Петрова Е.А., Калинина В.В., Усачева И.В.
Волгоградский государственный университет
Россия, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 100
ea_petrova@mail.ru, verakalinina@mail.ru, zeppelin89@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является формирование методических аспектов оценки влияния национального проекта «Цифровая экономика РФ» на экономический рост. Задачами исследования являются: оценка влияния цифровой трансформации на развитие экономики региона с учетом анализа реализации нацпрограммы «Цифровая экономика РФ»; создание модели взаимосвязи экономического роста с социально-экономическими параметрами и показателями цифровой экономики на базе проектирования нейронной сети; интерпретация и анализ результатов полученной модели. В статье предлагается методика оценки результатов реализации процесса перехода к цифровой экономике и его влияния на экономический рост с применением нейронных сетей. В качестве индикаторов выступают данные о достижении запланированных индикаторов программы, показатели использования цифровых технологий на региональном уровне. Предложенный методический инструментарий позволил сформировать систему оценки влияния НП «Цифровая экономика РФ» на экономический рост. Было выявлено, что внедрение цифровых технологий оказывает косвенное влияние на экономический рост, и их влияние на производительность труда не всегда оказывается мгновенным или очевидным. Но способствует возникновению такого эффекта в перспективе, основанного на взаимодействии с традиционными социально-экономическими факторами. Проведенная оценка влияния цифровой трансформации на развитие экономики региона включает факторы, предложенные в нацпрограмме «Цифровая экономика РФ». В качестве результирующего показателя, отражающего экономический рост регионов РФ, выступает валовой региональный продукт на душу населения, также проанализировано влияние нацпроекта на экономический рост при взаимодействии с экономическими и социальными факторами.

Ключевые слова: цифровая экономика, цифровая трансформация, цифровые технологии, нейронные сети, развитие экономики

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке FZUU-2023-0002 «Новая парадигма формирования хозяйственного (экономико-правового) механизма пространственного развития Российской Федерации в условиях пандемии, цифровой трансформации, локальных и глобальных вызовов».

Для цитирования: Петрова Е.А., Калинина В.В., Усачева И.В. 2025. Моделирование и оценка влияния социально-экономических факторов и цифровой трансформации на экономический рост территории на базе нейронных сетей. *Экономика. Информатика*, 52(2): 279–290. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-279-290 EDN DKDUZM

© Петрова Е.А., Калинина В.В., Усачева И.В., 2025

Modeling and Assessing the Impact of Socio-Economic Factors and Digital Transformation on the Economic Growth of a Territory Based on Neural Networks

Elena A. Petrova, Vera V. Kalinina, Irina V. Usacheva
Volgograd State University
100 Universitetskiy Ave., Volgograd 400062, Russia
ea_petrova@mail.ru, verakalinina@mail.ru, zeppelin89@mail.ru

Abstract. The study is aimed at forming methodological aspects to assess the impact of the national project "Digital Economy of the Russian Federation" on economic growth. The objectives of the study are: to assess the impact of digital transformation on the development of the region's economy, taking into account the analysis of the implementation of the national program "Digital Economy of the Russian Federation"; to create a model of the relationship between economic growth and socio-economic parameters and indicators of the digital economy based on the design of a neural network; and to provide interpretation and analysis of the results of the model obtained. The article proposes a methodology for assessing the results of transition to the digital economy and its impact on economic growth using neural networks. Data on the use of various digital technologies at the regional level serve as indicators. The proposed methodological tools make it possible to form a system for assessing the impact of the NP "Digital Economy of the Russian Federation" on economic growth. The study reveals that the introduction of digital technologies has an indirect impact on economic growth, and their influence on labor productivity is not always instantaneous or obvious, though it contributes to the emergence of such an effect in the long term, based on interaction with traditional socio-economic factors. Assessment of the impact of digital transformation on the region's economy development includes the factors proposed in the national program "Digital Economy of the Russian Federation". The resulting indicator reflecting the economic growth of the regions of the Russian Federation is the gross regional product per capita. The authors also analyze the impact of the national project on economic growth in interaction with economic and social factors.

Keywords: digital economy, digital transformation, digital technologies, neural networks, economic development

Acknowledgements: The study was carried out with the financial support of FZUU-2023-0002 “New paradigm for the formation of an economic (economic and legal) mechanism for territorial development of the Russian Federation in the context of a pandemic, digital transformations, local challenges and challenges”.

For citation: Petrova E.A., KalininaV.V., Usacheva I.V. 2025. Modeling and Assessing the Impact of Socio-Economic Factors and Digital Transformation on the Economic Growth of a Territory Based on Neural Networks. *Economics. Information technologies*, 52(2): 279–290 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-279-290 EDN DKDUZM

Введение

На современном этапе цифровая трансформация является одним из основных факторов экономического роста и социальных преобразований как на государственном, так и на региональном уровне управления. Ее основные цели заключаются в повышении эффективности взаимодействия между гражданами, бизнесом и государством за счет применения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), что в конечном итоге направлено на улучшение благосостояния населения и стимулирование экономического развития.

Глобальное распространение цифровых технологий сформировало новую «цифровую экономику», которая определяет контуры современной мировой экономики. Однако единое универсальное определение этого понятия пока отсутствует. Цифровая экономика представляет собой систему экономических отношений, возникающих при производстве, распределении, обмене и потреблении материальных и нематериальных благ, где использование цифровых технологий обеспечивает значительный вклад в экономический

рост. Параллельно также развивается концепция цифровой трансформации экономики – процесса глубокого проникновения ИКТ во все сферы хозяйственной деятельности. Это предполагает коренные изменения в производственных процессах, разработке новых продуктов и услуг, а также в механизмах их распределения и потребления, что полностью преображает экономическую систему в целом.

Законодательные документы, принятые на государственном и региональном уровне, содержат ключевые направления в рамках достижения целей цифровой трансформации, к их числу относятся: Стратегия развития информационного общества в РФ на 2017–2030 годы [Указ президента…, 2017], Программа «Цифровая экономика РФ» [Программа "Цифровая экономика…, 2017], Стратегия цифровой трансформации экономики, социальной сферы и государственного управления в Волгоградской области [Стратегия в области цифровой трансформации…, 2021]. В этих документах подчеркивается, что информация в цифровом формате играет важную роль в развитии экономики.

Переход к цифровой экономике в России требует систематического планирования и разработки концептуальных и методологических основ для оценки достигнутого уровня развития. В научных исследованиях активно изучаются вопросы цифровой трансформации и развития цифровой экономики на региональном уровне [Батракова, 2019; Ларин и др., 2020]. Проводятся работы по созданию индикаторов и методик анализа показателей цифровизации регионов [Архипова, Сиротин, 2019], определению приоритетов развития регионов в соответствии с законодательством РФ [Асалиева, 2022]. Особое внимание уделяется готовности регионов к трансформации и составлению рейтингов их глубины прогресса [Писарев, 2022], а также влиянию цифровизации на региональное развитие [Земцов, 2021]. Отмечается дифференциация регионов по внедрению ИКТ [Потапова, 2020]. Потаповой О.А. предложена авторская методика классификации регионов по степени их содействия цифровизации, хотя практическое применение этой методики еще не реализовано.

Таким образом, проведение теоретической и эмпирической исследовательской работы в области цифровой экономики требует учета региональной специфики, опоры на государственные цели и выявления локальных проблем при реализации стратегий трансформации. В этой связи становится важным разработка методов и подходов для мониторинга прогресса цифровой трансформации экономики региона, где в качестве индикаторов можно исследовать данные об использовании различных цифровых технологий на региональном уровне.

Материалы и методы

Оценивать влияние цифровой трансформации на развитие экономики региона целесообразно с учетом анализа реализации нацпрограммы «Цифровая экономика РФ». В данном аспекте, в настоящем исследовании, в качестве результирующего показателя, отражающего экономический рост регионов РФ, является валовой региональный продукт на душу населения. Однако данный показатель критикуется за запоздалый расчет Росстатом на два года [Гранберг, Зайцева, 2003, Петрова и др., 2020.]. Также показатель не отражает вклад отдельных отраслей в итоговое значение ВРП. Вопреки недостаткам, анализ ВРП служит ориентиром для разработки эффективных государственных программ, направленных на развитие и поддержку регионов, а также снижение их неравенства.

В качестве факторов, влияющих на экономический рост, взяты целевые индикаторы программы «Цифровая экономика РФ», доступные в разрезе субъектов РФ. Статистические данные по национальным проектам доступны на портале Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [Национальная программа «Цифровая экономика», 2025].

Стоит упомянуть, что сами по себе цифровые технологии влияют на экономический рост косвенно, что подтверждается «парадоксом Солоу», согласно которому существует множество факторов, влияющих на экономический рост и не имеющих отношения к

специфике информационной экономики [Gadrey, 2003.]. Поэтому было решено рассмотреть влияние нацпроекта на экономический рост при взаимодействии с экономическими и социальными факторами. Таким образом, комплекс факторных показателей в рамках исследования разделен на 3 группы (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Показатели для анализа влияния национальной программы «Цифровая экономика РФ» на экономический рост
Indicators for the analysis of the national program "Digital Economy of the Russian Federation" on economic growth

Название показателен	Обозначение
Валовой региональный продукт на душу населения	Y
Показатели нацпроекта «Цифровая экономика»	
Количество государственных (муниципальных) служащих и работников учреждений, прошедших обучение компетенциям в сфере цифровой трансформации государственного н муниципального управления	X11
Доля массовых социально значимых государственных н муниципальных услуг в электронном виде, предоставляемых с использованием ЕПГУ. от общего количества таких услуг, предоставляемых в электронном виде	XI2
Уровень удовлетворенности качеством предоставления массовых социально значимых государственных и муниципальных услуг в электронном виде с использованием ЕПГУ	X13
Доля зарегистрированных пользователей ЕПГУ. использующих сервисы ЕПГУ в текущем году в электронном виде, от общего числа зарегистрированных пользователей ЕПГУ	X14
Доля обращений за получением массовых социально значимых государственных и муниципальных услуг в электронном виде с использованием ЕПГУ без необходимости личного посещения органов государственной власти, органов местного самоуправления и многофункциональных центров от общего количества таких услуг	X15
Доля расходов на закупки и (или) аренду отечественного ПО и платформ от общих расходов на закупку или аренду ПО	X16
Количество госуслуг, предоставляемых органами государственной власти в реестровой модели и (или) в проактивном режиме с предоставлением результата в электронном виде на ЕПГУ	X17
Количество реализованных на базе единой платформы сервисов обеспечения функций органов государственной власти и органов местного самоуправления, в том числе типовых функций	X18
Экономические показатели	
Инвестиции в основной капитал	X21
Коэффициент обновления основных фондов	X22
Уровень занятости населения	X23
Внутренние затраты на научные исследования и разработки	X24
Социальные показатели	
Численность населения	X31
Выпуск бакалавров, специалистов, магистров	X32
Численность населения на одну больничную койку	X33
Мощность амбулаторно-поликлинических организаций	X34

Источник: сост. авт.

Нейронные сети на сегодняшний день являются одним из самых востребованных и действенных инструментов интеллектуального анализа данных. Эти самообучающиеся модели, которые имитируют работу человеческого мозга, способны сами анализировать вновь поступающую информацию. Рост интереса к этой технологии искусственного интеллекта

охватывает все более широкий круг пользователей. В результате искусственные нейронные сети (ИНС) активно внедряются в сферы экономики и финансов как инструмент поддержки принятия управленческих решений. В отличие от традиционных моделей, искусственные нейронные сети (ИНС) вносят интеллектуальный элемент в процесс моделирования. Они обладают способностью к самостоятельному обучению и функционированию на основе накопленного опыта, что позволяет им допускать меньше ошибок [Курочкина и др., 2017].

Главным преимуществом нейронных сетей является их способность эффективно моделировать нелинейные зависимости, что позволяет более точно описывать данные по сравнению с линейными статистическими методами.

Результаты и обсуждение

Для исследования взаимосвязи экономического роста с социально-экономическими параметрами и показателями цифровой экономики в качестве инструмента проектирования нейронной сети была использована платформа Deductor Studio. Она способствует решению задач прогнозирования, классификации, выявления скрытых закономерностей, сжатия данных и многих других задач. Данный инструмент предоставляет возможность задать структуру нейронной сети, определить необходимые параметры и обучить модель с использованием одного из доступных в системе алгоритмов.

На первом шаге импортируем данные в программу (рис. 1).

Регионы	Y	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X21	X22	X23	X24	X31
Белгородская область, 2021	881700,6	0,24	98,78	3,84	59,77	18,4	28	81	75	165672	7,8	61	3953,9	1532
Белгородская область, 2022	859545,1	0,24	100	4,69	51,4	79,75	99,9	90	75	193558	9,1	61,3	4348,2	1514,5
Брянская область, 2021	398618,6	0,23	91,14	3,8	61,81	15	25	72	25	81337	9,3	56,8	351,3	1169
Брянская область, 2022	474159,6	0,09	100	3,94	55,43	90,7	90	87	52	87395	8,3	56,5	952,8	1152,5
Владимирская область, 2021	552811,2	0,08	78,67	4,2	67,59	17	25	59	58	103846	7,9	59,3	4371,9	1324
Владимирская область, 2022	585131,4	0,09	100	0	61,78	30	99	85	64	179369	7,3	61,5	4748,3	1325,5
Воронежская область, 2021	546328,8	0,11	98,75	4,18	59,37	23,7	95,65	79	70	285892	6,8	57,6	11108,2	2287
Воронежская область, 2022	600596	0,13	100	4,12	52,26	33,24	96	89	70	344140	7,3	58,5	11220,1	2285,3
Ивановская область, 2021	306144,5	0,1	88,31	3,81	69,64	28,2	98,34	68	53	44981	5,1	59,7	873,9	977
Ивановская область, 2022	395919,8	0,14	100	3,95	61,55	30,02	99,6	88	53	59451	4,8	60,1	879	914,7
Калужская область, 2021	659590,9	0,11	97,4	4,17	66,82	23,5	94,42	75	57	128508	7,1	62	7050,9	1013
Калужская область, 2022	647307,2	0,09	100	4,08	58,77	33,09	94,9	86	57	135812	7,7	61,4	9248,4	1070,9
Костромская область, 2021	386694,8	0,07	97,47	4,2	59,44	25,7	92,7	77	63	42743	5,7	56,4	85	621
Костромская область, 2022	480119,7	0,07	100	4,14	54,1	32,3	100	87	63	36902	8,6	57,1	84,9	571,9
Курская область, 2021	627320,6	0,09	100	4,1	56,04	26,45	93,1	70	65	193352	11,8	58,6	3800,5	1083
Курская область, 2022	620432,2	0,09	100	4,24	51,96	58	62	87	65	202597	11,2	58,4	3414,4	1067
Липецкая область, 2021	752926	0,12	97,3	3,8	61,65	15	25	72	24	179400	9,9	60	741,5	1114
Липецкая область, 2022	700248,9	0,08	100	4,2	55,27	63	99	88	24	166200	8,1	60,7	1694,1	1126,3
Московская область, 2021	882875,6	0,51	100	4,5	72,62	88,9	93,8	69	0	1144660	10,3	62,8	151200,7	7769
Московская область, 2022	901231	0,31	100	4,3	65,32	92,9	100	89	0	1329379	8,7	63,1	174569,1	8591,7
Орловская область, 2021	468018,5	0,07	79,76	4,19	58,69	71,4	94	67	56	60612	9	53,8	701,7	714
Орловская область, 2022	524570,9	0,07	100	4,1	50,52	35,9	94	82	56	60551	7,9	53,9	900,8	700,3
Рязанская область, 2021	487276,4	0,11	100	4,07	64,98	21,9	95,22	78	72	73886	4,8	53,1	1563,8	1085
Рязанская область, 2022	566113	0,09	100	3,9	57,61	33	95,77	86	72	93396	4,7	54,9	2360,5	1088,9
Смоленская область, 2021	460597	0,13	100	3,92	64,2	52,1	91	77	47	70327	6,9	57,2	2002,8	910
Смоленская область, 2022	549222,4	0,1	100	3,9	58,16	45,7	99,56	86	47	64905	4,7	59,2	1890,1	873
Тамбовская область, 2021	434612,8	0,06	81,69	3,8	50,03	15	25	58	25	79397	5,9	55,8	1014,1	981
Тамбовская область, 2022	487060,1	0,06	100	3,9	44	71	0	78	60	84983	6	57	1031,2	966,3
Тверская область, 2021	448417,6	0,07	84	4,09	67,08	24,71	98,57	63	48	84293	4	58,5	4668,4	1230
Тверская область, 2022	516488,8	0,1	100	4,06	59,25	72	100	82	48	88853	3,9	58,4	5269	1211,2
Тульская область, 2021	602298,1	0,25	100	4,17	66,88	68,48	81	78	48	182297	8,7	60,7	8450,2	1433
Тульская область, 2022	674432	0,11	100	4,3	58,69	69,02	93	88	48	212315	10,9	61,2	7634,4	1481,5

Рис. 1. Фрагмент таблицы с импортированными в Deductor Studio наблюдениями
Fig. 1. Fragment of a table with observations imported into Deductor Studio

Значения данной выборки включают данные по 85 регионам РФ за 2021, 2022 года и составляют 170 строк.

Далее строится нейронная сеть, в ходе чего указываются входные и выходные переменные: показатели X11-X34 являются входными, а Y – выходной переменной. В исходном наборе среди данных выделены два множества, большая часть которого является обучающим и меньшая – тестовым. Для обучающего множества определено 95 %, для тестового – 5 %. Множество наблюдений содержит 170 примеров. В хорошо обученной нейронной сети количество связей составляет одну треть от общего числа примеров. Таким образом не сложно вычислить общее количество связей в сети: оно составляет следующее соотношение: 170/3 = 56,67. В данном исследовании в обучающем наборе данных содержится 16 входных и один выходной параметр, это соответствует 16 входным и одному выходному

нейрону. Если предположить наличие одного скрытого слоя, для него представляется возможным установить следующее соответствие (1):

$$16 \times t + 1 \times t = 57, \quad (1)$$
$$17 \times t = 57,$$

откуда t = 3,35, где t – число нейронов в скрытом слое.

Данное соотношение показало, что такая нейросеть, характеризующаяся заданными параметрами, должна содержать 4 нейрона в скрытом слое. Эта информация является основной для настройки структуры нейронной сети.

Для обучения нейронной сети применяется алгоритм RProp, основанный на «обучении по эпохам», в рамках которого корректировка весов происходит после обработки сети всех примеров.

В результате получено визуальное отображение обученной нейронной сети, структура которой состоит из 16 входных нейронов, 4 нейронов в скрытом слое и одного выходного нейрона (см. рис. 2).

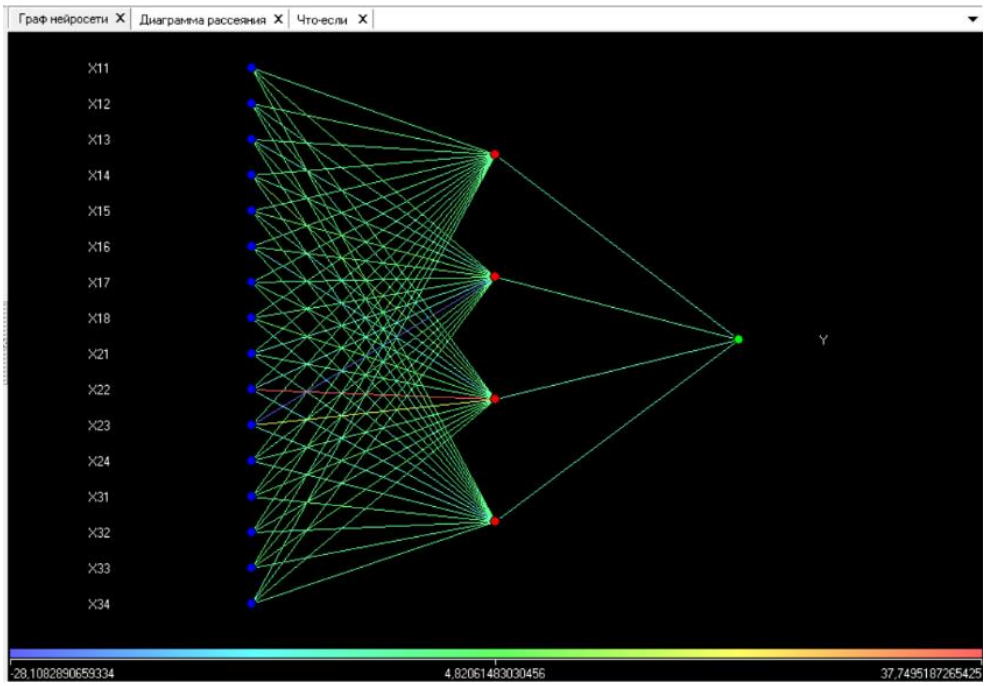


Рис. 2. Граф сформированной нейронной сети
Fig. 2. Graph of a formed neural network

Примечание. Расчеты авторов.

Результат эффективного обучения нейронной сети можно проанализировать на диаграмме рассеивания, которая показывает, что ошибка прогнозных значений больше заданного (0,05) (см. рис. 3).

Результаты прогнозирования формируются с использованием инструмента «Что-если». Он позволяет ввести данные для региона и получить прогноз значения ВРП на душу населения. В качестве примера интерпретации результатов построенной модели для прогнозирования значений ВРП, проанализируем данные по Волгоградской области.

На рис. 4–5 представлены данные по Волгоградской области за 2021 и 2022 годы. Фактическое значение валового регионального продукта на душу населения в 2021 г. 427068,8 руб. оказалось меньше спрогнозированного значения 491186,6 руб., которое больше на 64 117,8 руб. или 15 %. Такая же ситуация с последующим годом, где прогнозируемое значение выходного поля 622441,05 руб. выше реального 512753,42 руб. на 21 %.

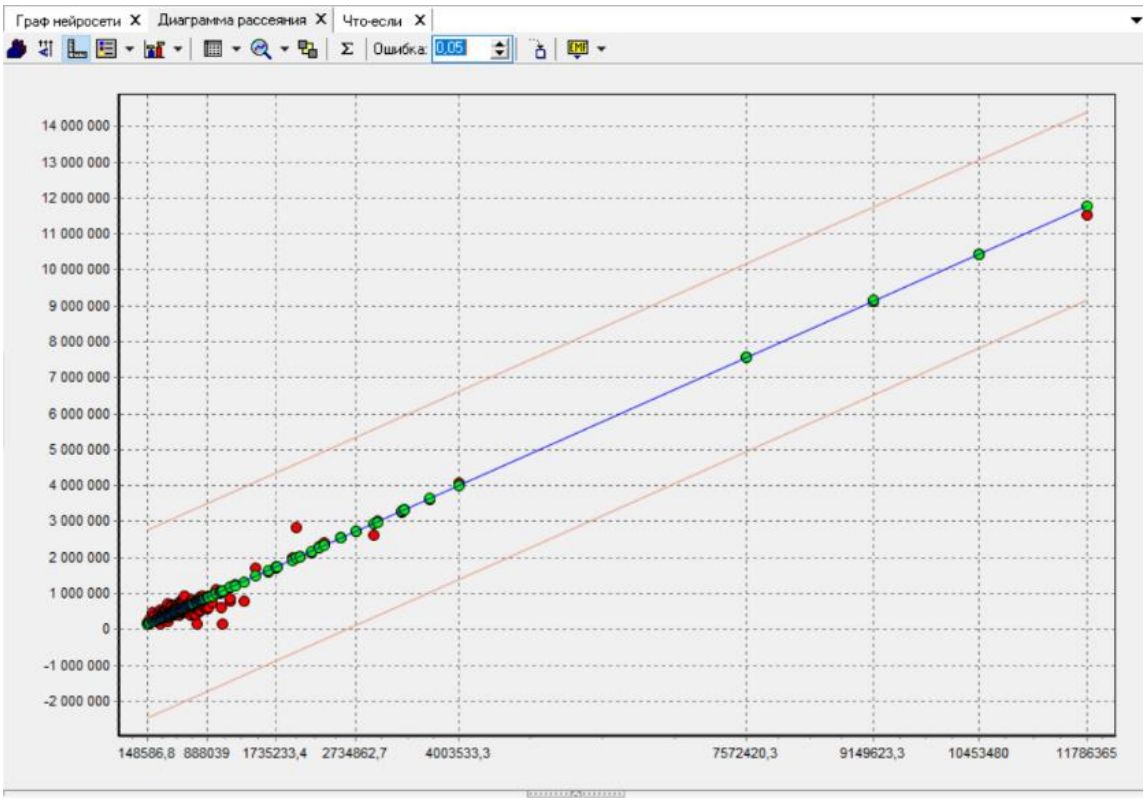


Рис. 3. Диаграмма рассеивания со значением ошибки 0,05
Fig. 3. Scattering diagram with an error value of 0.05

Примечание. Расчеты авторов.

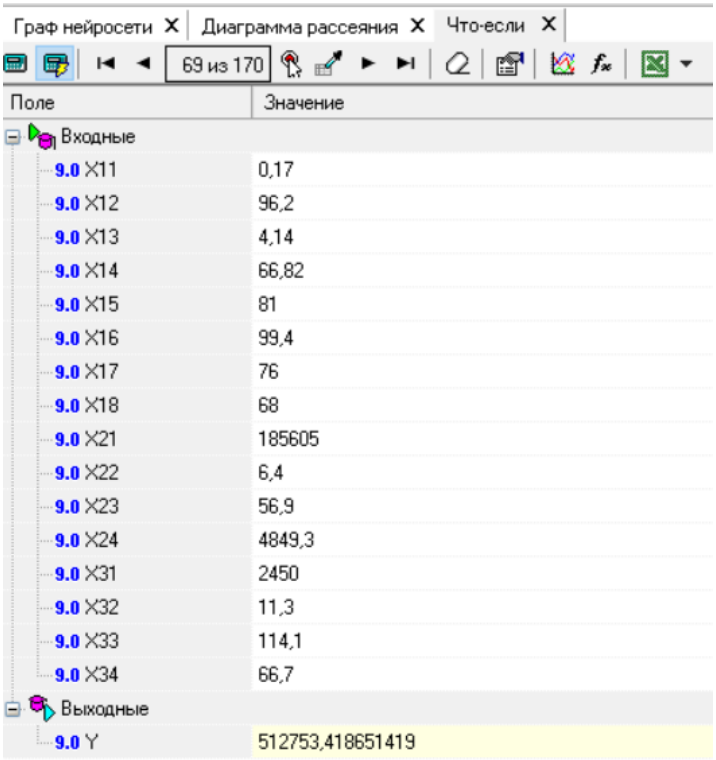


Рис. 4. Инструмент «Что-если» для Волгоградской области в 2021 г.
Fig. 4. The "What-if" tool for the Volgograd Region in 2021

Примечание. Расчеты авторов

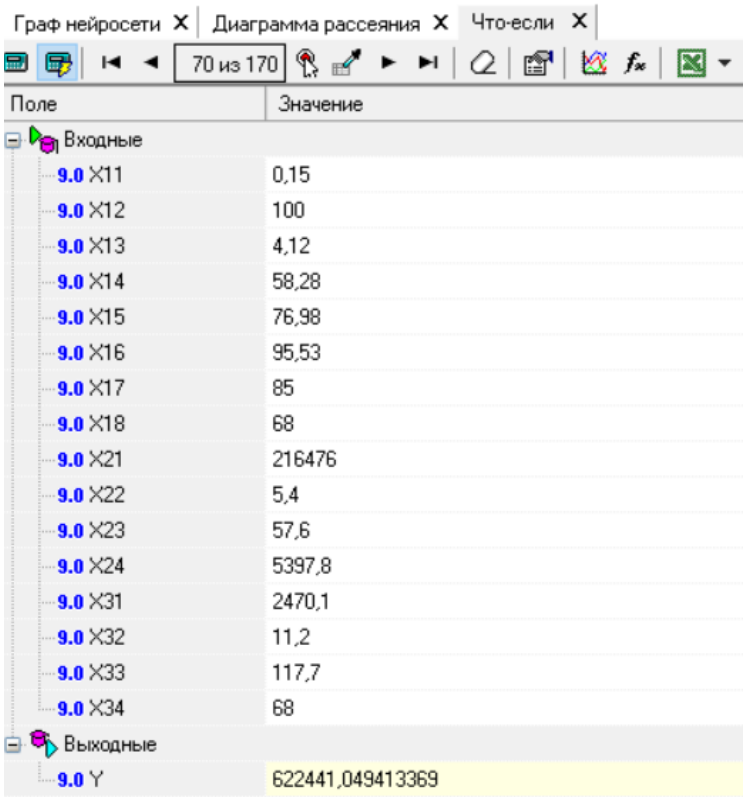


Рис. 5. Инструмент «Что-если» для Волгоградской области в 2022 г.
Fig. 5. The "What-if" tool for the Volgograd Region in 2022

Примечание. Расчеты авторов.

На рис. 6 на примере Волгоградской области в 2021 г. можно заметить положительную линейную корреляцию между переменной X11 и Y, т. е. увеличение количества госслужащих и работников учреждений, прошедших обучение в сфере цифровой трансформации, положительно влияет на экономическое положение региона.

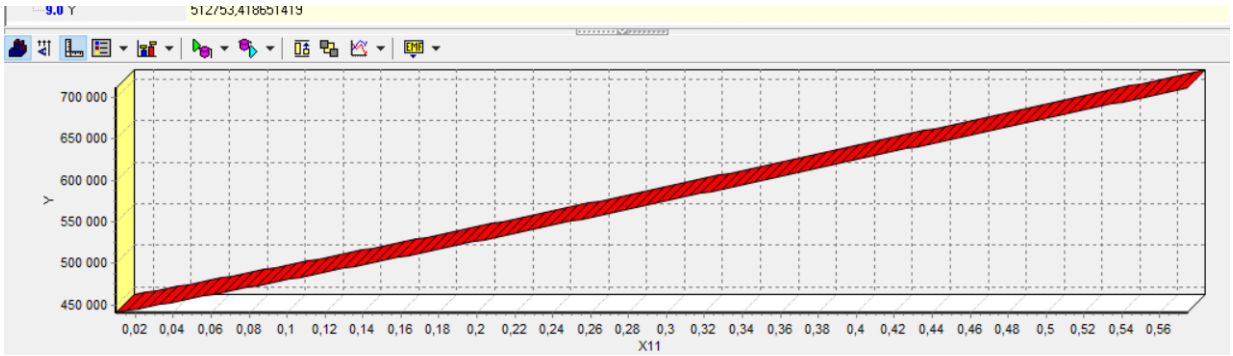


Рис. 6. График зависимости Y от X11 для Волгоградской области в 2021 г.
Fig. 6. Graph of Y versus X11 dependence for the Volgograd Region in 2021

Примечание. Расчеты авторов.

На графике взаимосвязи Y и X14 (рис. 7), напротив, наблюдается обратная зависимость переменных. Возможно, увеличение доли зарегистрированных пользователей ЕПГУ в регионе не приносит ожидаемых результатов.

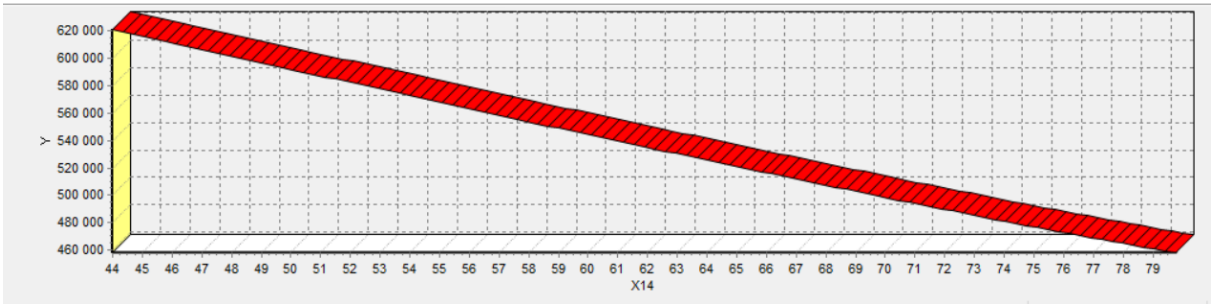


Рис. 7. График зависимости Y от X14 для Волгоградской области в 2021 г.
Fig. 7. Graph of the dependence of Y on X14 for the Volgograd region in 2021

Примечание. Расчеты авторов.

Рис. 8 демонстрирует, что постепенное увеличение инвестиций в основной капитал приводит к увеличению ВРП на душу населения. Это отражает экономическую значимость инвестиций и их положительное воздействие на развитие области.

Взаимосвязь Y и X23 на рис. 9 показывает, что увеличение уровня занятости населения связано с увеличением ВРП на душу населения. Этим подчеркивается важность занятости как фактора роста экономики.

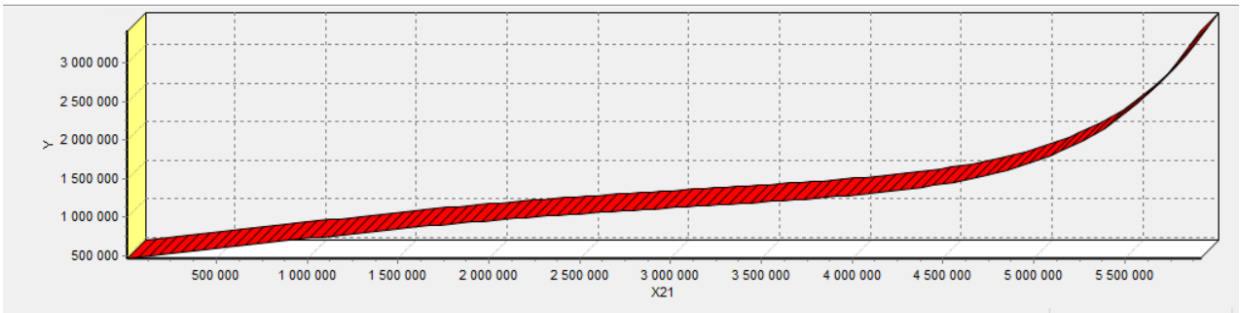


Рис. 8. График зависимости Y от X21 для Волгоградской области в 2021 г.
Fig. 8. Graph of the dependence of Y on X21 for the Volgograd region in 2021

Примечание. Расчеты авторов.

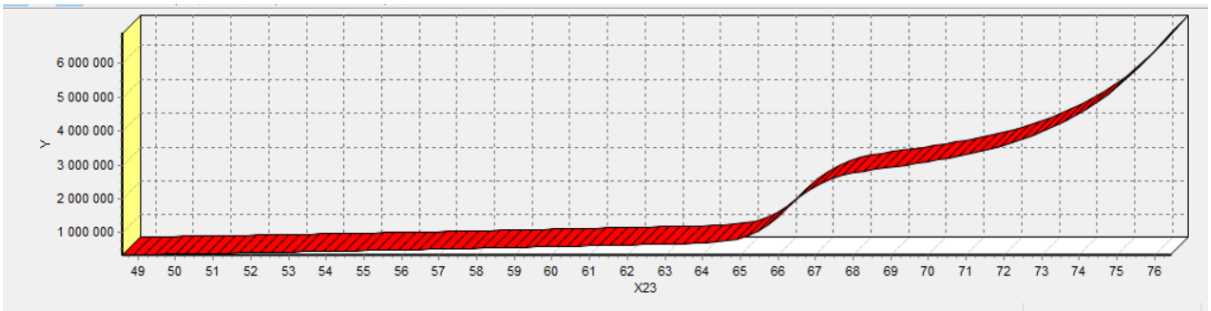


Рис. 9. График зависимости Y от X23 для Волгоградской области в 2021 г.
Fig. 9. Graph of Y versus X23 dependence for the Volgograd Region in 2021

Примечание. Расчеты авторов.

С увеличением выпуска бакалавров, специалистов и магистров ВРП на душу населения снижается (рис. 10). Это может говорить о том, что количество выпускников не всегда трансформируется в экономическую активность или что выпускники не находят достойную работу, что негативно сказывается на ВРП.

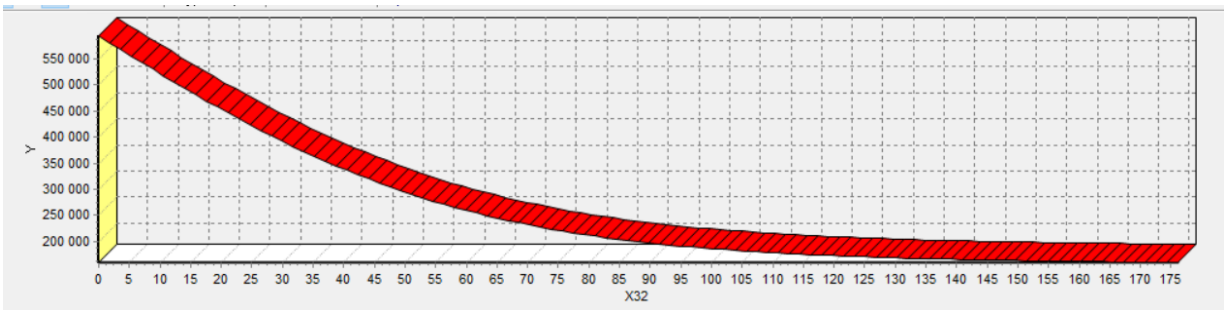


Рис. 10. График зависимости Y от X32 для Волгоградской области в 2021 г.
Fig. 10. Graph of Y versus X32 dependence for the Volgograd Region in 2021

Примечание. Расчеты авторов.

В целом нейронная сеть как аппарат углубленного анализа данных охватывает исследование более широко, т. к. строится на всех наблюдениях и включает показатели, которые были исключены в ходе корреляционно-регрессионного анализа. Гибкость нейросети делает ее особенно подходящей для задач, где отношения между переменными сложно определить с помощью простых линейных моделей. ИНС не требует предварительного отбора признаков и адаптируется к выбросам, тем самым превосходя традиционные подходы к анализу данных.

Заключение

Таким образом, предложенный методический инструментарий позволил сформировать систему оценки влияния НП «Цифровая экономика РФ» на экономический рост. Примененные нейросетевые методы анализа данных подтверждают высказывание американского экономиста XX века Р. Солоу, известное как «парадокс Солоу», когда, несмотря на широкое внедрение компьютеров и других информационных технологий в различные сферы производственной деятельности, общий уровень производительности, измеряемый с помощью статистики, не показывал заметного роста. Внедрение цифровых технологий оказывает косвенное влияние на экономический рост, и их влияние на производительность труда не всегда оказывается мгновенным или очевидным. Но способствует возникновению такого эффекта в перспективе, основанного на взаимодействии с традиционными социально-экономическими факторами.

Список источников

Указ Президента Российской Федерации "Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы" от 09.05.2017 № 203 // http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919.

Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации", Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: https://www.fedstat.ru/indicators/search?searchText= %D0 %A6 %D0 %B8 %D1 %84 %D1 %80 %D0 %BE %D0 %B2 %D0 %B0 %D1 %8F+ %D1 %8D %D0 %BA %D0 %BE %D0 %BD %D0 %BE %D0 %BC %D0 %B8 %D0 %BA %D0 %B0# (дата обращения: 05 апреля 2025).

Стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Волгоградской области от 18 августа 2021 года № 167.

Программа "Цифровая экономика Российской Федерации" от 28 июля 2017 г. № 1632-р, URL: http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf.

Список литературы

Архипова М.Ю., Сиротин В.П. 2019. Региональные аспекты развития информационно-коммуникационных и цифровых технологий в России. *Экономика региона*, 15 (3): 670–683.

Асалиева З.А. 2022. Приоритеты цифрового развития регионов Российской Федерации. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*, 6: 78–88.

Батракова Л.Г. 2019. Развитие цифровой экономики в регионах России. *Социально-политические исследования*, 1: 51–64.

Гранберг А.Г., Зайцева Ю.С. 2003. Валовой региональный продукт: межрегиональные сравнения и динамика. М.: СОПС, 116.

Земцов С.П. 2021. Новые технологии и развитие регионов в современных условиях. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 3(51): 196–207.

Курочкина И.П., Калинин И.И., Маматова Л.А., Шувалова Е.Б., 2017. Метод нейронных сетей в моделировании финансовых показателей компании. *Статистика и экономика,* 14(5): 33–41.

Ларин С.Н., Соколов Н.А., Хрусталев Е.Ю. 2020. Анализ развития основных направлений цифровизации российской экономики. *Научный журнал КубГАУ,* 161(07), URL: http://ej.kubagro.ru/2020/07/pdf/25.pdf. (дата обращения: 05 апреля 2025).

Петрова Е.А., Бондаренко П.В., Шипилева А.В. 2020. Методические подходы к оценке влияния информационных технологий на экономический рост в регионах России. *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика*, 22(1): 23–34.

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.

Потапова О.А. 2020.Новые подходы к классификации регионов в условиях перехода к цифровой экономике. *Московский экономический журнал*, 6: 208–215.

Gadrey J. 2003. New Economy. New Myth: Psychology Press, 29.

References

Arkhipova M.Yu., Sirotin V.P. 2019. Regional aspects of the development of information, communication and digital technologies in Russia, *The economy of the region*, 15(3): 670–683 (in Russian).

Asalieva Z.A. 2022. Priorities of Digital development of the Regions of the Russian Federation, *Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics*, 6: 78–88 (in Russian).

Batrakova L.G. 2019. Development of the digital economy in the regions of Russia, *Socio-political studies*, 1: 51–64 (in Russian).

Granberg A.G., Zaitseva Y.S. 2003. Gross regional product: interregional comparisons and dynamics, M.: SOPS, 116 (in Russian).

Zemtsov S.P. 2021. New technologies and development of regions in modern conditions, *Journal of NEA*, 3 (51): 196–207(in Russian).

Kurochkina I.P., Kalinin I.I., Mamatova L.A., Shuvalova E.B. 2017. Neural network method in modeling financial indicators of a company, *Statistics and Economics*, 5: 33–41 (in Russian).

Larin S.N. and others. 2020. Analysis of the development of the main directions of digitalization of the Russian economy, *KubGAU Scientific Journal*, 161(07), available at: http://ej.kubagro.ru/2020/07/pdf/25.pdf. (accessed 1 April 2025) (in Russian).

Petrova, E.A., Bondarenko P.V., Shipileva A.V. 2020. Methodological approaches to assessing the impact of information technology on economic growth in Russian regions, *Bulletin of Volgograd State University. Econom*y. 22(1): 23–34 (in Russian).

Pisarev I.V., Exev V.I., Panteleeva I.A., Parfentieva K.V. 2022. The study of the readiness of Russian regions for digital transformation, *π-Economy*, 15: 22–37. (in Russian).

Potapova O. 2020. New approaches to classification of regions under conditions of transition to digital economy, *Moscow Economic Journal*, 6: 208–215 (in Russian).

Gadrey J. 2003. New Economy. New Myth: Psychology Press, 29.

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 | Received May 06, 2025
Поступила после рецензирования 30.05.2025 | Revised May 30, 2025
Принята к публикации 09.06.2025 | Accepted June 09, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Калинина Вера Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной информатики и математических методов в экономике, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

Усачева Ирина Витальевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной информатики и математических методов в экономике, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Vera V. Kalinina, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics, Volgograd State University, Volgograd, Russia

Irina V. Usacheva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics, Volgograd State University, Volgograd, Russia

УДК 332.13
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-291-305
EDN CZFEFF

Трансформация теоретических подходов к территориальному капиталу региона: отечественный и зарубежный опыт

Соловей Ю.А.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
1134971@bsuedu.ru

Аннотация. Территориальный капитал играет ключевую роль в формировании и развитии пространственной структуры регионов. Этот ресурс выступает эффективным инструментом решения множества региональных проблем, способствуя их устойчивому развитию. Несмотря на растущую актуальность темы, теоретическая база территориального капитала требует дальнейшего изучения и развития. Существенный научный пробел в исследовании данного феномена делает особенно важным анализ эволюции теоретических концепций, связанных с территориальным капиталом регионов. Недостаточная разработанность данной проблематики в научной литературе создает предпосылки для углубленного исследования теоретических основ территориального капитала и его роли в региональном развитии. Это открывает широкие перспективы для новых научных изысканий в данной области. Комплексное изучение трансформации теоретических подходов к пониманию территориального капитала представляется крайне актуальным для современной региональной науки и практики территориального управления. Целью данного исследования является интерпретация теоретических аспектов территориального капитала, а именно выявление его характеристик и признаков, которые способствуют пространственному развитию. Анализ территориального капитала осуществлялся посредством комплексного изучения его структурных компонентов в сочетании с исследованием имеющегося научного материала как в российской, так и в зарубежной теоретической базе. Работа строилась на фундаменте уже существующих теоретических разработок в сочетании с анализом структурных элементов изучаемого феномена. Проведенное исследование трансформации теоретических подходов к территориальному капиталу региона, основанное на анализе как отечественного, так и зарубежного опыта, позволило получить значимые научные результаты. Полученные результаты существенно расширяют теоретическую базу понимания территориального капитала и вносят существенный вклад в развитие данной научной области. Исследование не только систематизировало существующие подходы, но и выявило новые закономерности в развитии концепции территориального капитала.

Ключевые слова: регион, территориальный капитал, конкурентоспособность региона, пространственное развитие, концепция

Для цитирования: Соловей Ю.А. 2025. Трансформация теоретических подходов к территориальному капиталу региона: отечественный и зарубежный опыт. *Экономика. Информатика*, 52(2): 291–305. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-291-305 EDN CZFEFF

Transformation of Theoretical Approaches to the Territorial Capital of the Region: Domestic and Foreign Experience

Julia A. Solovey
Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
1134971@bsuedu.ru

Abstract. Territorial capital plays a key role in the formation and development of the spatial structure of regions. This resource is an effective tool for solving many regional problems, contributing to their sustainable development. Despite the growing relevance of the topic, the theoretical basis of territorial capital requires

© Соловей Ю.А., 2025

further study and development. A significant scientific gap in the study of this phenomenon makes it especially important to analyze the evolution of theoretical concepts related to the territorial capital of regions. Insufficient development of this issue in the scientific literature creates prerequisites for an in-depth study of the theoretical foundations of territorial capital and its role in regional development. This opens up broad prospects for new scientific research in this area. A comprehensive study of the transformation of theoretical approaches to understanding territorial capital seems extremely relevant for modern regional science and practice of territorial management. The purpose of this study is to interpret the theoretical aspects of territorial capital, namely, to identify its characteristics and features that contribute to spatial development. The analysis of territorial capital was carried out through a comprehensive study of its structural components in combination with a study of the available scientific material in both Russian and foreign theoretical bases. The work was built on the foundation of existing theoretical developments in combination with the analysis of the structural elements of the phenomenon under study. The conducted study of the transformation of theoretical approaches to the territorial capital of the region, based on the analysis of both domestic and foreign experience, allowed us to obtain significant scientific results. The results obtained significantly expand the theoretical basis for understanding territorial capital and make a significant contribution to the development of this scientific field. The study not only systematized existing approaches, but also revealed new patterns in the development of the concept of territorial capital.

Keywords: region, territorial capital, competitiveness of the region, spatial development, concept

For citation: Solovey J.A. 2025. Transformation of Theoretical Approaches to the Territorial Capital of the Region: Domestic and Foreign Experience. *Economics. Information technologies*, 52(2): 291–305 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-291-305 EDN CZFEFF

Введение

В современных условиях стратегия пространственного развития России направлена на укрепление экономической базы регионов страны. Такой подход поможет устранить существующие дисбалансы во внешней торговле, где наблюдается перекос в сторону экспорта сырья и импорта готовой продукции с высокой степенью переработки, а также повысит общий уровень экономической безопасности государства. Особое значение в реализации данной стратегии будут иметь не столько регионы, расположенные у государственной границы, сколько те субъекты федерации, которые уже обладают высоким уровнем экономического развития. В связи с увеличением дефицита федерального бюджета и текущим процессом структурной перестройки экономики федеральные власти в обозримом будущем будут иметь ограниченные возможности для поддержки регионального развития. Это обстоятельство делает необходимым переход к модели развития регионов, основанной преимущественно на использовании их собственных ресурсов и потенциалов. Опираясь на Стратегию пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года [Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года], можно отметить, что она призвана максимально вовлечь пространство в достижение национальных целей с учетом необходимости эффективного использования имеющихся ресурсов. В Стратегии определены пространственные приоритеты, позволяющие сконцентрировать ресурсы из бюджетных и внебюджетных источников, в том числе в рамках национальных проектов и государственных программ, на решении ключевых задач развития, а также механизмы для обеспечения эффективности их использования. Поэтому эффективным решением данной задачи становится активное наращивание территориального капитала субъектов РФ. Такой подход к оценке региональных ресурсов не только помогает выявить конкурентные преимущества территории и определить перспективные направления для привлечения инвестиций, но и предоставляет уникальную возможность исследовать взаимосвязи между различными типами региональных активов. Более того, анализ территориального капитала позволяет выявить существующие барьеры, препятствующие экономическому развитию региона. Для определения ключевых направлений формирования территориального капитала и реализации политики по

пространственному развитию территории важно получить комплексную оценку территориальных условий для воспроизводства населения, осуществления инновационной активности, привлечению бизнеса и инвестиций в регион. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос формирования территориального капитала регионов. Целью настоящего исследования служит фундаментальный обзор, в первом приближении, основных теоретических аспектов о территориальном капитале региона в контексте научных взглядов и разработок зарубежных и отечественных исследователей.

Материалы и методы

Объектом исследования выступает концепция территориального капитала. В исследовании территориального капитала использовался комплексный метод, основанный на причинно-следственном анализе, синтезе и научной абстракции, что позволило теоретически определить его сущность. Материалами исследования выступили фундаментальные положения экономической теории в сочетании с достижениями региональной экономической науки, что позволило провести всесторонний теоретический обзор изучаемого понятия. Также к материалам относятся: Доклад ОЭСР «Территориальные перспективы» [Территориальные обзоры ОЭСР], в которых впервые была представлена концепция территориального капитала в 2001 году; официальные статистические данные о сложившейся в регионах России ситуации, предоставленные Федеральной службой государственной статистики (Росстат) [Регионы России. Социально-экономические показатели].

Результаты и их обсуждение

Исследование и ознакомление с теоретическим обзором концепций территориального капитала необходимо выполнять в первую очередь с разбора и анализа научных трудов авторов, которые заложили предпосылки и базу исследований в данной области.

За последние 70 лет значительно возрос интерес к развитию пространственных систем и их роли в территориальной конкурентоспособности. Инструменты пространственного развития стали ключевым элементом экономической практики. Цели региональных социально-экономических подсистем эволюционировали от простых к сложным, приобретая более дифференцированный характер. Базовые цели региональных социально-экономических подсистем эволюционировали, как представлено на рисунке 1.

Для раскрытия теоретико-методологических основ исследования территориального капитала региона необходимо определиться с его структурой и компонентами, его составляющими.

Истоки развития территориального капитала следует отнести к 2001 году, впервые этот термин был употреблен в 2000-е гг. Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).

Ссылаясь на пункты Доклада ОЭСР, стоит отметить, что в нем затрагиваются вопросы по поводу концепции и развития территориального капитала. Однако в нем нет четкого определения, которое бы в полной мере раскрывало сущность территориального капитала.

Каждый субъект Российской Федерации обладает собственным неповторимым набором территориальных ресурсов, которые формируют его уникальный экономический потенциал. Именно эта специфика позволяет регионам привлекать определенные типы инвестиций, наиболее соответствующие их ресурсной базе и конкурентным преимуществам. Доклад подчеркивает, что развитие территориального капитала должно стать приоритетной целью в политике управления территориями. Современные исследователи обратили внимание на эту идею и признали её значимость в нынешних условиях.

Территориальный капитал на сегодняшний день является относительно новой концепцией в пространственном развитии регионов и обладает гипотезой, которую следует трактовать следующим образом: «Каждый регион обладает своим набором уникальных

активов, характеризующихся повышенной отдачей от инвестиций и обеспечивающих более эффективное развитие регионального потенциала». Стоит отметить, что основное свое развитие этот термин получил благодаря работам итальянской школы, активно изучением ее концепции занимался итальянский ученый Р. Каманьи. Его можно считать основоположником концепции территориального капитала [Camagni, 2002].

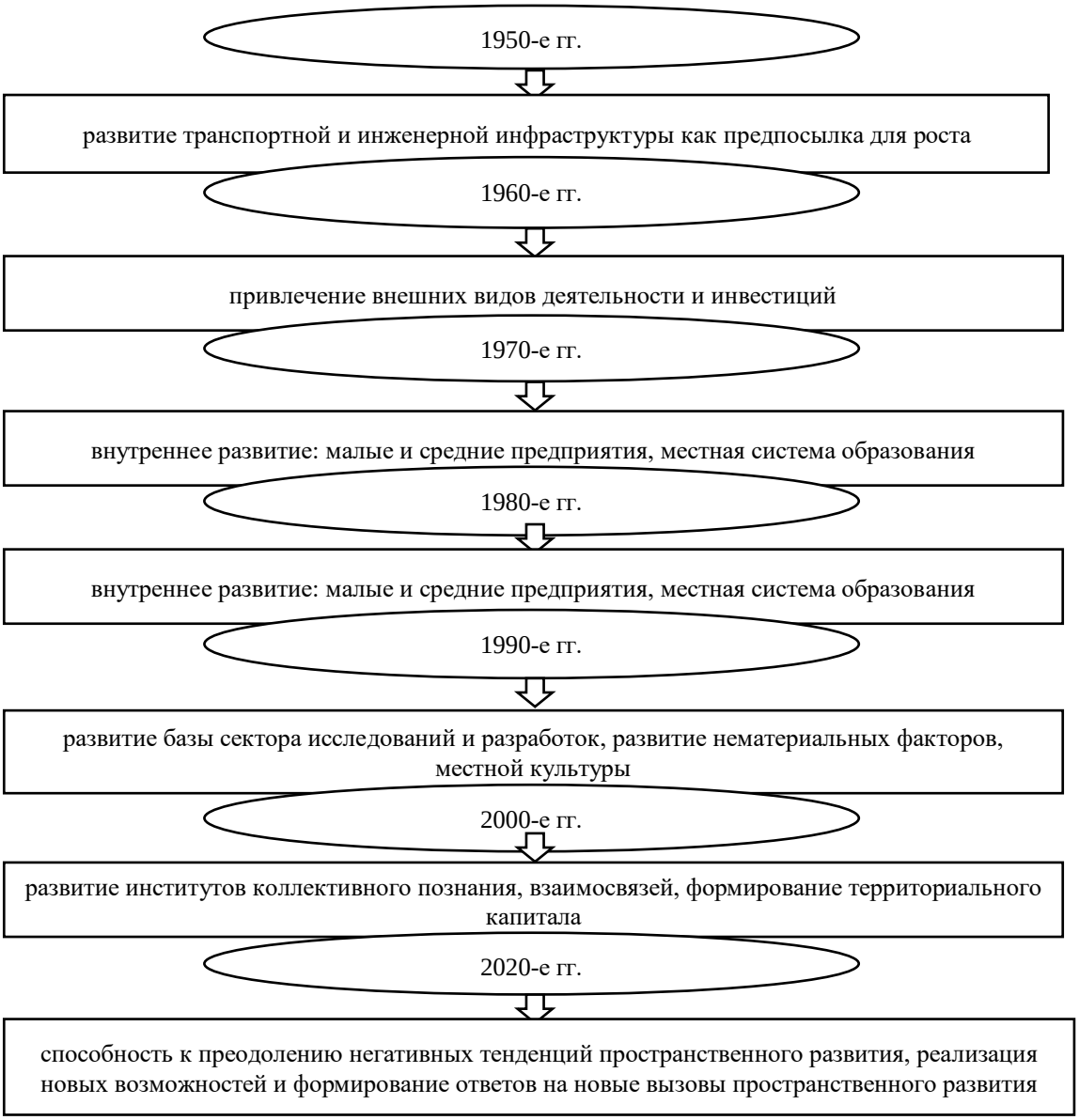


Рис. 1. Эволюция базовых целей региональных социально-экономических подсистем в контексте формирования территориального капитала (составлено автором на основе [Виолин, 2024])
Fig 1. Evolution of the basic goals of regional socio-economic subsystems in the context of territorial capital formation (compiled by the author based on [Violin, 2024])

Согласно концепции Р. Каманьи, территориальный капитал представляет собой совокупность разнообразных локализованных ресурсов, таких как природные, человеческие, культурные, организационные, социальные и интеллектуальные активы. Эти элементы в совокупности определяют конкурентные преимущества и потенциал развития конкретной территории [Camagni, 2002].

В своей модели территориального капитала он выделяет структуру, где элементы этого капитала могут быть условно размещены на двух основных направлениях (рис. 2).

Как демонстрируют данные рис. 2, элементы территориального капитала могут быть условно представлены на координатной плоскости, где одной из осей является конкуренция, а другой – «степень материальности».

Рис. 2. Структура территориального капитала по мнению Р. Каманьи
Fig. 2. The structure of territorial capital according to R. Kamanyi

Примечание. Составлено автором.

По оси конкуренции элементы территориального капитала можно разделить на вертикальную (между разными уровнями власти) и горизонтальную (между регионами одного ранга). К объекту горизонтальной линии – конкуренции следует отнести ресурсы экономического характера, а это, прежде всего: инвестиции, объекты собственности и рабочая сила. Как правило, между регионами наблюдаются конкурентные отношения по поводу материальных активов, к примеру, за наличие жителей, которые обладают престижным статусом, и тем самым создают положительный имидж той или иной территории региона.

По оси степени материальности элементы территориального капитала можно разделить на материальные (природные богатства и имеющаяся инфраструктура), нематериальные (предпринимательские способности и креативность жителей территории) и смешанные. Структура базируется на коллективных благах (ландшафты, культурный капитал), взаимодействующих через сервисную поддержку внешних связей и трансфер научных разработок. Ключевыми элементами выступают сети партнёрств, реляционный капитал (доверие, сотрудничество) и коллективные компетенции, обеспечивающие устойчивое развитие системы.

Р. Каманьи занимает ведущее место в разработке концепции территориального капитала. Его фундаментальный вклад заключается в том, что именно он впервые создал комплексную систему оценки развития данного вида капитала. В своих исследованиях он также проявил себя как первопроходец в области систематизации активов, которые составляют территориальный капитал, предложив их детальную классификацию. Не менее значимым достижением стало определение ключевых составляющих территориального капитала, что позволило сформировать целостное представление об этом экономическом феномене и заложило прочную основу для его дальнейшего изучения и практического применения. Благодаря его научным разработкам, современная экономическая наука получила мощный инструмент для анализа и оценки потенциала территорий с точки зрения их капитальных ресурсов.

Таким образом, Каманьи заложил теоретическую базу для дальнейшего изучения и развития концепции территориального капитала [Camagni, 2002].

Концепция территориального капитала породила множество классификационных подходов. Традиционно его делят на материальный и нематериальный капитал. Однако наибольшую известность получила классификация Р. Каманьи, которая помимо производственного, ресурсного и человеческого капитала включает институциональную среду, кооперационные связи и агломерационные эффекты. Эти дополнительные элементы создают условия для эффективного сетевого взаимодействия региональных участников и способствуют устойчивому развитию территории.

Роберто Каманьи, итальянский профессор экономики городов, специалист по территориальному и городскому развитию и распространению технологий и инноваций считает, что одна из первых моделей территориального капитала была разработана на основе анализа компонентов в двух основных измерениях. Первое измерение касается хозяйственных отношений, включающих в себя как общественные и частные блага, так и промежуточную категорию клубных благ. Второе измерение – это материальность, которая подразделяется на материальные блага, нематериальные активы и смешанные ресурсы. Использование матричной схемы позволило систематизировать и классифицировать источники, формирующие территориальный капитал, обеспечивая более глубокий анализ его структуры и особенностей. Такой подход стал важным инструментом для понимания того, какие элементы способствуют развитию и укреплению экономического потенциала территорий [Camagni, 2002].

Зарубежные учёные, занимавшиеся оценкой развития территориального капитала: Роберта Капелло, Андреа Каралью и Петер Нийкамп. По их мнению, доступ к уникальному территориальному капиталу (традиционная для конкретной местности предпринимательская культура, атмосфера открытости и креативности, ориентация бизнеса на поиск шансов и возможностей) и его эффективное использование обеспечивают решающий вклад в процесс роста и приводят к увеличению отдачи [Капелло, Каралью, Нийкамп, 2009].

Помимо этого, современные исследователи акцентируют внимание на существовании менее явных, но не менее важных взаимосвязей между различными аспектами и составляющими территориального капитала.

Особое значение в этом контексте придается социальному капиталу. Согласно концепции известного исследователя Патнэма, социальный капитал представляет собой совокупность человеческих связей, социальных сетей и формирующихся в них норм взаимного сотрудничества. Наличие развитой системы доверительных отношений и разветвленной сети социальных взаимодействий оказывает существенное положительное влияние на благополучие отдельных людей, развитие бизнеса и экономическое процветание регионов. Эти факторы создают прочную основу для устойчивого развития территорий и повышения их конкурентоспособности [Патнэм, 1996]. Высокий социальный капитал снижает транзакционные издержки, ускоряет внедрение инноваций и коллективное обучение, создавая основу для будущих новшеств. Напротив, недостаток доверия и сотрудничества ограничивает использование производственного и человеческого потенциала.

Необходимо отметить ещё один важный компонент территориального капитала – символический капитал. Он формируется на основе интеграции культурных, религиозных и исторических элементов, которые определяют мировоззрение, модели мышления и поведения населения, а также репутацию сообщества. Значимость взаимодействия между региональными акторами и различными формами капитала подчёркивается многими исследователями.

Нидерландский экономист Ван дер Плуг, специализирующийся в области макроэкономики, рассматривает территориальный капитал как степень интеграции различных форм капитала (диверсифицированных ресурсов), которые размещены, освоены и активно применяются в региональной экономике и обществе. Он акцентирует внимание на объёме и глубине взаимодействия между этими формами капитала, что способствует устойчивому развитию территории. [Van der Ploeg, 2008].

Ф. Вентура в своих трудах приводит следующее определение: «Территориальный капитал – это набор ресурсов, связанных с определенной территорией и доступных для тех, кто живет и работает на этой территории. Эти ресурсы (материальные и нематериальные) являются общественными благами для местного сообщества» [Ventura, 2008].

Ф. Вентура и его коллеги считают, что территориальный капитал – это запас ресурсов, характерных для определённой локации и доступных для людей, живущих и работающих на этой территории [Ventura, 2008].

Многие авторы подчёркивают роль нематериальных активов в повышении конкурентоспособности территорий. Социальный и отношенческий капитал, по мнению исследователей, играют ключевую роль в способности региона генерировать и внедрять инновации.

В работе Р. Гиффингера, специалиста Венского университета по аналитическим исследованиям городского и регионального развития, отмечается, что территориальный капитал состоит из двух основных компонентов: материальных и нематериальных активов [Giffinger, 2008].

В число основных факторов, формирующих материальные активы территориального капитала региона, исследователи включают пространственные расположение и организацию города, экономические показатели предприятий, экономическую структуру, климатические условия и природные ресурсы, человеческий капитал, инфраструктуру и градостроительные условия [Giffinger, 2008].

Нематериальные активы характеризуются как специфический социальный капитал, позволяющий реализовать конкурентную стратегию развития города, включая взаимодействие власти, бизнеса и общества, социокультурные модели конкуренции и бизнеса, а также социальные сети взаимодействий, механизмы перетока знаний в инновационном кластере и др.

Дж. Даниелевич и М. Турала предлагают проводить всестороннюю оценку различных аспектов потенциала территории. В частности, они рекомендуют учитывать экономический потенциал, который включает в себя финансовые ресурсы, масштабы и структуру рынков, а также уровень развития предпринимательства.

Помимо этого, существенную роль играет исследование социального потенциала, который охватывает человеческий капитал, социальные взаимодействия и отношение населения к экологическим вопросам. Не менее важно оценить пространственный потенциал и состояние окружающей среды, что включает культурное наследие, природные ресурсы, транспортную доступность и специфику инфраструктуры в населённых пунктах.

Также следует учитывать институциональный потенциал, который зависит от наличия эффективных сетей взаимодействия между общественными и экономическими структурами, а также от позиции и результативности органов управления [Danielewicz, Turala, 2016].

Хмелева Г.А., Тот Балаж Иштван и Костромин К.О. в статье «Механизм развития трансграничного торгово-экономического сотрудничества в контексте совершенствования территориального капитала региона» предлагают структуру территориального капитала, состоящую из ключевых «жёстких» и «мягких» компонентов. Поэтому целесообразно таким образом представлять структуру территориального капитала. Опишем каждый из них более подробно.

Группа «жёстких» компонентов группирует категории традиционных и общественных благ, которые формируют основу инвестиционной привлекательности региона и повышают его конкурентоспособность. В качестве примера можно привести к этой категории компонентов следующее: производственную систему, производственную и социальную инфраструктуру, природные и культурные ресурсы (географический ландшафт и капитал культурного наследия).

К «мягким» компонентам относятся человеческий, социальный и креативный капитал. Кроме того, рассматривая группу «мягких» компонентов, выделяют такой термин как пространственный капитал, под которым следует понимать выгоды экономического

характера, благодаря которым территория обретает соответствующую оценку за счет своего месторасположения [Хмелева, 2023].

Рассматривая точки зрения итальянских исследований, стоит отметить, что они территориальный капитал рассматривают как категорию, которая основана на уникальности месторасположения, и за счет этого формирует большую привлекательность для привлечения инвестиций, что создает задачу разработки соответствующих стратегий территориального развития в долгосрочной перспективе.

В российской научной литературе концепция территориального капитала освещена гораздо менее подробно по сравнению с зарубежными исследованиями. Как отмечает известный российский экономист Л.И. Абалкин, в отечественной практике термин «территориальный капитал» часто рассматривается как аналог «регионального капитала». Под этим понятием подразумевается совокупная стоимость активов и ресурсов, созданных человеком и локализованных на определённой территории, которые способны приносить доход и вовлекаться в процессы производства товаров и услуг [Абалкин, 1999].

В своём исследовании М.П. Васильев предлагает проводить комплексную оценку различных факторов, локализованных на конкретной территории. В частности, он рекомендует учитывать человеческие ресурсы, находящиеся в данном регионе, природные богатства, а также местный бизнес и его развитие. Кроме того, важно оценивать имидж и восприятие территории, её культурные особенности и уровень самоидентификации населения. Также необходимо анализировать работу локальных институтов и другие значимые элементы, которые формируют уникальный облик и потенциал территории [Васильев, 2019].

Т. Марковский считает, что территориальный капитал представляет собой «характерные экстерналии, создаваемые и доступные в результате многофункционального взаимодействия пользователей на относительно обособленной территории» [Markowski, 2013].

С позиции пространственного развития экономики категорию территориального капитала рассматривает в своих трудах П.А. Аношкин. По его мнению, территориальный капитал является одним из важнейших параметров оценки эффективности развития современных агломераций [Аношкин, 2012].

Е.Л. Аношкина и Ю.В. Карпович акцентируют внимание на том, что при комплексном анализе всех элементов территориального капитала необходимо особо выделять человеческий капитал. Они рассматривают его через призму территориального подхода, уделяя особое внимание агломерациям. Исследователи полагают, что этот компонент имеет решающее значение для формирования потенциала территории и определяет её развитие, особенно в ситуациях с высокой концентрацией населения и экономической активностью. В условиях агломераций человеческий капитал становится ключевым фактором, определяющим как текущее состояние, так и перспективы развития территории [Аношкин, Карпович, 2012].

Д.П. Фролов и И.А. Соловьёва в своих научных трудах предлагают классифицировать территориальный капитал на два основных типа: базовые и сложносоставные (композитные) элементы. Базовые ресурсы представляют собой природные, технологические, финансовые и иные материальные ресурсы территории. В свою очередь, сложносоставные элементы характеризуются более комплексными характеристиками, такими как доверие между местными сообществами, креативность, толерантность и другие нематериальные активы, которые играют важную роль в развитии территории [Фролов, Соловьева, 2016].

По мнению В.А. Столбова и М.Д. Шарыгина, региональный капитал – это «природные, производственные, человеческие, финансовые, интеллектуальные и другие материальные и нематериальные активы, имеющие стоимостную оценку и вовлеченные в процессы регионального общественного воспроизводства» [Столбов, Шарыгин, 2016].

Эти определения рассматривают региональный (территориальный) капитал как комплексное понятие, охватывающее все виды капитала, сосредоточенного в определённой местности. Однако при этом не акцентируется внимание на значимости взаимодействия между

различными формами капитала, их влиянии на общество и на синергии, возникающей при налаживании связей между региональными участниками.

В частности, очевидно, что наличие богатых природных ресурсов не обеспечит эффективное их использование в экономике без хорошо развитого производственного сектора (производственного капитала), современных технологий и квалифицированных специалистов, способных эти технологии внедрять (инновационного и человеческого капитала).

Таким образом, важна не только совокупность капиталов, но и их взаимосвязанность и взаимодействие.

Н.Г. Федотова в своих трудах в области региональной экономики исследует символический капитал места, который как она отмечает, неразрывно связан с территориальным капиталом. Утверждается, что «теория символического капитала может быть научно обоснована локальным (территориальным, местным) срезом и рассмотрена как важнейший социокультурный механизм преобразования территорий» [Федотова, 2018]. По нашему мнению, указанная теория имеет перспективное направление исследования.

В.В. Поляков в своих работах проанализировал влияние механизмов управления природно-ресурсным капиталом на хозяйственную деятельность территорий. Он отметил, что природно-ресурсный капитал является важным звеном социо-эколого-экономического развития хозяйствующих субъектов. Изучение и исследование потенциала природных ресурсов имеет большое значение для формирования конструктивных элементов хозяйственной деятельности и её составных частей [Поляков, 2019].

В своём исследовании Е.В. Лесниковская анализирует концепцию территориального капитала в рамках современной модели регионального развития. Она проводит критический анализ структуры территориального капитала, предложенной западноевропейскими учёными, и выдвигает ряд ключевых вопросов, которые необходимо учитывать при проведении комплексной оценки данного вида капитала. Автор предлагает более глубокий подход к пониманию территориального капитала с учётом специфики региональных особенностей и современных условий развития территорий [Лесниковская, 2020].

Н.В. Бойко [Бойко, 2015], Р.И. Капелюшников [Капелюшников, 2013], Е.А. Коломак [Коломак, 2013], В.В. Печаткин [Печаткин, 2019] в своих работах изучали территориальные особенности развития человеческого капитала населения. Они подчёркивали важность социальной инфраструктуры для формирования, сохранения и привлечения человеческого капитала.

В трудах А.В. Суворовой исследуются современные методы определения, оценки и управления территориальным капиталом региона. Она предлагает комплексный подход к его анализу, связывая особенности формирования, текущее состояние и результаты воздействия территориального капитала [Суворова, 2021].

Результаты исследования подтверждают потенциал развития концепции территориального капитала и выявляют ключевые вопросы, требующие решения. Они касаются как сущности, так и структурных характеристик капитала, на которые пока нет однозначных ответов.

В статье Суворовой А.В. выдвинут методический подход к оценке территориального капитала, учитывающий наличие в его составе разнородных элементов и способность капитализироваться. Подход, который предлагает автор, является достаточно привлекательным, поскольку он позволит оценивать капитал комплексно, при этом предоставляя возможность анализировать каждый элемент раздельно и последовательно [Суворова, 2021].

Также в работе Суворова А.В. выявляет определяющие признаки капитала, обобщая и систематизируя подходы к его пониманию представителями основных экономических школ и учений [Суворова, 2021].

В своей работе А.В. Суворова «Какова экономическая природа территориального капитала?» приводит некоторые примеры подходов к выделению элементов территориального капитала (табл. 1). Мы предлагаем дополнить подходы к определению территориального капитала, предложенные в работе А.В. Суворовой.

Таблица 1
Table 1

Подходы к определению территориального капитала
Approaches to the definition of territorial capital

Автор	Элементы территориального капитала
1	2
Р. Каманьи	Территориальный капитал – совокупность активов, сосредоточенных на определённой территории, включая природные, человеческие, культурные, организационные, социальные связи и интеллектуальные ресурсы. Эти элементы формируют конкурентный потенциал конкретной территории.
Ф. Вентура	Территориальный капитал – это набор ресурсов, привязанных к конкретной территории и доступных для её жителей и работников. Включая в себя как материальные, так и нематериальные элементы, эти ресурсы функционируют как общественное благо, способствуя развитию и улучшению жизни местного сообщества.
А.А. Шишкин, Ю.В. Савельев	Материальные активы включают в себя землю, природные ресурсы, здания и сооружения, а также объекты инфраструктуры и прочие физические ресурсы. Финансовые активы охватывают бюджетные средства, наличные деньги, банковские депозиты, различные фонды и другие финансовые ресурсы. Нематериальные активы состоят из торговых марок, патентов и иных объектов интеллектуальной собственности, репутации компаний, имиджа региона, а также социально-культурных характеристик территории и прочих нематериальных факторов.
Б.И. Тот	Материальный капитал (природный, инвестиционный, основной и др.) Нематериальный капитал (человеческий, культурный, креативный, отношенческий, репутационный и др.)
В.В. Боброва, П.А. Аношкин	Материальные активы (пространственное расположение и организация города, экономические показатели предприятий, экономическая структура, климатические условия и природные ресурсы, человеческий капитал, инфраструктура и градостроительные условия) Нематериальные активы (социальный капитал города, позволяющий реализовать конкурентную стратегию его развития и осуществлять политику метрополизации).
Дж. Даниелевич, М. Турала	Экономическая база (финансовый капитал, рынки, предпринимательство), социальная база (человеческий капитал, социальные связи, экологическое сознание), пространственная база (культурное наследие, природные ресурсы, инфраструктура), институциональная база (сети сотрудничества, органы власти).
М.П. Васильев	Локальные ресурсы (человеческие, природные, бизнес-структуры), имидж территории (восприятие, культура, самоидентификация), региональные институты (власти, рынки, внешние связи), межтерриториальное взаимодействие.
Т. Марковский	Территориальный капитал – это совокупность внешних эффектов, которые возникают и становятся доступными благодаря многообразному взаимодействию пользователей в рамках определённой, относительно обособленной территории.
Е.Л. Аношкина и Ю.В. Карпович	Особое внимание среди всех составляющих территориального капитала следует уделять человеческому капиталу, рассматривая его в территориальном контексте и применительно к агломерациям.

Окончание табл. 1
End of table 1

1	2
Д.П. Фролов и И.А. Соловьева	Территориальный капитал делится на базовые и комплексные составляющие. Базовые компоненты включают разнообразные виды ресурсов, такие как природные, технологические, финансовые и прочие. К сложным (композитным) элементам относятся: уровень доверия, креативность, имидж и бренд территории, а также другие подобные характеристики.
А.В. Суворова	Суворова А.В. предложила метод оценки территориального капитала, рассматривая его в трех временных аспектах: формирование, существование и генерация эффектов. Особенность подхода заключается в комплексной оценке разнородных элементов капитала с возможностью их последовательного анализа.

Примечание. Составлено авторами.

Г.А. Хмелева, Б.И. Тот и другие исследовали развитие территориального капитала и приграничное сотрудничество как один из методов его увеличения. Они определили «жёсткие» и «мягкие» составляющие территориального капитала, проанализировали интересы участников приграничного взаимодействия и разработали модель механизма, способствующего развитию территориального капитала. [Хмелева, 2023].

Г.А. Хмелева в своих трудах раскрыла «жёсткие» и «мягкие» компоненты территориального капитала, интересы участников приграничного сотрудничества и предложили модель соответствующего механизма развития территориального капитала [Хмелева, 2023].

По нашему мнению, территориальный капитал представляет собой категорию пространственного развития территории, которая обладает определенным набором активов и ресурсов, позволяющих поддерживать конкурентный потенциал региона в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

В результате теоретического анализа феномена «территориальный капитал» в разрезе отечественных и зарубежных авторов следует отметить, что территориальный капитал связан с пространственным развитием территории. Поэтому можно выделить некоторые свойства, которые лежат в основе пространственного развития. Прежде всего, это системность, поскольку территориальный капитал характеризует территорию, учитывая ее специфические особенности. Следующее свойство, которое следует рассмотреть – это возможность территориального капитала к капитализации. Это свойство позволяет учитывать изменение стоимости каждого актива территориального капитала на разных этапах его функционирования и использования. Взаимосвязь с уникальными характеристиками территории также является свойством территориального капитала в контексте пространственного развития. Основная идея этого свойства заключается в учёте особенностей местоположения (природные, производственные, финансовые, культурные, экологические) и сообщества (образовательные, творческие, здоровье, институциональные, отношения, репутация).

Кроме того, территориальный капитал, обладая предложенными свойствами, позволяет выявить слабые и сильные стороны региона, а также оценить спектр факторов, которые повлияли на их изменение или проявление в целом. Наращивание территориального капитала лежит в основе методологии пространственного развития экономики. В контексте пространственного развития территориальный капитал играет роль результирующего параметра, изменение которого позволяет оценить эффективность пространственных преобразований, а также служит фактором, определяющим условия реализации пространственного развития.

Заключение

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, следует подчеркнуть тот факт, что тема территориального капитала является актуальной, и работ по его исследованию насчитывается не так много, однако опираясь на проведенный теоретический обзор, можно увидеть, что прослеживается востребованность концепции отечественными авторами. Стоит также отметить, что на сегодняшний день концепция территориального капитала ещё не до конца оформлена. Но территориальный капитал интересует и зарубежных авторов, в их трудах также содержатся предпосылки к развитию территориального капитала.

Анализ научных работ, посвящённых концепции территориального капитала, позволяет выделить несколько общих элементов. В частности, в большинстве исследований упоминаются три основные составляющие: природная, производственная и человеческая. Также во всех работах акцентируется внимание на значимости социального капитала как важного фактора развития территориального капитала. Исследователи отмечают, что именно социальный капитал играет ключевую роль в формировании и развитии других компонентов территориального капитала. Кроме того, на основе теоретического обзора изучения теории территориального капитала удалось:

– определить основные характеристики территориального капитала через выявление его ключевых особенностей. Это наличие разнообразных ресурсов и благ, способность генерировать доход, тесная связь с трудовыми ресурсами и общественными отношениями, способность к самовоспроизведению и формированию как в ходе производственных процессов, так и через процессы накопления;

– конкретизировать трактовку феномена «территориальный капитал» как категорию пространственного развития территории, которая обладает определенным набором активов и ресурсов, позволяющим поддерживать конкурентный потенциал региона в краткосрочной и долгосрочной перспективе;

– раскрыть ключевые составляющие территориального капитала;

– продемонстрировать, что территориальный капитал является такой категорией, которая позволяет оценить конкурентоспособность региона. За счет оценки территориального капитала можно проследить и выявить сильные и слабые стороны региона, а также обнаружить факторы, которые оказывают особое влияние на его развитие и снижение.

В контексте государственной региональной политики становится возможным оценивать и сравнивать регионы по уровню и степени развития территориального капитала. Кроме того, за счет его оценки региональным властям представится возможность проводить эффективную региональную политику с учетом особенностей каждого региона, в том числе, характер этой политики будет дифференцированным. Территориальный капитал служит драйвером развития. Он выступает фактором создания конкурентных преимуществ и катализатором экономического взаимодействия.

Список источников

Капелло, Роберта, Каралью, Андреа и Нийкамп, Питер, «Территориальный капитал и региональный рост» (16 июля 2009 г.). Дискуссионный документ Института Тинбергена 09-059/3, доступен на SSRN: https://ssrn.com/abstract=1443830 или http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1443830 (дата обращения: 12.02.2025).

Патнем Р. 1996. Чтобы демократия сработала: гражданские традиции современной Италии. Перев. с англ. А. Захарова. М.: Ad Marginem.

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года // Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.12.2024 г. № 4146-р г. Москва URL: http://government.ru/docs/all/157308/ (дата обращения: 11.01.2025).

Территориальные обзоры ОЭСР (OECD Territorial Reviews) URL: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-territorial-reviews_19900759.html (дата обращения: 02.02.2025).

Федеральная служба государственной статистики (Росстат) Регионы России. Социально-экономические показатели URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 12.02.2025).

Список литературы

Абалкин Л.И. 1999 Экономическая энциклопедия. Науч.-ред. совет изд-ва «Экономика», 25 (8): 1055 с.

Аношкина Е.Л., Карпович Ю.В. 2012. Человеческий капитал как компонент территориального капитала. *Региональные исследования*, 1 (35): 12–18.

Бахтлер Дж., Юилл Д. 2001. Политика и стратегии регионального развития: смена парадигмы. Доклад об исследованиях в области региональной и промышленной политики, 46. Глазго, EPRC, Университет Стратклайда.

Боброва В.В., Аношкин П.А. 2014. Теоретико-методические основы развития территории города. *Экономическое возрождение России*, 2(40): 105–112.

Бойко Н.В. 2015. Социальная инфраструктура и ее влияние на формирование человеческого капитала в субъектах Российской Федерации. *Бизнес. Образование. Право*, 1 (30): 150–156.

Васильев М.П. 2019. Разработка алгоритмов повышения эффективности использования финансово-экономического потенциала регионов: автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб.. : 22 с.

Виолин С.И. 2024. Территориальный капитал сибирских регионов в контексте реализации стратегии «поворота на восток». *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*, 4 (80): 8019. URL: https://eee-region.ru/article/8019/ (дата обращения: 12.02.2025)

Капелюшников Р.И. 2013. Сколько стоит человеческий капитал России? Часть I. Вопросы экономики, (1): 27–47.

Коломак Е.А. 2013. Неравномерное пространственное развитие в России: объяснения новой экономической географии. *Вопросы экономики*, 2: 132–150.

Лесниковская Е.В. 2020. Концепция территориального капитала в современной парадигме регионального развития. Теория и практика регионоведения. Т. III. Труды II Международной научно-практической регионоведческой конференции. Иркутск, СПб. : 62–69.

Печаткин В.В. 2014. Инструментарий оценки регионального богатства и возможность его использования в практике территориального управления. *Имущественные отношения в РФ*, 2: 57–63.

Печаткин В.В. 2019. Конкурентоустойчивость регионов России: тенденции, проблемы и пути их решения. *Экономика, предпринимательство и право*, 9 (4): 803–820.

Поляков В.В. 2019. Природно-ресурсный капитал территории: сущностное содержание и особенности формирования. *Экономика и экология территориальных образований*, 3(4): 15–20.

Столбов В.А., Шарыгин, М.Д. 2016. Региональный капитал: монография. Перм. Гос. нац. Исслед. ун-т., Пермь, 530 с.

Суворова А.В. 2021. Какова экономическая природа территориального капитала? *Журнал экономической теории*, 18(2): 226–238.

Суворова А.В. 2021. Измерение территориального капитала: сущность и особенности. *Креативная экономика*, 15(9): 3593–3610.

Суворова А.В. 2022. Территориальный капитал российских регионов и его пространственная организация. *R-Economy*, 8(2): 106–119.

Шишкин А.А., Савельев Ю.В. 2008. Активы как объект капитализации. Особенности воспроизводства регионального капитала: сущность, подходы к оценке, методы управления. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН: 89–96.

Федотова Н.Г. 2018. Символический капитал места: понятие, особенности накопления, методики исследования. *Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение*, 29: 141–155.

Фролов Д.П., Соловьева И.А. 2016. Будущее стратегий территориального развития: анализ современных методологий. *Региональная экономика: теория и практика*, 10: 28–45.

Хмелева Г.А. 2023. Механизм развития трансграничного торгово-экономического сотрудничества в контексте совершенствования территориального капитала региона. *Экономические отношения*, 13(3): 427–446.

Camagni R. 2002. On the concept of territorial competitiveness: sound or misleading?, 42nd Congress of the European Regional Science Association: "From Industry to Advanced Services – Perspectives of European Metropolitan Regions", August 27th – 31st, 2002, Dortmund, Germany, European Regional Science

Association (ERSA), Louvain-la-Neuve. URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/115864/1/ERSA2002_518.pdf (дата обращения: 12.02.2025)

Capello R., Caragliu A., Nijkamp P. Territorial capital and regional growth: increasing returns in cognitive knowledge use. URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/86826/1/09-059.pdf (дата обращения: 12.02.2025)

Danielewicz J., Turala M. 2016. Territorial capital as a determinant of development processes in functional areas. *Acta Universitatis Lodziensis Folia oeconomica*, 2(319): 55–68.

Giffinger R. 2008. Territorial Capital – Understanding and Challenges for a knowledge based strategic Approach. *Territorium*: 7–15.

Markowski T. 2013. Flexible and Integrated Planning in Functional Urban Areas – towards a New Approach to Spatial Planning, [in:] Dynamika, cele i polityka zintegrowanego rozwoju regionów. Aspekty teoretyczne i zarządzanie w przestrzeni, W. M. Gaczek (Ed.). Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań, pp. 27–41.

Toth B.I. 2011. Changing endogenous development: the territorial capital. *Journal of economics and business research*, 17(2): 137–151.

Van der Ploeg J. D. et al 2008. Towards a Framework for Understanding Regional Rural Development, in J.D. van der Ploeg, T. Marsden (eds), Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development, Van Gorcum, Assen.

Ventura, F., Brunori, G., Milone: & Berti, G. 2008. The rural web: A synthesis, in: J. D. van der Ploeg, T. Marsden (eds), Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development, Van Gorcum, Assen.

References

Abalkin L.I. 1999 Economic Encyclopedia. Scientific.-ed. The Council of the publishing house «Economics», 25 (8): 1055 p.

Anoshkina E.L., Karpovich Yu.V. 2012. Human capital as a component of territorial capital. *Regional Studies*, 1 (35): 12–18.

Bachtler J., Yuill D. 2001. Regional development policy and strategies: a paradigm shift. Regional and Industrial Policy Research Report, 46. Glasgow, EPRC, University of Strathclyde.

Bobrova V.V., Anoshkin P.A. 2014. Theoretical and methodological foundations of the development of the city territory. *Economic Revival of Russia*, 2(40): 105–112.

Boyko N.V. 2015. Social infrastructure and its impact on the formation of human capital in the constituent entities of the Russian Federation. *Business. Education. Law*, 1(30): 150–156.

Vasiliev M.P. 2019. Development of algorithms for improving the efficiency of using the financial and economic potential of regions: abstract of the dissertation of the Candidate of Economic Sciences, St. Petersburg: 22 p.

Violine S.I. 2024. The territorial capital of the Siberian regions in the context of the implementation of the strategy of "turning to the east". Regional Economics and Management: an electronic scientific journal, 4 (80): 8019. URL: https://eee-region.ru/article/8019/ (date of request: 12.02.2025)

Kapelyushnikov R.I. 2013. How much is Russia's human capital worth? Part I. *Voprosy ekonomiki*, (1): 27–47.

Kolomak E.A. 2013. Uneven spatial development in Russia: explanations of the new economic geography. *Economic issues*, 2: 132–150.

Lesnikovskaya E.V. 2020. The concept of territorial capital in the modern paradigm of regional development. Theory and practice of regional studies. Vol. III. Proceedings of the II International Scientific and Practical Regional Studies Conference. Irkutsk, St. Petersburg : 62–69.

Pechatki V.V. 2014. Tools for assessing regional wealth and the possibility of its use in the practice of territorial management. *Property Relations in the Russian Federation*, 2: 57–63.

Pechatkin V.V. 2019. Competitiveness of Russian regions: trends, problems and ways to solve them. *Economics, Entrepreneurship and Law*, 9(4): 803–820.

Polyakov V.V. 2019. Natural resource capital of the territory: essential content and features of formation. *Economics and Ecology of Territorial formations*, 3(4): 15–20.

Stolbov V.A., Sharygin, M.D. 2016. Regional capital: a monograph. Perm. State. national Research. un-T., Perm, 530 p.

Suvorova A.V. 2021. What is the economic nature of territorial capital? *Journal of Economic Theory*, 18(2): 226–238.

Suvorova A.V. 2021. Measurement of territorial capital: essence and features. *Creative economy*, 15(9): 3593–3610.

Suvorova A.V. 2022. The territorial capital of the Russian regions and its spatial organization, *R-Economy*, 8(2): 106–119.

Shishkin A.A., Savelyev Yu.V. 2008. Assets as an object of capitalization. Features of reproduction of regional capital: the essence, approaches to assessment, management methods. Petrozavodsk: Publishing House of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences : 89–96.

Fedotova N.G. 2018. Symbolic capital of a place: the concept, features of accumulation, research methods. *Bulletin of Tomsk State University. Cultural Studies and Art Criticism*, 29: 141–155.

Frolov D.P. Solovyova I.A. 2016. The future of territorial development strategies: an analysis of modern methodologies. *Regional Economics: Theory and Practice*, 10: 28–45.

Khmeleva G.A. 2023. A mechanism for the development of cross-border trade and economic cooperation in the context of improving the territorial capital of the region. *Economic relations*, 13(3): 427–446.

Camagni R. 2002. On the concept of territorial competitiveness: sound or misleading? 42nd Congress of the European Regional Science Association: "From Industry to Advanced Services – Perspectives of European Metropolitan Regions", August 27th – 31st, 2002, Dortmund, Germany, European Regional Science Association (ERSA), Louvain-la-Neuve. URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/115864/1/ERSA2002_518.pdf (дата обращения: 12.02.2025)

Capello R., Caragliu A., Nijkamp P. Territorial capital and regional growth: increasing returns in cognitive knowledge use. URL: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/86826/1/09-059.pdf (дата обращения: 12.02.2025)

Danielewicz J., Turala M. 2016. Territorial capital as a determinant of development processes in functional areas. *Acta Universitatis Lodziensis Folia oeconomica*, 2(319): 55–68.

Giffinger R. 2008. Territorial Capital – Understanding and Challenges for a knowledge based strategic Approach. *Territorium*: 7–15.

Markowski T. 2013. Flexible and Integrated Planning in Functional Urban Areas – towards a New Approach to Spatial Planning, [in:] Dynamika, cele i polityka zintegrowanego rozwoju regionów. Aspekty teoretyczne i zarządzanie w przestrzeni, W. M. Gaczek (Ed.). Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań, pp. 27–41.

Toth B.I. 2011. Changing endogenous development: the territorial capital. *Journal of economics and business research*, 17(2): 137–151.

Van der Ploeg J. D. et al 2008. Towards a Framework for Understanding Regional Rural Development, in J.D. van der Ploeg, T. Marsden (eds), Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development, Van Gorcum, Assen.

Ventura, F., Brunori, G., Milone: & Berti, G. 2008. The rural web: A synthesis, in: J.D. van der Ploeg, T. Marsden (eds), Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development, Van Gorcum, Assen.

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 21.03.2025
Поступила после рецензирования 23.05.2025
Принята к публикации 30.05.2025

Received March 21, 2025
Revised May 23, 2025
Accepted May 30, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Соловей Юлия Александровна, аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Julia A. Solovey, Postgraduate student of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА
SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 336.741.225 (470)
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-306-317
EDN KGEJBH

Состояние и тенденции развития нефтегазовой отрасли России

[1] Коробейникова О.М., [2] Дугина Т.А., [3] Горбачева А.С.
[1] Волгоградский государственный технический университет
Россия, 400005, г. Волгоград, пр-т им. Ленина, 28
[2] Волжский институт экономики, педагогики и права
Россия, 404111, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Советская, д. 6
[3] Волгоградский государственный аграрный университет
Россия, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26
korobeinikov77@yandex.ru

Аннотация. В статье проведена оценка состояния нефтегазовой отрасли России. Установлено, что для нефтегазовой отрасли характерен высокий уровень концентрации производства. В 2023 г. в отрасли функционировало всего 0,03 % от общего количества организаций в стране, но их доля в обороте составила 6,27 %. Рост финансовых результатов в отрасли отстает от средних темпов по экономике, но отрасль остается высоко маржинальной. Рентабельность продукции в два раза превышает средние значения по экономике. Экспорт нефтепродуктов более стабилен в сравнении с поставками сырья, но в структуре экспорта продолжают преобладать поставки сырой нефти. Финансовое состояние нефтегазовых компаний устойчиво. На фоне более чем двукратного роста обязательств по кредитам и кредиторской задолженности предприятия платежеспособны, положительно оценивается снижение доли просроченной дебиторской задолженности. Обоснованы основные тренды в развитии нефтегазовой отрасли России: углубление цифровизации и автоматизации технологических процессов, импортозамещение и усиление технологического суверенитета, внедрение принципов устойчивого развития и «зеленых» технологий, разработка новых источников и технологий добычи углеводородов, зависимость от геополитических факторов и международных соглашений в рамках ОПЕК+.

Ключевые слова: нефтегазовая отрасль, нефтегазовые компании, санкции, ОПЕК, финансовые результаты, рентабельность

Для цитирования: Коробейникова О.М., Дугина Т.А., Горбачева А.С. 2025. Состояние и тенденции развития нефтегазовой отрасли России. *Экономика. Информатика*, 52(2): 306–317. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-306-317 EDN KGEJBH

© Коробейникова О.М., Дугина Т.А., Горбачева А.С., 2025

The State and Development Trends of the Oil and Gas Industry in Russia

[1] Olga M. Korobeynikova, [2] Tatiana A. Dugina, [3] Anna S. Gorbacheva
[1] Volgograd State Technical University
28 Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia
[2] Volzhsky Institute of Economics, Pedagogy and Law
6 Sovetskaya St., Russia, Volzhsky 404111, Volgograd Region, Russia
[3] Volgograd State Agrarian University
26 Universitetsky Ave., Volgograd 400002, Russia
korobeinikov77@yandex.ru

Abstract. The article assesses the state of the oil and gas industry in Russia. It has been established that the oil and gas industry is characterized by a high level of production concentration. In 2023, only 0.03 % of the total number of organizations in the country operated in the industry, their share in turnover equaling 6.27 %. Although the growth of financial results in the industry lags behind the average rates in the economy, the industry remains highly marginal. Product profitability is twice as high as the average values in the economy. The export of petroleum products is more stable in comparison with the supply of raw materials, but crude oil supplies continue to dominate the export structure. The financial condition of oil and gas companies is stable. Despite the more than a twofold increase in loan obligations and accounts payable, enterprises are solvent, and the decrease in the share of overdue accounts receivable is assessed positively. The main trends in the development of the oil and gas industry in Russia are substantiated: deepening digitalization and automation of technological processes, import substitution and strengthening of technological sovereignty, implementation of principles of sustainable development and "green" technologies, development of new sources and technologies for hydrocarbon production, dependence on geopolitical factors and international agreements within the framework of OPEC+.

Keywords: oil and gas industry, oil and gas companies, sanctions, OPEC, financial results, profitability

For citation: Korobeynikova O.M., Dugina T.A., Gorbacheva A.S. 2025. The State and Development Trends of the Oil and Gas Industry in Russia. *Economics. Information technologies*, 52(2): 306–317 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-306-317 EDN KGEJBH

Введение

Актуальность статьи определяется тем, что добыча нефти и природного газа, несмотря на структурные реформы, остается одной из базовых отраслей российской экономики. На ее развитие существенно повлияли западные санкции, введенные с началом СВО, но в целом компании смогли адаптироваться к внешним воздействиям, переориентировав экспортные поставки нефтепродуктов с западноевропейских рынков на Китай, Индию и другие азиатские страны. В результате в 2024 г. крупнейшим потребителем российского газа и нефти стал Китай. В части экспорта газа это стало возможным благодаря масштабным инвестициям в газопровод «Сила Сибири», а также в развитие существующих мощностей и реализацию новых проектов по производству сжиженного природного газа (СПГ), крупнейшими из которых являются «Сахалин-2», «Ямал СПГ», «Арктик СПГ 2», «Балтийский СПГ», «Дальневосточный СПГ», что позволяет сократить зависимость отрасли от трубопроводных поставок [Паршаков, 2020]. В сфере поставок нефти ключевым внешнеэкономическим партнером России стала Индия, многократно нарастившая закупки российских углеводородов на фоне скидок, предлагаемых российской стороной под влиянием ограничительных мер, накладываемых западными санкциями [Азиева и др., 2023].

На преодоление последствий санкционных ограничений указывает рост нефтегазовых поступлений в бюджет. По итогам семи месяцев 2024 г. поступления по НДПИ увеличились на 62 % в сравнении с аналогичным периодом 2023 г. и достигли 6,8 трлн руб. Налог на добычу нефти принёс бюджету 6,01 трлн руб. (+68,3 %), газа – 841,3 млрд руб. (+23,5 %).

Основные нефтегазоносные провинции в России расположены в Западной Сибири, в частности в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах и в Тюменской области сосредоточено около 60 % общероссийской добычи нефти и 90 % добычи газа.

Россия находится на втором месте в мире по добыче нефти и на восьмом месте по доказанным запасам этих ресурсов (80 млрд баррелей) [Игнатьев, 2023]. Бюджет нашей страны почти наполовину формируется от нефтегазовых доходов, также велика зависимость национальной экономики от добычи нефти в энергетическом плане, что объясняет преимущественное наличие крупных нефтяных и газодобывающих компаний.

Принимая во внимание данные обстоятельства, представляется интересным выявление текущих трендов нефтегазовой отрасли на основе анализа состояния и динамики ее развития.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает нефтегазовая отрасль России. Целью статьи является исследование состояния развития нефтегазовой отрасли России и установление тенденций ее развития в условиях экономических санкций.

При выполнении работы использованы как общетеоретические методы (сравнительный анализ, абстрактно-логические методы), так и эмпирический (общенаучные методы системного, пространственно-временного, структурно-функционального анализа, контент-анализ, специальные методы комплексного экономического анализа, рейтингование).

Информационно-эмпирическая база исследования представлена нормативно-законодательными актами Российской Федерации, программными документами Правительства РФ, Министерства энергетики РФ и Департамента нефтегазового комплекса, периодической печати, открытых интернет-источников, опубликованными результатами научно-практических конференций, а также данными аналитико-статистических обзоров и справочными материалами Росстата, Международной ассоциации производителей нефти и газа, Общероссийской ассоциации нефтегазосервисных компаний, Ассоциации «Российский национальный комитет Мирового нефтяного совета», саморегулируемых организаций отрасли.

Научная новизна и практическая значимость работы заключаются в обосновании с помощью инструментов экономического анализа основных трендов в развитии нефтегазовой отрасли России (углубление цифровизации и автоматизации технологических процессов, импортозамещение и усиление технологического суверенитета, внедрение принципов устойчивого развития и «зеленых» технологий, разработка новых источников и технологий добычи углеводородов, зависимость от геополитических факторов и международных соглашений в рамках ОПЕК+).

Результаты и их обсуждение

Анализ состояния и перспектив развития компаний нефтегазовой отрасли России

На шесть крупнейших российских нефтяных и газовых компаний по последним доступным данным за 2023 год приходится более 80 % добычи нефти в России и 78 % производства энергии в стране.

Наиболее крупными нефтегазовыми компаниями России являются «Роснефть», «Газпром нефть», «Лукойл», «Сургутнефтегаз», «Газпром» и «Новатэк» [Потапова, 2020б]. Крупнейшей нефтедобывающей компанией, добывающей более 40 % всей нефти в стране, является «Роснефть». По структуре акционерного контроля «Роснефть» является государственным предприятием, является крупнейшим нефтеперерабатывающим предприятием, на долю которого приходится 40 % российских нефтеперерабатывающих мощностей. «Газпром нефть», дочерняя компания «Газпрома», которому принадлежит почти 96 % всех обыкновенных акций, остаётся публичной компанией. ПАО «Лукойл» – крупнейшая частная нефтяная компания России. В отличие от других нефтегазовых компаний

России Лукойл широко представлен на рынках многих стран. Среди газодобывающих компаний России безусловным лидером является «Газпром». Выручка, полученная им за 2023 г. в размере 8,54 трлн руб., позволяет отнести его к крупнейшим в мире компаниям по добыче природного газа. Основным акционером Газпрома является государство. Компания занимается геологоразведкой в России, а также добычей, транспортировкой, хранением, переработкой и сбытом природного газа и других углеводородов. «Новатэк» – крупнейшая частная компания, занимающаяся добычей природного газа в России, и второй по величине российский производитель природного газа после «Газпрома».

Нефтегазовая отрасль характеризуется высоким уровнем концентрации в сравнении с другими отраслями экономики, что проявляется в более крупных размерах организаций (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Количество организаций нефтегазовой отрасли в Российской Федерации
The number of organizations in the oil and gas industry in the Russian Federation

Показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Численность организаций отрасли всего, тыс. ед. из них частной формы собственности	3826,9 3261,0	3517,4 2974,6	3345,1 2824,3	3285,1 2792,3	3264,2 2786,7
в том числе занимающихся добычей нефти и природного газа из них частной формы собственности	1,3 1,0	1,2 0,9	1,1 0,9	1,1 0,9	1,1 0,9

В отрасли наблюдаются процессы консолидации и укрупнения – сокращается численность компаний, занятых добычей нефти и газа. Вывод о более крупных размерах организаций нефтегазовой отрасли следует из сравнения относительных параметров по количеству действующих организаций и их обороту. В 2023 г. организации нефтегазовой отрасли составляли всего 0,03 % от общего количества организаций. Но в обороте организаций за 2023 г. доля отрасли составила 6,27 % (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Финансовые результаты организаций нефтегазовой отрасли России
Financial results of organizations in the oil and gas industry of Russia

Показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Оборот организаций всего, млрд руб. в том числе добыча нефти и природного газа	201315,5 12453,7	207561,7 9385,3	270702,1 16172,0	291216,6 18686,4	319578,6 20047,5
Сальдированный финансовый результат организаций всего, млрд руб. в том числе добыча нефти и природного газа	16632,5 2245,8	13418,8 1851,9	33915,8 3928,4	22313,6 2613,7	35378,5 4669,0
Удельный вес убыточных организаций всего, % в том числе добыча нефти и природного газа	32,5 42,4	32,7 54,7	29,2 41,8	29,3 52,3	28,1 48,1
Рентабельность продукции организаций, % в том числе добыча нефти и природного газа	10,8 30,4	9,4 18,2	14,7 26,0	14,2 23,7	12,7 30,2
Рентабельность активов организаций, % в том числе добыча нефти и природного газа	5,8 12,6	4,1 9,2	8,9 16,7	5,5 10,0	7,4 15,0

В целом за период оборот компаний нефтегазовой отрасли вырос на 61,0 % (в среднем по экономике рост оборота составил 58,7 %, то есть продажи компаний отрасли росли быстрее рынка). Противоположная динамика наблюдается в отношении сальдированного финансового результата, величина которого в нефтегазовой отрасли выросла в 2,08 раза (в среднем по

экономике прирост сальдированного финансового результата составил 112,71 %, то есть прибыльность нефтегазовых компаний относительно рынка несколько снизилась). Также следует обратить внимание на более высокий уровень и рост удельного веса убыточных компаний в отрасли. Если в целом по экономике доля убыточных организаций снизилась с 32,5 % в 2019 г. до 28,1 % в 2023 г., то среди компаний, занятых добычей нефти и природного газа, доля убыточных компаний возросла с 42,4 % до 48,1 % (в 2022 г., когда отрасль только столкнулась с санкциями, их доля была ещё выше – 52,3 %).

С 2022 года официальная статистика закрыта, и компании сами определяют объем раскрываемых сведений. Тем не менее крупнейшие компании продолжили публиковать отчеты о финансовых результатах, что позволило сформировать рейтинг самых прибыльных российских нефтегазовых компаний в 2023 году:

– «Роснефть» – прибыль 1,5 трлн рублей;
– «Сургутнефтегаз» – прибыль 1,3 трлн рублей;
– «Лукойл» – прибыль 1,1 трлн рублей;
– «Газпром нефть» – прибыль 641 млрд рублей;
– «Новатэк» – прибыль 469 млрд рублей;
– «Татнефть» – прибыль 287,9 млрд рублей.

В рейтинг российских нефтегазовых компаний по величине прибыли в 2023 г. не включен «Газпром», поскольку его деятельность в 2023 г. оказалась убыточной, а величина убытка по МСФО составила 629 млрд руб. (по российским стандартам отчётности прибыль составила 695,57 млрд руб., но это все равно на 7 % меньше уровня предыдущего года). Финансовые проблемы российского газового гиганта объясняются утратой в 2022 г. премиального европейского рынка, а рост поставок в Китай, СНГ и Турцию лишь частично компенсировал выпадающие объемы при более низком уровне цен [Потапова, 2020а].

Лидером рейтинга по величине прибыли стала «Роснефть». EBITDA компании составил 3 трлн рублей, чистая прибыль – 1,5 трлн руб. Рост прибыльности компании связан с эффективной политикой управления операционными затратами, позволившей снизить себестоимость добычи до 2,6$ в расчете на один баррель нефтяного эквивалента. Также компания погасила значительную часть своей задолженности по кредитам (более 700 млрд руб. за 2023 г.), что позволило избежать роста процентных расходов в условиях роста ключевой ставки Банка России. Негативно на издержках и финансовых результатах компании сказывается введение западных санкций, что усложняет и удлиняет экспортные маршруты, а, следовательно, приводит к росту затрат на транспортировку нефти. Дополнительные сложности создаёт и потолок цен на российскую нефть, меры по соблюдению которого со стороны западных стран всё время ужесточаются.

Сопоставимые с прибылью «Роснефть» финансовые результаты демонстрирует «Сургутнефтегаз». В отчёте по МСФО чистая прибыль компании в 2023 г. составила 1,322 трлн руб. Однако рост прибыль «Сургутнефтегаз» во многом сформировался благодаря переоценке валютных денежных активов на балансе компании и связан с ростом курса доллара по отношению к рублю.

При выручке в 7,9 трлн рублей чистая прибыль «Лукойл» по МСФО также оказалась сопоставима с результатами «Роснефти» – 1,16 трлн руб. Рост прибыли в 2023 г. компания объясняла благоприятными ценами на нефть, газ и нефтепродукты (в компании достаточно высокий уровень собственной переработки), уменьшением дисконта цены нефти сорта Urals к цене сорта Brent, снижением курса российской валюты. К конкурентным преимуществам «Лукойл» также следует отнести наличие зарубежных активов. Нефть и газ, добытые за пределами России, в том числе консорциумами с участием российских компаний, не подпадают под действие санкционных ограничений, а, следовательно, продаются по более высоким ценам. Всего по данным на конец 2022 г. «Лукойл» добывал за рубежом 4 % нефти и 49 % газа.

Выручка «Газпром нефти» в 2023 г. составила 3,51 трлн руб., что на 3,2 % больше, чем в 2022 г. Однако прибыль организации при этом сократилась на 14,7 % – до 641 млрд руб. В качестве основных факторов снижения прибыли в отчете компании называются санкции,

изменение цепочек поставок, связанные с ними дополнительные затраты и дисконты для новых покупателей, рост тарифов естественных монополий (на перекачку нефти трубопроводным транспортом и железнодорожные перевозки), рост налоговой нагрузки в части НДПИ.

«Новатэк» в 2023 г. заработала 1,3 трлн руб., EBITDA составил 889 млрд руб., чистая прибыль – 469 млрд руб. В отличии от рассмотренных ранее компаний «Новатэк» смог существенно улучшить свои финансовые результаты в сравнении с досанкционным периодом (для сравнения в 2021 г. выручка компании была 711 млрд руб., прибыль – 78,5 млрд руб.), что объясняется улучшением конъюнктуры (рост спроса на сжиженный газ в Азии, возможность продавать СПГ на премиальном европейском рынке) на рынке сжиженного природного газа. Компания ввела в эксплуатацию четвёртую линию «Ямал СПГ», что позволило увеличить производство СПГ на 0,9 млн т в год.

Рентабельность организаций нефтегазовой отрасли показана на рис. 1.

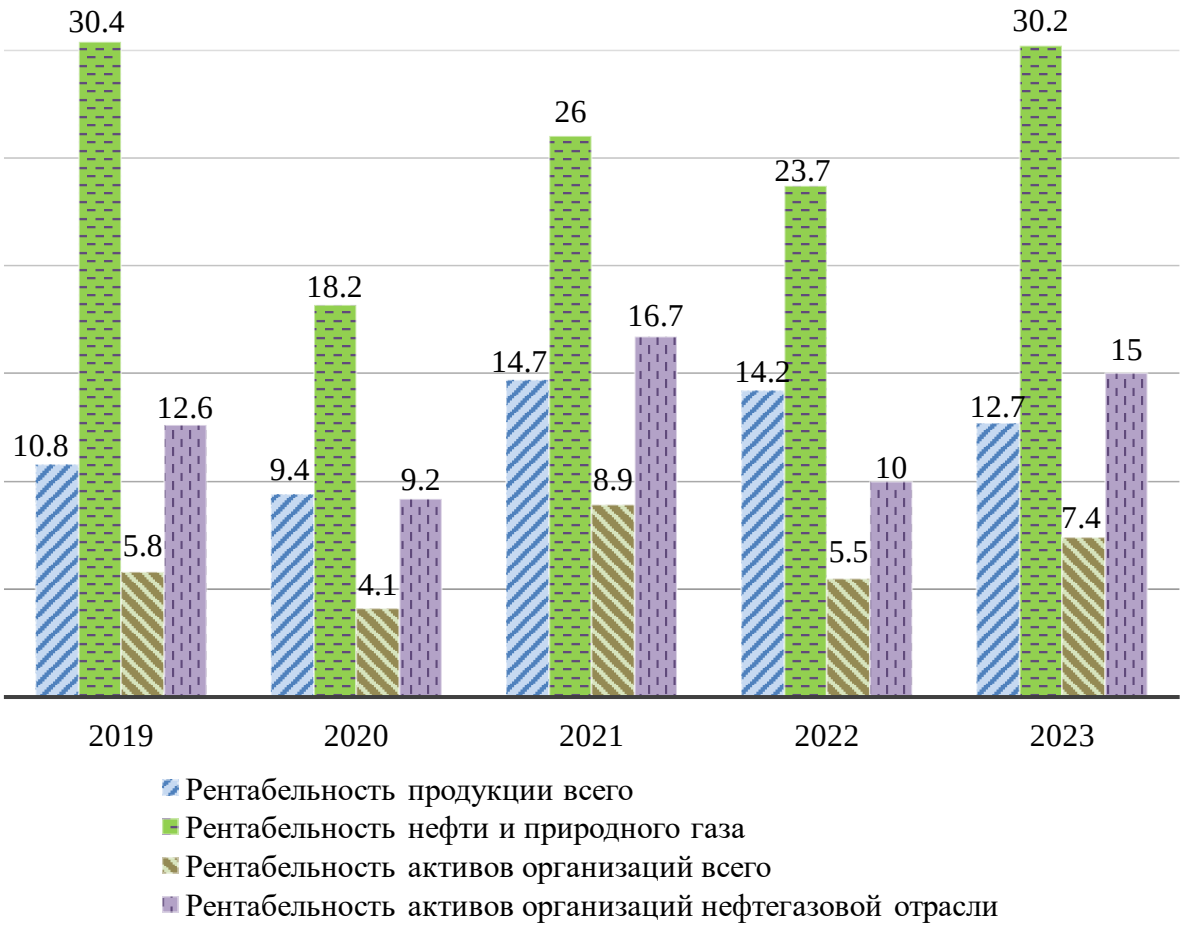


Рис. 1. Показатели рентабельности организаций нефтегазовой отрасли, %
Fig. 1. Profitability indicators of oil and gas industry organizations, %

Несмотря на снижение продаж и финансовых результатов, отрасль остается высоко маржинальной. Рентабельность продукции практически в два раза превышает средние значения по экономике – минимальный уровень наблюдался в пандемийном 2020 г., когда прибыль от продаж в расчете на рубль операционных затрат превышала 30 копеек.

Аналогичная картина наблюдается по другому базовому показателю эффективности – рентабельности активов, который определяется как отношение чистой прибыли к среднегодовой стоимости активов организаций. Данный показатель также более чем в два раза превышает средние значения по экономике. Его минимальное значение наблюдалось в пандемийном 2020 г. и составляло 9,2 % (для сравнения в среднем по экономике только 4,1 %),

максимальное значение в 2021 г. – 16,7 % (в среднем по экономике только 8,9 %). С введением санкций в 2022 г. рентабельность активов нефтегазовых компаний ожидаемо просела, но уже в 2023 г. она практически вернулась к уровню 2021 г. и на каждый рубль, вложенный в активы, было получено 15 коп. чистой прибыли.

С показателями оборота и финансовых результатов тесно связаны объемы добычи нефти и газа, то есть показатели производства, определяемые внешним и внутренним спросом на продукцию отрасли, международными соглашениями на ограничение добычи углеводородов и влиянием западных санкций (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Объем отгруженных товаров собственного производства в нефтегазовой отрасли России
Volume of shipped goods of own production in the oil and gas industry of Russia

Показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Добыча полезных ископаемых, млрд руб. в том числе добыча нефти и природного газа	18324 12859	14612 8946	23598 16211	27296 19397	28086 19860
Индексы производства нефти и природного газа, %	102,2	92,0	102,6	101,0	98,5

В стоимостном выражении объемы добычи полезных ископаемых в стране выросли в 1,53 раза, в том числе нефти и природного газа в 1,54 раза. На конец исследуемого периода доля нефти и природного газа в общей стоимости добываемых полезных ископаемых составила 70,7 %. Однако стоимостные показатели в условиях волатильности цен не совсем информативны, поскольку они не отражают реальные изменения объемов добываемого сырья. Для решения данной аналитической задачи можно использовать индексный метод статистического анализа, конкретнее индекс производства, который отражает изменение создаваемой в процессе производства стоимости в результате изменения только физического объема производимой продукции. В 2020 и 2023 гг. значение индекса опускается ниже 100 %, то есть имело место снижение физических объемов добычи углеводородов.

Доля экспорта нефти и нефтепродуктов из России в структуре добычи нефти на протяжении последних 20 лет колеблется на уровне 75 %, в три раза превышая внутреннее потребление. Как следствие, налоговые поступления от экспорта нефти и нефтепродуктов занимают особое место в структуре доходов федерального бюджета и торгового баланса России, позволяя не только решать основные социально-экономические проблемы, но и выступают важнейшим источником инвестиций и экономического роста. Санкционное давление привело к переориентации экспортных потоков углеводородов с европейского на Азиатско-Тихоокеанское направление (преимущественно в Китай и Индию), сопровождающееся развитием магистральной трубопроводной инфраструктуры.

По экспорту нефти и газа доступны только экспертные оценки, указывающие на снижение экспортных поставок в последние годы. В августе 2024 г. российский экспорт нефти и нефтепродуктов упал до минимальных значений с августа 2023 г. – по сырой нефти поставки упали до 4,8 млн баррелей в сутки, по нефтепродуктам – до 2,65 млн баррелей в сутки. Но при этом продолжился рост экспортной выручки, что связано как с ростом нефтяных котировок, так и со сжатием дисконтов на российские сорта нефти. По экспорту природного газа снизились поставки в страны ЕС более чем на 30 % до 7,7 млрд м^3, но в той же мере вырос экспорт в Турцию. Также по мере выхода на проектную мощность «Силы Сибири» продолжил расти экспорт в Китай.

Финансовое состояние компаний нефтегазовой отрасли характеризует состояние их расчетов с дебиторами и кредиторами (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Состояние расчетов организаций нефтегазовой отрасли России
The state of settlements of organizations in the oil and gas industry of Russia

Показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Суммарная задолженность по обязательствам организаций всего, млрд руб. из нее просроченная	116144,0 4647,8	144653,3 4866,5	162442,8 4408,9	180729,0 4711,7	222849,7 4418,4
Суммарная задолженность по обязательствам организаций в сфере добычи нефти и природного газа, млрд руб. из нее просроченная	4803,6 61,8	5257,4 95,3	6577,6 85,1	7147,7 108,1	10745,6 106,9
Дебиторская задолженность организаций по видам экономической деятельности всего, млрд руб. из нее просроченная	50507,2 2661,0	61156,2 2925,8	73808,8 3063,0	86328,9 4402,7	104770,4 5264,9
Дебиторская задолженность организаций в сфере добычи нефти и природного газа, млрд руб. из нее просроченная	3839,1 297,8	3669,4 177,7	4035,7 127,1	4472,4 302,5	6409,0 463,0

Обращает на себя внимание более чем двукратный рост обязательств по кредитам, займам и кредиторской задолженности организаций нефтегазовой отрасли. За тот же период суммарная задолженность по обязательствам всех российских организаций выросла только в 1,92 раза, то есть закредитованность компаний нефтегазовой отрасли выросла, и по состоянию на конец 2023 г. на них приходится 4,82 % всей задолженности. Но несмотря на рост долговой нагрузки предприятия отрасли более платежеспособны, что выражается в более низком уровне просроченной задолженности – 0,99 % в нефтегазовой отрасли против 1,98 % в целом по экономике.

Дебиторская задолженность организаций нефтегазовой отрасли за период увеличилась на 66,94 %, в том числе по просроченной задолженности прирост составил 55,47 %. В результате доля просроченной дебиторской задолженности в отрасли снизилась с 7,76 % до 7,22 %. Для сравнения в среднем по экономике дебиторская задолженность организаций выросла в 2,07 раза, в том числе просроченная дебиторская задолженность организаций увеличилась в 1,98 раза, а доля просроченной дебиторской задолженности в ее общей величине снизилась с 5,27 % до 5,03 %

Тенденции нефтегазовой отрасли России

В развитии нефтегазовой отрасли России можно выделить ряд тенденций, формирование которых связано как с мировыми трендами, так и с внутрироссийскими условиями, в том числе связанными с санкционными ограничениями.

Глобальным трендом в развитии нефтегазовой отрасли можно считать углубление цифровизации и автоматизации технологических и логистических процессов [Тебекин, 2021], [Korobeynikova et al., 2021], что обусловлено технической сложностью и высокой ресурсозатратностью нефте- и газодобычи. Цифровые технологии положительно влияют на производительность труда и операционные затраты предприятий отрасли [Лапина и др., 2023], [Idigova et al., 2023], эффективность использования ресурсов и производства [Лукьянова и др., 2023], скорость разведки и освоения новых месторождений [Burkaltseva et al., 2024], упрощают добычу углеводородов, поэтому цифровизация отрасли началась задолго до введения западных санкций [Морозова и др., 2024]. Наибольший уровень проникновения цифровых технологий отмечается сегодня в сферы геологоразведки и добычи, а также нефте- и газопереработки.

Среди эффективных IT-решений в отрасли следует отметить использование облачных технологий, применение которых позволяют ускорить обработку данных в геологоразведке на 30 %; предиктивную аналитику и системы мониторинга, позволяющие минимизировать риски аварийных ситуаций и экологических проблем; автоматизированные системы управления (например, информационно-технологическая система «Сфера 3D» компании «РН-Уватнефтегаз»). В настоящее время более 60 % нефтегазовых предприятий осуществляют масштабные инвестиции в цифровые технологии и собственные IT-решения. На процессы цифровизации отрасли негативно влияют санкционные ограничения, в первую очередь проявляющиеся в уходе с российского рынка известных иностранных разработчиков программного обеспечения, что определяет необходимость импортозамещения в IT-сфере. От создания и продвижения собственных IT-решений для нефтегазовых предприятий будет завесить уровень технологической независимости столь чувствительной для российской экономики отрасли [Фунтов, 2021], [Celikten et al., 2020], [Chin et al., 2020]. Понимая значимость технологической независимости отрасли, государство субсидирует программы импортозамещения нефтегазового оборудования, выделив на эти цели из федерального бюджета более 70 млрд руб. начиная с 2015 г. За счет этих средств осуществлено импортозамещение 160 видов специализированных компонентов, а доля российской продукции на рынке оборудования выросла с 43 % в 2015 году до 65 % [Авдеева, Логвинова, 2022].

Глобальным трендом также можно считать тенденцию к широкому внедрению принципов устойчивого развития и экологических инициатив в нефтегазовой отрасли, позволяющих компаниям снижать свой углеродный след и выбросы вредных веществ в атмосферу [Jallal et al., 2023]. «Зелёная повестка» для российских нефтегазовых компаний сохраняет свою актуальность даже в условиях санкций [Kirilchuk et al., 2023], поскольку новые торговые партнеры (Китай и Индия) уделяют ей значительное внимание, приверженность принципам устойчивого развития демонстрирует и российское правительство, поставившее цель добиться углеродной нейтральности российской экономики к 2060 г. Основные направления экологизации отрасли связаны с повышением энергоэффективности технологических процессов добычи нефти и газа, со снижением объёмов сжигания попутного газа на факелах, с внедрением технологий CCS, предназначенным для улавливания CO_2.

К трендам развития нефтегазовой отрасли можно отнести также разработку новых источников и технологий добычи углеводородов, что связано с постепенным исчерпанием легко извлекаемых запасов. В настоящее время известно более 400 интенсифицирующих технологий воздействия на пласты, наиболее перспективными из которых являются горизонтальное бурение и гидроразрыв пластов. Первый метод позволяет скважинам отклоняться на большие расстояния от вертикальной линии, второй используется для создания трещин в породе, содержащей углеводородное сырье.

На тренды развития нефтегазовой отрасли активно влияет геополитика. Помимо западных санкций на добычу российской нефти оказывает влияние политика стран ОПЕК+. На газовый сектор продолжает влиять энергетический рынок Европы, где страны Евросоюза декларируют намерение к полному отказу от российского СПГ за счет развития генерации в «зеленой энергетике». Также к геополитическим факторам следует отнести повышенный интерес к возобновляемым источникам энергии, что может привести к глобальному падению спроса на нефть и газ, а, следовательно, приведет к падению цен [Нерсисян, 2020].

Заключение

Для нефтегазовой отрасли характерен высокий уровень концентрации производства. В 2023 г. в отрасли функционировало всего 0,03 % от общего количества организаций в стране, но их доля в обороте составила 6,27 %. Рост финансовых результатов в отрасли отстает от средних темпов по экономике, но отрасль остается высоко маржинальной. Рентабельность продукции в два раза превышает средние значения по экономике. Экспорт нефтепродуктов более стабилен в сравнении с поставками сырья, но в структуре экспорта продолжают преобладать поставки сырой нефти. Финансовое состояние нефтегазовых компаний

устойчиво. На фоне более чем двукратного роста обязательств по кредитам и кредиторской задолженности предприятия платежеспособны, положительно оценивается снижение доли просроченной дебиторской задолженности.

Основными трендами в развитии нефтегазовой отрасли России являются углубление цифровизации и автоматизации технологических процессов, импортозамещение и усиление технологического суверенитета, внедрение принципов устойчивого развития и «зеленых» технологий, разработка новых источников и технологий добычи углеводородов, зависимость от геополитических факторов и международных соглашений в рамках ОПЕК+.

Список источников

Российский статистический ежегодник. 2024: Стат. сб. / М.: Росстат, 2024. – 630 с.

Список литературы

Азиева Р.Х., Таймасханов З.Х., Хлебников К.В. 2023. Экономические исследования и анализ развития нефтегазового комплекса. *Вестник евразийской науки*, 15(1).

Авдеева Е.А., Логвинова В.А. 2022. Назначение и сфера применения моделей стратегического планирования для обеспечения устойчивости деятельности компаний в изменяющейся среде. *Проектное управление в строительстве*, 1(26): 83–89.

Игнатьев В.Г. 2023. Анализ современного состояния теории и методологии исследования проблем нефтегазового комплекса России. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 6(138): 55–63.

Лапина Т.А., Стукен Т.Ю., Коржова О.С. 2023. Цифровизация и производительность труда: типологический анализ промышленных предприятий. *Вестник Омского университета. Серия: Экономика*, 21(1): 54–59.

Лукьянова А.А., Аврамчикова Н.Т., Иванов Д.С. 2023. Анализ факторов повышения эффективности функционирования нефтегазового комплекса и их влияния на устойчивость региональной экономической системы. *Вестник евразийской науки*, 15(4).

Морозова И.А., Коробейникова О.М., Коробейников Д.А., Глазова М.В. 2020. Искусственный интеллект в управленческом учете коммерческих структур: новые возможности. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление*, 2 (41): 32–38.

Нерсисян Т.Я. 2020. Развитие предпринимательства: организационный аспект. М.: Анкил, 144с.

Паршаков Д.С. 2020. Анализ направлений развития нефтегазового комплекса России. *Московский экономический журнал*, 8: 47.

Потапова Е.А. 2020а. Анализ факторов, влияющих на структуру источников финансирования инновационного развития предприятий нефтегазового комплекса. *Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление*, 3(42): 49–55.

Потапова Е.А. 2020б. Факторный анализ кредитования как финансового инструмента развития предприятий нефтегазового комплекса. *Финансовая экономика*, 3: 289–292.

Тебекин А.В. 2021. Управление инновациями. М.: РИО Российской таможенной академии, 454 с.

Фунтов В.Н. 2021. Управление проектами развития фирмы: теория и практика. СПб.: Питер, 474 с.

Burkaltseva D., Bondar A., Blazhevich O., Osmanova E., Betskov A., Gaponenko V., Polskaya S., Bondarenko D., Bondar Ch. 2024. Sustainable financial development of the territory of the far east. International Scientific Forestry Forum 2023: Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions (Forestry Forum 2023). Les Ulis: 05014.

Jallal A.K., Gabrielyan O.A., Burkaltseva D.D., Blazhevich O.G., Polskaya S.I., Khlybova N.A., Bugaeva T.N., Kiselev R., Veretekhin A.V. 2023. The system for assessing the socio-economic sustainability of the region for the development of entrepreneurial networks in conditions of restrictions using the methods of mathematical modeling. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering” (ERSME-2023). Rostov-on-Don: 03005.

Celikten A., Kurt E., Cetin A. A. 2020. Decision Support System for Role Assignment in Software Project Management with Evaluation of Personality Types. Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering Problems: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering: 200–210.

Chin J.H., Gao Y., Li H., Su M.P., Fowler R. 2020. Predicting team project score: It’s more about team harmony and less about individual performance. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 6: 1–16.

Idigova L., Plis S., Chaplaev H. 2023. Modern technologies of personnel management in the conditions of digital transformation. SHS Web of Conferences. EDP Sciences, 164: 1365–1372.

Kirilchuk S.P., Tsopa N.V., Apatova N.V., Nalivaichenko E.V., Gerasimova S.V., Burkaltseva D.D., Polskaya S.I., Polskaya L.V. 2023. Scientific and methodological approach to the assessment of the region financial and production structure. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering" (ERSME-2023). Rostov-on-Don: 05039.

Korobeynikova O.M., Kuzmina E.V., Korobeynikov D.A., Popova L.V., Glazova M.V. 2021. Innovations in the retail payment market of Russia. Socio-economic Systems: Paradigms for the Future. Springer International Publishing: 421–430.

References

Azieva R.H., Tajmaskhanov Z.H., Hlebnikov K.V. 2023. Ekonomicheskie issledovaniya i analiz razvitiya neftegazovogo kompleksa [Economic research and analysis of the development of the oil and gas complex]. *Bulletin of Eurasian Science*, 15(1). (in Russian)

Avdeeva E.A., Logvinova V.A. 2022. Naznachenie i sfera primeneniya modelej strategicheskogo planirovaniya dlya obespecheniya ustojchivosti deyatel'nosti kompanij v izmenyayushchejsya srede [The purpose and scope of application of strategic planning models to ensure the sustainability of companies in a changing environment]. *Project management in construction*, 1(26): 83–89. (in Russian)

Ignat'ev V.G. 2023. Analiz sovremennogo sostoyaniya teorii i metodologii issledovaniya problem neftegazovogo kompleksa Rossii [Analysis of the current state of theory and methodology for studying the problems of the oil and gas complex of Russia]. *Economy and management: problems, solutions*, 6(138): 55–63. (in Russian)

Lapina T.A., Stuken T.YU., Korzhova O.S. 2023. Cifrovizaciya i proizvoditel'nost' truda: tipologicheskij analiz promyshlennyh predpriyatij [Digitalization and labor productivity: a typological analysis of industrial enterprises]. *Bulletin of Omsk University. Series: Economics*, 21(1): 54–59. (in Russian)

Luk'yanova A.A., Avramchikova N.T., Ivanov D.S. 2023. Analiz faktorov povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya neftegazovogo kompleksa i ih vliyaniya na ustojchivost' regional'noj ekonomicheskoj sistemy [Analysis of factors increasing the efficiency of the oil and gas complex and their impact on the sustainability of the regional economic system]. *Bulletin of Eurasian Science*, 15(4). (in Russian)

Morozova I.A., Korobeynikova O.M., Korobeynikov D.A., Glazova M.V. 2020. Iskusstvennyj intellekt v upravlencheskom uchete kommercheskih struktur: novye vozmozhnosti [Artificial Intelligence in Management Accounting of Commercial Structures: New Opportunities]. *Vector of Science of Togliatti State University. Series: Economics and Management*, 2 (41): 32–38. (in Russian)

Nersisyan T.YA. 2020. Razvitie predprinimatel'stva: organizacionnyj aspekt [Development of entrepreneurship: organizational aspect]. M.: Ankil, 144 p. (in Russian)

Parshakov D.S. 2020. Analiz napravlenij razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii [Analysis of development directions of the oil and gas complex of Russia]. *Moscow Economic Journal*, 8: 47. (in Russian)

Potapova E.A. 2020a. Analiz faktorov, vliyayushchih na strukturu istochnikov finansirovaniya innovacionnogo razvitiya predpriyatij neftegazovogo kompleksa [Analysis of factors influencing the structure of sources of financing for innovative development of oil and gas enterprises]. *Vector of Science of Togliatti State University. Series: Economics and Management*, 3(42): 49–55. (in Russian)

Potapova E.A. 2020b. Faktornyj analiz kreditovaniya kak finansovogo instrumenta razvitiya predpriyatij neftegazovogo kompleksa [Factor analysis of lending as a financial instrument for the development of oil and gas enterprises]. *Financial Economics*, 3: 289–292. (in Russian)

Tebekin A.V. 2021. Upravlenie innovaciyami [Innovation Management]. M.: RIO Russian Customs Academy, 454 p. (in Russian)

Funtov V.N. 2021. Upravlenie proektami razvitiya firmy: teoriya i praktika [Managing company development projects: theory and practice]. SPb.: Piter, 474 p. (in Russian)

Burkaltseva D., Bondar A., Blazhevich O., Osmanova E., Betskov A., Gaponenko V., Polskaya S., Bondarenko D., Bondar Ch. 2024. Sustainable financial development of the territory of the far east. International Scientific Forestry Forum 2023: Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions (Forestry Forum 2023). Les Ulis: 05014.

Jallal A.K., Gabrielyan O.A., Burkaltseva D.D., Blazhevich O.G., Polskaya S.I., Khlybova N.A., Bugaeva T.N., Kiselev R., Veretekhin A.V. 2023. The system for assessing the socio-economic sustainability

of the region for the development of entrepreneurial networks in conditions of restrictions using the methods of mathematical modeling. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering” (ERSME-2023). Rostov-on-Don: 03005.

Celikten A., Kurt E., Cetin A. A. 2020. Decision Support System for Role Assignment in Software Project Management with Evaluation of Personality Types. Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering Problems: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering: 200–210.

Chin J.H., Gao Y., Li H., Su M.P., Fowler R. 2020. Predicting team project score: It’s more about team harmony and less about individual performance. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 6: 1–16.

Idigova L., Plis S., Chaplaev H. 2023. Modern technologies of personnel management in the conditions of digital transformation. SHS Web of Conferences. EDP Sciences, 164: 1365–1372.

Kirilchuk S.P., Tsopa N.V., Apatova N.V., Nalivaichenko E.V., Gerasimova S.V., Burkaltseva D.D., Polskaya S.I., Polskaya L.V. 2023. Scientific and methodological approach to the assessment of the region financial and production structure. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering” (ERSME-2023). Rostov-on-Don: 05039.

Korobeynikova O.M., Kuzmina E.V., Korobeynikov D.A., Popova L.V., Glazova M.V. 2021. Innovations in the retail payment market of Russia. Socio-economic Systems: Paradigms for the Future. Springer International Publishing: 421–430.

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 26.03.2025
Поступила после рецензирования 16.05.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Received March 26, 2025
Revised May 16, 2025
Accepted May 27, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коробейникова Ольга Михайловна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономики и предпринимательства, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Дугина Татьяна Александровна, кандидат экономических наук, доцент, проректор по научно-исследовательской деятельности и цифровизации, Волжский институт экономики, педагогики и права, г. Волжский, Волгоградская область, Россия

Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры учетно-информационных технологий и аудита, Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga M. Korobeynikova, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Tatyana A. Dugina, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Research and Digitalization, Volzhsky Institute of Economics, Pedagogy and Law, Volzhsky, Volgograd Region, Russia

Anna S. Gorbacheva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Accounting and Information Technologies and Audit, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

УДК 338.45
DOI 010.52575/2687-0932-2025-52-2-318-330
EDN KWCGMG

Стратегические направления повышения конкурентоспособности предприятия в контексте приоритетов экономического развития российской промышленности

Рудычев А.А., Трошин А.С., Билинский А.Р.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
eop@intbel.ru, as_troshin@inbox.ru, bilinskiy.a@bk.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в определении стратегических направлений повышения конкурентоспособности российских промышленных предприятий в условиях внешних вызовов (санкции, технологические ограничения) и внутренних ограничений (износ фондов, дефицит кадров). Методология основана на анализе научных публикаций 2020–2024 гг. по ключевым словам, связанным с промышленным развитием, и системном подходе для формирования рекомендаций. Результаты показали, что ключевыми направлениями являются цифровая трансформация (внедрение IoT, AI, цифровых двойников), интеграция ESG-принципов с Индустрией 5.0, локализация цепочек поставок, развитие НИОКР и кооперация с научными кластерами. Особое внимание уделено необходимости преодоления «цифрового разрыва» между крупными и малыми предприятиями, а также системным изменениям в инфраструктуре и управлении. Исследование подчеркивает, что успех зависит от синергии технологических, институциональных и социальных преобразований, поддержанных государственными программами и адаптированных к глобальным трендам.

Ключевые слова: детерминанты конкурентоспособности предприятия, промышленность, приоритеты развития промышленности, экономика промышленности, стратегия роста конкурентоспособности

Для цитирования: Рудычев А.А., Трошин А.С., Билинский А.Р. 2025. Стратегические направления повышения конкурентоспособности предприятия в контексте приоритетов экономического развития российской промышленности. *Экономика. Информатика*, 52(2): 318–330. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-318-330 EDN KWCGMG

Strategic Directions for Increasing Enterprise Competitiveness in the Context of Priorities of the Russian Industry Economic Development

Anatoly A. Rudychev, Alexander S. Troshin, Andrey R. Bilinsky
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
46 Kostyukov St., Belgorod 308012, Russia
eop@intbel.ru, as_troshin@inbox.ru, bilinskiy.a@bk.ru

Abstract. The aim of the study is to identify strategic areas for improving the competitiveness of Russian industrial enterprises in the face of external challenges (sanctions, technological limitations) and internal restrictions (asset depreciation, personnel shortages). The methodology is based on the analysis of scientific papers published from 2020 to 2024 by keywords related to industrial development. A systemic approach to formulating recommendations was used. The results revealed the following key areas: digital transformation (implementation of IoT, AI, digital twins), integration of ESG principles with Industry 5.0, localization of supply chains, development of R&D and cooperation with scientific clusters. Particular attention is paid to the

© Рудычев А.А., Трошин А.С., Билинский А.Р., 2025

need to overcome the “digital divide” between large and small enterprises, as well as systemic changes in infrastructure and management. The study emphasizes that success depends on the synergy of technological, institutional and social transformations supported by government programs and adapted to global trends.

Keywords: determinants of enterprise competitiveness, industry, priorities for industrial development, industrial economy, competitiveness boost strategy

For citation: Rudychev A.A., Troshin A.S., Bilinsky A.R. 2025. Strategic Directions for Increasing Enterprise Competitiveness in the Context of Priorities of the Russian Industry Economic Development. *Economics. Information technologies,* 52(2): 318–330 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-318-330 EDN KWCGMG

Введение

Актуальность темы статьи подтверждается различными аспектами, которые в целом можно охарактеризовать как синергию кризисов и возможностей развития, в совокупности диктующих необходимость трансформации стратегических направлений повышения конкурентоспособности промышленных предприятий. Внешние вызовы и геополитическая ситуация накладывают ограничения на импорт технологий, комплектующих и финансирования (например, отключение от SWIFT, запрет поставок микроэлектроники), требуют перестройки бизнес-моделей и цепочек поставок. Изменение структуры глобальной конкуренции, обусловленное ростом доли азиатских производителей на традиционных рынках России, вынуждает предприятия искать новые конкурентные преимущества. Приоритеты государственной политики стимулируют процессы импортозамещения и локализации критических технологий, цифровизации, ESG-трансформации, что актуализирует соответствующие направления роста конкурентоспособности. Приоритеты национального развития в целом соответствуют движущим глобальную экономику трендам, к числу которых относятся роботизация, цифровые двойники, big data, устойчивое развитие, аддитивные технологии, сокращающие производственный цикл и укрепляющие конкурентные преимущества на основе кастомизации. Наряду с расширяющимися рыночными возможностями, обусловленными ростом спроса на Глобальном Юге, сменой потребительских предпочтений в соответствии с патриотическим трендом и поддержкой локализованной продукции, развитием ЕАЭС, отмечаются внутренние ограничения российской промышленности (технологическое отставание, дефицит кадров, износ основных фондов), что повышает значимость стратегического подхода к управлению конкурентоспособностью субъектов промышленности. Предприятия, которые смогут адаптировать стратегии к приоритетам нацпроектов и глобальным трендам, не только выживут в условиях турбулентности, но и укрепят позиции на внутреннем и международном рынках. Исследование данной темы становится основой для выработки решений, актуальных как для отдельных компаний, так и для экономики страны в целом.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются субъекты промышленности. Цель статьи – на основе анализа научных публикаций в ведущих экономических журналах обосновать стратегические направления повышения конкурентоспособности предприятия в контексте складывающихся приоритетов экономического развития российской промышленности. Для достижения данной цели проведен критический анализ выборки наиболее цитируемых научных публикаций 2020–2024 гг., отобранных в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU по ключевым словам «экономика промышленности», «промышленное развитие», и выявлены ключевые направления развития предприятий российской промышленности. В дальнейшем с использованием системного подхода обоснован перечень стратегических направлений повышения конкурентоспособности российских промышленных предприятий, ориентированных на сектор B2B и B2C.

Обзор источников

Одним из ключевых стратегических ориентиров развития конкурентоспособности в контексте стоящих перед российской промышленностью вызовов ученые считают внедрение цифровых технологий в процессы управления жизненным циклом продуктов. Цифровое управление жизненным циклом продукта (DPLM) становится всеобъемлющей концепцией, заменяющей линейные процессы управления традиционным жизненным циклом на циклические, интегрирующей данные от всех этапов: от проектирования до эксплуатации. Основными характеристиками DPLM становятся гибкость (адаптация к рыночным изменениям в реальном времени), масштабируемость (быстрое расширение или сокращение производства), интеллект (использование аналитики и ИИ для прогнозирования потребностей), подключенность (синхронизация данных между устройствами, пользователями и партнерами) [Гербер и др., 2022]. В реализации данной концепции важная роль отводится «живым» устройствам, оптимизирующим операционные процессы и обеспечивающим гиперперсонализацию потребительского опыта. В настоящее время связь цифровизации с эффективностью деятельности предприятия проявляется не только в дополнительных эффектах от ее внедрения, но и в убытках от игнорирования цифровых технологий. Иными словами, цифровая трансформация жизненного цикла продукта – не выбор, а необходимость для выживания предприятий в условиях «промышленного консюмеризма» и растущих требований к персонализации. Также важно, что еще больше, чем десятилетия назад, необходима тесная интеграция изолированных подразделений (НИОКР, маркетинг, производство). Организационные изменения связаны не только с переобучением сотрудников, но и с вовлечением новых стейкхолдеров (потребителей, партнеров). К.С. Майорова, Е.С. Балашова отмечают, что цифровизация требует перехода от изолированных проектов к интеграции в межотраслевые «smart»-экосистемы, объединяющие предприятия, поставщиков, клиентов, партнеров и другие заинтересованные стороны. Такие экосистемы ускоряют внедрение инноваций, повышают гибкость реагирования на изменения рынка, обеспечивают доступ к совместным ресурсам, позволяют предприятиям создавать персонализированные услуги, повышать регулярные доходы и оставаться конкурентоспособными в условиях цифровой экономики [Майорова, Балашова, 2021].

В продолжение вопроса о цифровой трансформации как неотъемлемом атрибуте современного развития, поддерживающем теорию циклов Кондратьева, Д.М. Журавлев, В.К. Чаадаев идентифицируют «цифровой разрыв» как ключевой фактор замедления роста. При этом под ним авторы понимают временной лаг между появлением технологий и их промышленным внедрением. В качестве стратегического инструмента они предлагают цифровые платформы, обеспечивающие интеграцию технологий, перепроектирование бизнес-процессов и повышение эффективности производства. Также ими подчеркивается системообразующая роль крупных предприятий в распространении инноваций благодаря инфраструктуре, кадрам и государственной поддержке [Журавлев, Чаадаев, 2023]. К.С. Майорова подчеркивает, что цифровизация организационных технологий радикально меняет процессы создания стоимости в промышленности и логистике. Она позволяет оптимизировать производственные операции, повысить стабильность и производительность, а также интегрировать новые бизнес-модели. По подсчетам данного автора пример автомобильной отрасли демонстрирует, что частичная цифровизация существующих цепочек (например, маркетинга, производства, логистики) может увеличить EBITDA на 36,3 %, а внедрение новых моделей (например, сервисов на основе данных) – добавить 6,5 %. Цифровизация не только повышает прибыль предприятий, но и создает значительные общественные блага. Например, в логистике внедрение автономных систем доставки может сократить вредные выбросы на 11 % за 10 лет и оптимизировать издержки «последней мили» на 25 % [Майорова, 2021]. Данный автор присоединяется к уже высказанным соображениям относительно необходимости цифровой трансформации, игнорирование которой ведет к потере конкурентоспособности, снижению рыночной доли и акционерной стоимости.

Ю.Б. Гербер, С.В. Нагорный подчеркивают еще один аспект, связанный с цифровой трансформацией. Экономика совместного потребления (шеринг) меняет подходы к ведению деятельности в промышленности. Ключевыми направлениями трансформации являются изменение культуры потребления (переход от владения к временному использованию ресурсов, коллективное потребление), трансформация институтов (собственность, конкуренция) под влиянием Индустрии 4.0 и Общества 5.0, платформизация (внедрение цифровых платформ и сервисов в цепочки создания стоимости) [Гербер, Нагорный, 2022]. Они отмечают также имеющий место дисбаланс в цифровизации: сектор услуг доминирует в спросе на цифровые технологии, тогда как промышленность отстает.

Интересны выводы исследования А.В. Бабкина и Е.В. Шкарупеты, изучающих синергетический потенциал, возникающий при интеграции технологий Индустрии 5.0 (человекоцентричные, устойчивые и резильентные технологии) и принципов ESG (экологическое, социальное и управленческое развитие), а также его роль как драйвера промышленного роста экономики России в условиях многополярного мира. Ими предлагается расширение ESG-подхода за счет интеграции с Индустрией 5.0, включая компоненты EICSG (Environment, Intelligent, Cyber, Social, Governance). Среди основных вызовов, стоящих перед российской промышленностью, данные авторы называют инфраструктурные ограничения, регуляторные барьеры, высокие затраты на НИОКР [Бабкин, Шкарупета, 2024]. Вместе с тем «зеленая» повестка и ESG-цели являются ориентирующим фактором конкурентоспособности на зарубежных рынках [Xinyue Wang & Qing Wang, 2021], что обусловливает необходимость решения обозначенных проблем на правительственном, отраслевом и корпоративном уровнях.

Эффективность использования основных фондов остается критически важной для российской промышленности, несмотря на переход к цифровой экономике. Основные фонды обеспечивают производство средствами труда, а их анализ позволяет принимать управленческие решения. Установлено, что основные фонды промышленности распределены неравномерно: в европейской части преобладает обрабатывающая промышленность, в азиатской части (УФО, СФО, ДФО) доминирует добывающая промышленность, на которую приходится более 12 % всех промышленных фондов. Наибольшая концентрация фондов наблюдается в Центральном и Приволжском федеральных округах. За период 2000–2020 гг. наблюдалось замедление темпов роста стоимости основных фондов, особенно в последнее десятилетие. Удельный вес промышленных фондов в общероссийском объеме сократился с 25,6 % (2002 г.) до 20,9 % (2020 г.), что указывает на снижение роли промышленности в экономике. Рост стоимости фондов в 2019 г. связан с изменением методологии учета (переоценка недвижимости), а не реальным увеличением инвестиций. Коэффициент износа остается высоким: в добывающей промышленности – свыше 50 % (2020 г.), в целом по экономике – 38 % (2020 г.), что критично для конкурентоспособности. Коэффициент обновления вырос, но остается недостаточным для модернизации. Коэффициент выбытия низкий (менее 1,5 %), что замедляет обновление фондов [Воронина, Михайлова, 2022]. Иными словами, отсутствуют предпосылки для кардинальных изменений в структуре и динамике фондов. В связи с этим в целях повышения конкурентоспособности необходима адаптивная стратегия развития промышленности с акцентом на модернизацию и снижение износа, особенно в добывающем секторе и инфраструктуре.

А.А. Спиридонов, М.Л. Фадеева, Т.О. Толстых обращают внимание на необходимость системного подхода при реализации целей импортозамещения как еще одного вектора укрепления конкурентоспособности российской промышленности, так как ни одна отрасль не может достичь автономии без взаимодействия с другими сферами. Несмотря на прогресс в сфере импортозамещения и успешные примеры локализации технологий, Россия сохраняет зависимость от импорта машин, оборудования, химической продукции и продовольственного сырья (49,2 %, 18,3 % и 14,1 % импорта соответственно). В этом контексте эффективными являются кластерные модели и государственная поддержка как основа технологического рывка. Исследователи отводят ведущую роль мерам государственной поддержки в обеспечении стратегической конкурентоспособности российской промышленности. К их

числу относят снижение ключевой ставки ЦБ РФ до 4 % для повышения доступности кредитов и стимулирования инвестиций в капиталоемкие проекты, развитие Северного морского пути через строительство портов, ледоколов и терминалов, что снизит логистические издержки и диверсифицирует экспорт, создание промышленных кластеров (авиастроение, судостроение, IT) для концентрации ресурсов, минимизации затрат и ускорения инноваций, субсидирование цифровизации (искусственный интеллект, роботизация) [Спиридонов и др., 2023].

Н.С. Луковникова обосновывает зависимость конкурентоспособности экономических систем от доступной ресурсной базы, подчеркивая связь стратегий промышленного и регионального развития. Ею обозначена зависимость региональной экономики от объемов производства: снижение выпуска продукции ведет к ухудшению продовольственной безопасности и росту зависимости от внешних поставок. Также установлено влияние налоговой политики и дотаций на инвестиционный спрос и товарное предложение в регионах. Подчеркнута роль инвестиций и предпринимательской активности в формировании стратегий промышленного развития. Выявлено, что имеет место проблема неэффективности региональных программ в случае недостаточности финансирования логистики и инфраструктуры. В контексте роста конкурентоспособности рекомендовано создание промышленных кластеров на базе регионов-лидеров промышленного развития для повышения экспортного потенциала и добавленной стоимости [Луковникова, 2021]. В продолжение можно привести мнение Н.В. Шмелевой, выделяющей баланс между капиталами как критический фактор устойчивого развития и отмечающей, что регионам необходимо избегать перекоса в сторону одного вида капитала, особенно природного, чтобы обеспечить долгосрочную стабильность. С ее точки зрения территория рассматривается как сложная синергетическая система, устойчивость которой зависит от баланса человеческого, производственного и природного капиталов. Рациональными подходами являются усиление человеческого капитала через улучшение качества жизни и образования и внедрение инноваций и «умных» технологий для снижения нагрузки на природный капитал [Шмелева, 2023].

И.В. Шацкая, Р.В. Шамин, В.В. Бурлаков выдвигают доминирующую роль знаний в современной промышленности. Знания рассматриваются как ключевой фактор производства, превосходящий традиционные (труд, земля, капитал). Они бесконечны, самовоспроизводятся и способствуют преодолению ограниченности ресурсов. Экономика знаний с их точки зрения становится основой для повышения конкурентоспособности предприятий и страны в целом. В связи с этим стратегическое партнерство между промышленностью и вузами необходимо для аккумулирования технико-технологических знаний и развития инноваций. Эффективными формами сотрудничества становятся целевая подготовка кадров, совместные НИОКР, практико-ориентированное обучение, создание научно-производственной инфраструктуры. Основными барьерами реализации данного направления роста конкурентоспособности являются нехватка ресурсов, низкая мотивация предприятий, регуляторные ограничения, демографические проблемы. Для стимулирования сотрудничества предлагается актуализация концепции корпоративной социальной ответственности, налоговые льготы для предприятий, инвестирующих в образование, усиление государственной поддержки через целевые программы и нормативно-правовые реформы [Шацкая и др., 2024]. Значимость инвестирования в НИОКР как драйвера экономического развития подчеркивается многими учеными. В частности, отмечают, что экономический рост многих стран обусловлен инвестициями в научные исследования, здравоохранение, инфраструктуру [Rodionov et al., 2020].

К решению проблемы недостаточной конкурентоспособности российских промышленных предприятий можно подойти с точки зрения выявления ключевых проблем, а не только анализа трендовых ориентиров. Так, Ю.В. Вертакова, Т.Н. Бабич, А.В. Брагина отмечают в числе основных проблем, препятствующих экономическим трансформациям в промышленности, структурные диспропорции, недостаток финансирования инноваций, высокую стоимость технологических решений. Модернизация промышленности признана ключевым фактором повышения стратегической технологической конкурентоспособности и интеграции России в мировую экономику, а отсутствие единой методологии управления прорывным развитием промышленности в условиях цифровизации и реиндустриализации

тормозит прогресс [Вертакова и др., 2021]. Следует согласиться с данными авторами, утверждающими, что для достижения глобального лидерства требуется не только внедрение современных технологий, но и системное стратегическое планирование. Кроме того, важна государственная поддержка, включая создание благоприятной инвестиционной среды и финансирование программ модернизации.

Ключевые стратегические ориентиры развития конкурентоспособности промышленных предприятий, обозначенные в проанализированных источниках, сведены в табл. 1.

Основными проблемами роста конкурентоспособности промышленных предприятий ученые называют структурные диспропорции, высокую стоимость технологий, отсутствие методологии управления прорывным развитием.

Таблица 1
Table 1

Обобщение стратегических ориентиров развития конкурентоспособности промышленных предприятий
Summary of strategic guidelines for the development of competitiveness of industrial enterprises

Ориентир роста конкурентоспособности предприятия	Ключевые задачи и вызовы для развития конкурентоспособности	Авторы	Рекомендации по выполнению задач роста конкурентоспособности
1	2	3	4
Цифровизация и DPLM	– замена линейных процессов на циклические (DPLM); – гибкость, масштабируемость, интеллект (ИИ), подключенность; – необходимость интеграции подразделений и стейкхолдеров.	Гербер и др., 2022; Майорова, Балашова, 2021	– переход к межотраслевым smart-экосистемам; – внедрение цифровых платформ для интеграции бизнес-процессов.
Индустрия 5.0 и ESG	– синергия Индустрии 5.0 (человекоцентричность, устойчивость) и ESG; – вызовы: инфраструктура, регуляторные барьеры, затраты на НИОКР.	Бабкин, Шкарупета, 2024; Xinyue Wang & Qing Wang, 2021	– расширение ESG до EICSG; – фокус на «зеленой» повестке для конкурентоспособности на мировых рынках.
Модернизация основных фондов	– высокий износ (более 50 % в добывающей промышленности); – низкий коэффициент обновления и выбытия; – неравномерное распределение по регионам.	Воронина, Михайлова, 2022	– модернизация фондов, особенно в добывающем секторе; – адаптивная стратегия снижения износа.
Импортозамещение	– зависимость от импорта (49,2 % – машины, 18,3 % – химическая продукция); – успешные примеры локализации.	Спиридонов и др., 2023	– создание кластеров (авиастроение, IT); – снижение ключевой ставки до 4 %, субсидирование цифровизации.

Окончание табл. 1
End of table 1

1	2	3	4
Региональное развитие	– неравномерность ресурсной базы; – проблемы логистики и инфраструктуры; – перекос в сторону природного капитала.	Луковникова, 2021; Шмелева, 2023	– создание региональных кластеров; – баланс человеческого, производственного и природного капиталов.
Признание лидирующей роли знаний	– знания как ключевой фактор производства; – барьеры: нехватка ресурсов, регуляторные ограничения.	Шацкая и др., 2024; Rodionov et al., 2020	– партнерство с вузами (целевая подготовка кадров, НИОКР); – налоговые льготы для инвестиций в образование.

Результаты и их обсуждение

Подытоживая проведенный обзор, отметим, что авторы справедливо выделяют цифровую трансформацию (DPLM, платформы, экосистемы) как ключевой фактор конкурентоспособности. Однако гиперфокус на технологиях может затенять такие системные проблемы, как цифровой разрыв между крупными и малыми предприятиями (внедрение ИИ, «живых» устройств и smart-экосистем требует значительных инвестиций, что недоступно для многих российских компаний, особенно в регионах с высокой долей износа фондов), дисбаланс в цифровизации (доминирование сектора услуг в спросе на технологии указывает на слабую адаптацию промышленности к новым реалиям), человеческий фактор (переход к циклическим процессам DPLM требует не только переобучения сотрудников, но и изменения корпоративной культуры, что неминуемо связано с сопротивлением персонала). Рациональные предложения по росту конкурентоспособности предприятий на основе других инструментов также сопряжены с некоторыми сложностями. Например, предложение о синтезе EICSG-подхода выглядит инновационно, но его реализация в условиях российской промышленности вызывает сомнения в связи с тем, что имеются инфраструктурные ограничения, в т. ч. износ основных фондов и низкий коэффициент обновления делают внедрение «устойчивых» технологий затратным и долгосрочным. Можно также отметить регуляторные барьеры с отсутствием четких стандартов ESG в России и приоритетом краткосрочных экономических целей над долгосрочной устойчивостью, что влияет на мотивацию предприятий. В вопросах импортозамещения также много противоречий. Локализация технологий не гарантирует качества, а государственные субсидии могут создать «рынок госзаказа», снижая стимулы к инновациям и конкуренции. Отмечаемая концентрация фондов в Центральном и Приволжском округах усиливает разрыв между регионами, что противоречит идее баланса капиталов. Выявленные системные проблемы и ограничения текущих подходов к повышению конкурентоспособности промышленных предприятий отражены в табл. 2.

Учитывая отмеченные спорные аспекты, считаем, что для повышения конкурентоспособности российской промышленности необходим синергетический подход, сочетающий технологические, институциональные и социальные преобразования:

1. Цифровизация должна осуществляться с учетом реалий: приоритет модернизации основных фондов, развитие цифровых платформ для МСП с господдержкой.

2. Изменения, обусловленные вектором на ESG и Индустрию 5.0, должны происходить эволюционно, а не революционно. Внедрение EICSG должно происходить поэтапно через пилотные проекты в высокорентабельных отраслях (нефтехимия, металлургия), где экологические и социальные инвестиции окупятся быстрее. Возможна интеграция ESG-критериев в госзакупки и экспортные стандарты.

3. Импортозамещение необходимо базировать на глобальной интеграции. Например, целесообразно создание кластеров не как замкнутых систем, а как узлов в международных цепочках добавленной стоимости (как в случае сотрудничества с ЕАЭС в IT и фармацевтике). Может также рассматриваться стимулирование прямых иностранных инвестиций в НИОКР через особые экономические зоны.

Таблица 2
Table 2

Системные проблемы и ограничения текущих подходов к повышению конкурентоспособности
Systemic problems and limitations of current approaches to improving competitiveness

Проблема	Характеристика	Примеры / Последствия
Цифровой разрыв	Неравномерное внедрение технологий между крупными и малыми предприятиями из-за высоких затрат.	Малые предприятия в регионах с износом фондов не могут внедрять ИИ, «живые» устройства, smart-экосистемы.
Дисбаланс цифровизации	Сектор услуг доминирует в спросе на цифровые технологии, тогда как промышленность отстает.	Снижение адаптации промышленности к новым рыночным реалиям.
Человеческий фактор	Сопротивление изменениям корпоративной культуры и переобучению персонала при переходе на DPLM.	Замедление процессов цифровой трансформации.
Реализация EICSG-подхода	Инфраструктурные ограничения (износ фондов) и регуляторные барьеры (отсутствие ESG-стандартов).	Высокая стоимость и длительные сроки внедрения устойчивых технологий.
Проблемы импортозамещения	Локализация не гарантирует качества, а госсубсидии создают «рынок госзаказа», снижая конкуренцию.	Риск снижения инновационной активности и качества продукции.
Региональные диспропорции	Концентрация фондов в Центральном и Приволжском округах усиливает разрыв между регионами.	Противоречие идее баланса капиталов (природного, человеческого, производственного).

Иными словами, стратегия повышения конкурентоспособности должна быть адаптивной и учитывать как глобальные тренды (цифровизация, ESG), так и специфику российской промышленности (износ фондов, региональные диспропорции). Ключевой вызов – преодолеть «ловушку частичных решений», когда точечные меры (цифровизация маркетинга, льготные кредиты) не подкрепляются системными изменениями (инфраструктура, образование, институты). Без этого даже технологически продвинутые предприятия останутся островами в океане устаревших практик (табл. 3).

Синергизм достигается избеганием фокуса исключительно на технологических изменениях, которые должны сопровождаться институциональными изменениями. Необходим баланс между цифровизацией и решением системных проблем (износ фондов, региональные диспропорции). Кроме того, стратегии повышения конкурентоспособности должны быть адаптивными, в них акцент делается на эволюционное, а не революционное внедрение стратегических ориентиров, стоящих перед промышленностью. Отмечаем также приоритет сохранения и приумножения человеческого капитала в осуществлении трансформаций. В целом схема достижения конкурентоспособности промышленного предприятия в общем виде представлена на рис. 1.

Таблица 3
Table 3

Авторские предложения по синергетическому подходу к повышению конкурентоспособности промышленных предприятий
The authors' proposals for a synergetic approach to increasing the competitiveness of industrial enterprises

Направление	Содержание	Новизна подхода
Цифровизация с учетом реалий	Приоритет модернизации фондов, развитие платформ с государственной поддержкой для МСП.	Акцент на адаптацию технологий к инфраструктурным ограничениям, а не их слепое внедрение.
Эволюционное внедрение ESG	Поэтапный переход через пилотные проекты в высокорентабельных отраслях (нефтехимия, металлургия), интеграция ESG-критериев в госзакупки.	Отказ от революционных изменений в пользу постепенной трансформации с учетом экономической целесообразности.
Глобальная интеграция	Создание кластеров как узлов в международных цепочках (ЕАЭС), стимулирование ПИИ в НИОКР через особые экономические зоны.	Импортозамещение не как изоляция, а как интеграция в глобальные цепочки добавленной стоимости.

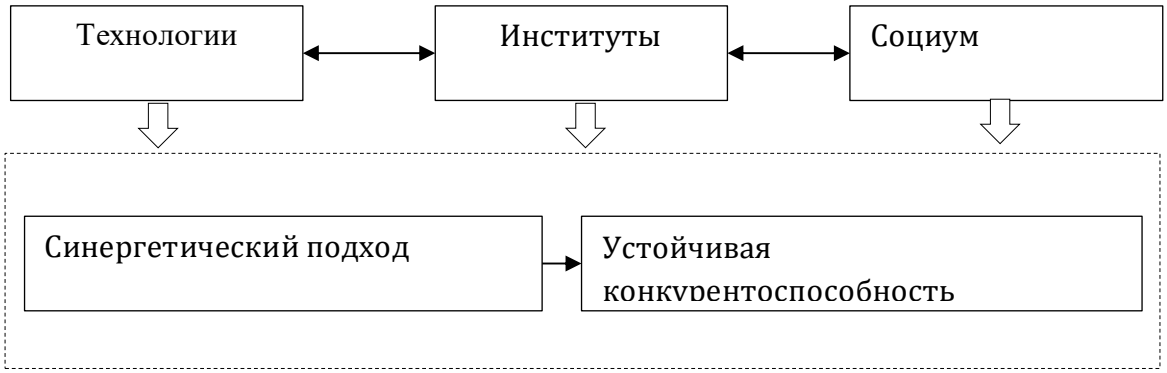


Рис. 1. Элементы синергетического подхода к достижению конкурентоспособности промышленного предприятия
Fig. 1. Elements of a synergistic approach to achieving the competitiveness of an industrial enterprise

Российская промышленность, несмотря на вызовы глобальной экономики и санкционное давление, сохраняет потенциал для роста. Однако переход от сырьевой зависимости к высокотехнологичным отраслям требует системных изменений. В качестве перспектив повышения конкурентоспособности и факторов, определяющих формирование устойчивых конкурентных преимуществ для ключевых секторов, можно выделить следующее:

1. Нефтегазовый сектор, имеющий лидерские позиции в добыче и развитую инфраструктуру, зависим от цен на сырье, санкций, экологических рисков. Направлением укрепления конкурентоспособности является диверсификация через производство СПГ, внедрение технологий улавливания углерода (carbon capture).

2. Металлургия и химическая промышленность, обладающие высокой конкурентоспособностью на мировом рынке, сталкиваются с рисками высоких энергозатрат, ужесточения экологических норм в ЕС. Здесь направления роста конкурентоспособности также связаны с сокращением ключевых рисков.

3. Машиностроение и ВПК имеют высокий уровень инновационного развития благодаря госзаказам (беспилотники, электроника). Но вместе с тем гражданское машиностроение отстает в цифровизации и качестве компонентной базы, что становится ведущими направлениями улучшения.

4. Агропромышленный комплекс, характеризующийся ростом экспорта зерна и пищевой продукции, в качестве направлений роста конкурентоспособности должен принимать меры по снятию логистических ограничений и зависимости от импортных семян и техники.

Общие стратегические направления роста конкурентоспособности российских промышленных предприятий определяются выявленными выше приоритетами. К их числу отнесем такие направления, как:

1. Цифровая трансформация на основе внедрения IoT, big data, AI, роботизации и цифровых двойников для автоматизации процессов. Данное направление соответствует национальным приоритетам, что открывает доступ к государственному финансированию. Практическое применение данного инструмента роста конкурентоспособности снижает издержки, повышает точность планирования и скорость реагирования на рыночные изменения.

2. Развитие НИОКР и инновационных продуктов на основе увеличения инвестиций в R&D, создание продуктов с высокой добавленной стоимостью. Данное направление также поддерживается госпрограммами, стимулируя разработку критических технологий, позволяя заместить импорт, снижая зависимость от санкций и формируя конкурентное преимущество через уникальность продукции.

3. Экологизация производства на основе внедрения ESG-стандартов, перехода на «зеленые» технологии и возобновляемые источники энергии. Данное направление соответствует глобальным трендам и требованиям экспортных рынков, дает доступ к льготам (налоговые каникулы для «зеленых» проектов), способствует росту рентабельности.

4. Оптимизация логистики и локализация цепочек поставок на основе создания кластеров с поставщиками, развития отечественного сырья и компонентов. Санкции делают критически важной локализацию, в результате которой формируется устойчивость к разрывам глобальных цепочек.

5. Инвестиции в человеческий капитал для подготовки кадров для работы с высокими технологиями, переобучения сотрудников. Опережающая подготовка кадров дает преимущество в конкурентной борьбе. Внедрение цифровых навыков способствует значительному росту производительности труда.

6. Экспортная экспансия и диверсификация рынков, в частности выход на рынки Азии, Ближнего Востока, Африки через участие в госпрограммах поддержки экспорта. При реализации данного направления роста конкурентоспособности имеются возможности компенсации до 80 % затрат на сертификацию и прочих затрат, снижается зависимость от традиционных рынков.

7. Кооперация с научными и отраслевыми кластерами, что обеспечивает доступ к грантам на совместные проекты и инновациям (например, кооперация «Камаза» с КНИТУ-КАИ позволила создать электрогрузовик).

8. Укрепление бренда и работа с лояльностью. Перспективы данного направления роста конкурентоспособности связаны с использованием постсанкционного тренда на «патриотичного потребителя», созданием эмоциональной связи через storytelling (история бренда, поддержка локальных сообществ). Например, бренд обуви «Терволина» запустил кампанию «Сделано для своих», увеличив узнаваемость на 40 %.

9. Интеграция в экосистемы и коллаборации. Например, партнерство с IT-компаниями (например, внедрение умных функций в технику через альянс с «Яндексом» или Sber), коллаборации с дизайнерами и блогерами для усиления вовлеченности молодой аудитории могут рассматриваться как значимое направление для роста конкурентоспособности на рынках B2C.

10. Масштабная модернизация основных фондов промышленности.

Стратегические направления роста конкурентоспособности российских промышленных предприятия основаны на принципах гибкости, сочетания государственных приоритетов (импортозамещение, цифровизация) с рыночными возможностями. Ключевыми факторами успеха, на наш взгляд, являются адаптивность к санкциям, фокус на НИОКР и синергия с госпрограммами. Предприятия, интегрирующие эти направления, смогут не только укрепить позиции внутри страны, но и войти в цепочки стоимости в Азии и ЕАЭС.

Заключение

В результате проведенного исследования сделаны выводы:

1. Современные условия, включая санкционное давление, геополитическую нестабильность, технологические ограничения и глобальные тренды (цифровизация, ESG, роботизация), диктуют необходимость трансформации российской промышленности. К числу основных вызовов относится технологическое отставание и зависимость от импорта, высокий износ основных фондов и низкие темпы их обновления, региональные диспропорции, дефицит квалифицированных кадров и сопротивление изменениям корпоративной культуры.

2. Обосновано, что стратегическими направлениями повышения конкурентоспособности являются: цифровая трансформация, НИОКР и инновации, экологизация и ESG, локализация цепочек поставок, экспортная диверсификация, инвестиции в человеческий капитал. Ключевыми факторами успеха являются синергия государственных программ (нацпроекты, поддержка экспорта) и рыночных возможностей, фокус на НИОКР и интеграцию в международные цепочки добавленной стоимости, эволюционное внедрение ESG-принципов и цифровых технологий с учетом инфраструктурных реалий. Предприятия, сочетающие адаптивность, инновации и кооперацию, смогут укрепить позиции на внутреннем рынке и войти в новые ниши на глобальном уровне.

3. Необходимыми условиями для реализации стратегических направлений роста конкурентоспособности российских промышленных предприятий являются системный подход, государственная поддержка, баланс между глобальными трендами и локальной спецификой. Также необходимо преодоление цифрового разрыва, регуляторных барьеров, риска создания «рынка госзаказа» с низкой инновационной активностью, региональных дисбалансов.

Список литературы

Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. 2024. Коэволюционно-конвергентный потенциал ESG 5.0 как драйвер промышленного роста экономики России в многополярном мире. *Экономика и управление*, 30(8): 953–971.

Вертакова Ю.В., Бабич Т.Н., Брагина А.В. 2021. Стратегические ориентиры модернизации промышленных предприятий России. *Экономика промышленности*, 14(3): 288–297.

Воронина В.М., Михайлова О.П. 2022. Экономико-статистическое исследование основных фондов российской промышленности как основа для принятия управленческих решений. *Вестник евразийской науки*, 14(2): 12.

Гербер Ю.Б., Нагорный С.В. 2022. Приоритеты развития промышленности в экономике совместного потребления. *Естественно-гуманитарные исследования*, 40(2): 69–74.

Гербер Ю.Б., Балко С.В., Якушев А.А. 2022. Цифровой формат развития пищевой промышленности в современных экономических условиях. *Экономика, предпринимательство и право*, 12(5): 1613–1624.

Журавлев Д.М., Чаадаев В.К. 2023. Стратегические инструменты роста промышленного сектора экономики в условиях шестого большого цикла Кондратьева. *Экономика промышленн*ости, 16(3): 253–262.

Луковникова Н.С. 2021. О роли развития промышленности и территориального планирования регионов России. *Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление*, 3(38): 74–81.

Майорова К.С. 2021. Трансформация процессов создания стоимости промышленных предприятий в аспекте диджитализации технологий. *Международный научно-исследовательский журнал*, 7-3(109): 123–132.

Майорова К.С., Балашова Е.С. Цифровой переход промышленных предприятий в «smart» экосистему. *Экономика промышленности*, 14(4): 433–444.

Спиридонов А.А., Фадеева М.Л., Толстых Т.О. 2023. Стратегические приоритеты государственной поддержки импортозамещения в промышленности. *Экономика промышленности*, 16(2): 166–175.

Шацкая И.В., Шамин Р.В., Бурлаков В.В. 2024. Факторы развития промышленного производства в России. *Горизонты экономики*, 2(82): 12–18.

Шмелева Н.В. 2023. Формирование системы интегральных показателей, отражающих окна возможностей для устойчивого развития промышленных регионов Российской Федерации. *Экономика промышленности*, 16(1): 86–94.

Rodionov A.V., Andreeva G.B., Baidova N.V. 2020. Economic Security Provision Models of National Industrial Development (Case Study of Russia, Post-Soviet Countries and English-Speaking Countries of G-20). *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*, 13(11): 1793–1807.

Xinyue Wang, Qing Wang. 2021. Research on the impact of green finance on the upgrading of China's regional industrial structure from the perspective of sustainable development. *Resources Policy*, 74: 102436.

References

Babkin A.V., Shkarupeta E.V. 2024. Coevolutionary and convergent potential of ESG 5.0 as a driver of industrial growth of the Russian economy in a multipolar world. *Economy and Management*, 30(8): 953–971 (in Russian).

Vertakova Yu.V., Babich T.N., Bragina A.V. 2021. Strategic guidelines for the modernization of industrial enterprises in Russia. *Industrial Economics*, 14(3): 288–297 (in Russian).

Voronina V.M., Mikhailova O.P. 2022. Economic and statistical study of fixed assets of the Russian industry as a basis for making management decisions. *Bulletin of Eurasian Science*, 14(2): 12 (in Russian).

Gerber Yu.B., Nagorny S.V. 2022. Priorities for industrial development in the sharing economy. *Natural Sciences and Humanities*, 40(2): 69–74 (in Russian).

Gerber Yu.B., Balko S.V., Yakushev A.A. 2022. Digital format for the development of the food industry in modern economic conditions. *Economy, entrepreneurship and law*, 12(5): 1613–1624 (in Russian).

Zhuravlev D.M., Chaadaev V.K. 2023. Strategic instruments for the growth of the industrial sector of the economy in the context of the sixth great Kondratiev cycle. *Industrial economics*, 16(3): 253–262 (in Russian).

Lukovnikova N.S. 2021. On the role of industrial development and territorial planning of Russian regions. *Bulletin of the Moscow University named after S. Yu. Witte. Series 1: Economy and Management*, 3(38): 74–81 (in Russian).

Mayorova K.S. 2021. Transformation of value creation processes of industrial enterprises in the aspect of technology digitalization. *International Research Journal*, 7-3(109): 123–132 (in Russian).

Mayorova K.S., Balashova E.S. Digital transition of industrial enterprises to the "smart" ecosystem. *Industrial Economics*, 14(4): 433–444 (in Russian).

Spiridonov A.A., Fadeeva M.L., Tolstykh T.O. 2023. Strategic priorities of state support for import substitution in industry. *Industrial Economics*, 16(2): 166–175 (in Russian).

Shatskaya I.V., Shamin R.V., Burlakov V.V. 2024. Factors of industrial production development in Russia. *Economic Horizons*, 2(82): 12–18 (in Russian).

Shmeleva N.V. 2023. Formation of a system of integral indicators reflecting windows of opportunity for sustainable development of industrial regions of the Russian Federation. *Industrial Economics*, 16(1): 86–94 (in Russian).

Rodionov A.V., Andreeva G.B., Baidova N.V. 2020. Economic Security Provision Models of National Industrial Development (Case Study of Russia, Post-Soviet Countries and English-Speaking Countries of G-20). *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*, 13(11): 1793–1807.

Xinyue Wang, Qing Wang. 2021. Research on the impact of green finance on the upgrading of China's regional industrial structure from the perspective of sustainable development. *Resources Policy*, 74: 102436.

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 — Received May 06, 2025
Поступила после рецензирования 21.05.2025 — Revised May 21, 2025
Принята к публикации 27.05.2025 — Accepted May 27, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рудычев Анатолий Андреевич, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и организации производства института экономики и менеджмента, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Трошин Александр Сергеевич, доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой мировой экономики и финансового менеджмента института экономики и менеджмента, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Билинский Андрей Романович, аспирант кафедры стратегического управления института экономики и менеджмента, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatoly A. Rudychev, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Economics and Organization of Production, Institute of Economics and Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Aleksandr S. Troshin, Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department of World Economy and Financial Management, Institute of Economics and Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Andrey R. Bilinsky, Postgraduate Student of the Department of Strategic Management, Institute of Economics and Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

УДК 65.011:629.33
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-331-345
EDN HRQTUK

Сравнительный анализ моделей управления региональными сбытовыми сетями предприятий минерально-сырьевой отрасли

Симонцев Д.А., Савотченко С.Е.
Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе
Россия, Москва, 117997, ул. Миклухо-Маклая, 23
simontsevdenis@gmail.com, savotchenkose@mgri.ru

Аннотация. Рассмотрены модели управлений сбытовыми сетями предприятий по производству минеральных удобрений. Основным методом исследования в данной работе являлся их сравнительный анализ. Выявлено, что в условиях ускоренной цифровизации наиболее перспективными моделями управления можно считать подходы, основанные на использовании цифровых технологий и аналитических инструментов. Особое внимание уделено важности интеграции функций между управляющей компанией (управляющая организация) и региональными сбытовыми предприятиями (управляемые предприятия) через единые системы управления. Сравнительный анализ позволил указать недостатки и преимущества рассматриваемых моделей управления сбытовыми сетями. В результате сформулированы практические рекомендации, направленные на повышение эффективности управления сбытовыми сетями минерально-сырьевой отрасли в условиях ускорения цифровой трансформации как общества в целом, так и экономики, и управления.

Ключевые слова: управление, модели управления, сбытовая сеть, цифровая трансформация, цифровизация, производство минеральных удобрений, минерально-сырьевая отрасль

Для цитирования: Симонцев Д.А., Савотченко С.Е. 2025. Сравнительный анализ моделей управления региональными сбытовыми сетями предприятий минерально-сырьевой отрасли. *Экономика. Информатика*, 52(2): 331–345. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-331-345 EDN HRQTUK

Comparative Analysis into Management Models of Regional Distribution Networks of Enterprises in the Mineral Resource Industry

Denis A. Simontsev, Sergey E. Savotchenko
Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze
23 Miklukho-Maklay St., Moscow 117997, Russia
simontsevdenis@gmail.com, savotchenkose@mgri.ru

Abstract. The article considers models of managing the distribution networks of enterprises producing mineral fertilizers. Comparative analysis was the main research method in this paper, making it possible to identify the disadvantages and advantages of the considered distribution network management models. The study showed the approaches based on the use of digital technologies and analytical tools to be the most promising management models in the context of accelerated digitalization. Particular attention was paid to the importance of integrating functions between the management company (the managing organization) and regional distribution enterprises (the managed enterprises) through unified management systems. As a result, the authors developed practical recommendations aimed at improving the efficiency of distribution network management in the mineral resource industry in the context of accelerating digital transformation of both society as a whole and the economy and management, in particular.

© Симонцев Д.А., Савотченко С.Е., 2025

Keywords: management, management models, distribution network, digital transformation, digitalization, production of mineral fertilizers, mineral resources industry

For citation: Simontsev D.A., Savotchenko S.E. 2025. Comparative Analysis into Management Models of Regional Distribution Networks of Enterprises in the Mineral Resource Industry. *Economics. Information technologies*, 52(2): 331–345 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-331-345 EDN HRQTUK

Введение

В условиях высокой конкуренции на рынке минеральных удобрений и постоянных изменений внешней среды эффективное управление региональными сбытовыми сетями становится стратегически важной задачей для производственных холдингов [Кудайберген, 2021]. Одной из ключевых проблем, с которой сталкиваются компании, является разрыв между стратегическими целями, формируемыми на уровне управляющей компании, и оперативными задачами, реализуемыми на местах. Этот разрыв приводит к снижению эффективности работы сбытовой сети, затрудняет адаптацию к изменениям локального спроса и увеличивает время на принятие решений.

Для устранения этих недостатков и обеспечения более скоординированной работы сбытовой сети возникает необходимость модернизации системы управления, возможно, выбор новой модели управления [Симонцев, 2023]. В этом случае важно определить, какая же модель управления является оптимальной для данного предприятия. Если выбранная модель управления оказывается оптимальной в данной экономической ситуации, появляется возможность интеграции планирования и контроля логистики и поставок на всех уровнях управления, как в центральном офисе, так в офисах управляемых предприятий [Смирнова, Зуев, 2022]. Для предприятий с масштабной сбытовой сетью это позволит организовать благоприятные условия выработки согласованных управленческих решений на всех уровнях управления.

Эффективное управление сбытовой сетью является стратегически важным аспектом для производственных холдингов, особенно в минерально-сырьевой отрасли, где спрос на продукцию может быть подвержен сезонным колебаниям, а логистические требования к доставке и хранению товаров строго регламентированы [Зворыкина и др., 2024]. Множество как внешних, так и внутренних факторов оказывают различное по интенсивности воздействие на устойчивое и гибкое развитие и сбытовой сети предприятий минерально-сырьевой отрасли. К примеру, текущая экономическая ситуация, определяющая покупательскую способность и инвестиционную активность в сельском хозяйстве, может считаться внешним фактором, существенно влияющим на процессы дистрибуции [Ксенофонтова, 2023].

Также важно отметить, что хорошо зарекомендовавшие себя ранее традиционные методы управления становятся менее эффективными в условиях цифровой трансформации экономики и управления [Веретёхин, 2023]. Поэтому в данном контексте становится актуальным применение систем бизнес-аналитики и анализа больших данных (Big Data) [Kaynak Okyay, 2015], основанных на искусственном интеллекте, дополнение CRM и ERP-системами с целью повышения как точности прогнозов, так и эффективности управления в целом [Мелехова, 2019].

Необходимость проведения данного исследования обусловлена потребностями в разработке комплексного подхода к управлению региональной сбытовой сетью крупного производственного холдинга с высокой эффективностью в условиях ускоренной цифровизации общества. Исследование вносит вклад в развитие знаний в области управления сбытовыми сетями, сочетая теоретические и практические аспекты, что позволяет углубить понимание эффективного управления в условиях растущей конкуренции и специфики агрохимического рынка.

Научная новизна работы проявляется в применении сравнительного анализа на базе российских компаний минерально-сырьевой отрасли, на основе которого реализуется

возможность адаптации успешных практик и моделей управления с учётом особенностей внутреннего рынка, что также позволяет выявить элементы управления, которые оказываются наиболее эффективными именно в условиях интенсификации цифровой трансформации российской экономики.

Объекты и методы исследования

Основными объектами исследования являются сбытовые сети предприятий минерально-сырьевого комплекса, таких как «ФосАгро» и «ЕвроХим».

Компания «ФосАгро» является поставщиком широкого спектра минеральных удобрений не только на российском, но и на международном рынках. В ее состав помимо химических предприятий входят и горнодобывающие и перерабатывающие комплексы в Мурманской, Вологодской, Саратовской и Ленинградской областях. Она характеризуется собственной логистической развитой инфраструктурой, в том числе двумя портовыми терминалами, а также крупнейшей в стране сетью дистрибуции минеральных удобрений и кормовых фосфатов.

Компания «ЕвроХим» является не только производителем минеральных удобрений, но и разработчиком целого ряда месторождений железной руды и бадделеита, калийной и фосфатной руды высокого качества. Ее можно считать вторым производителем по объёму производства и поставок апатитового концентрата в России, при этом единственным производителем бадделеитового концентрата в мире (Ковдорский ГОК). Горнодобывающие предприятия компании разрабатывают месторождения Кок-Джон и Гиммельфарбское (Жамбыл, Казахстан) фосфоритоносной руды.

На круговой диаграмме (рис. 1) представлены доля внутреннего рынка производственных групп предприятий на рынке минеральных удобрений за период 2023–2024 годов. Диаграмма наглядно показывает, что «ФосАгро» занимает лидирующую позицию (35 %), но также подчеркивает значительные доли других компаний, таких как «ЕвроХим» (25 %) и «Уралкалий» (20 %).

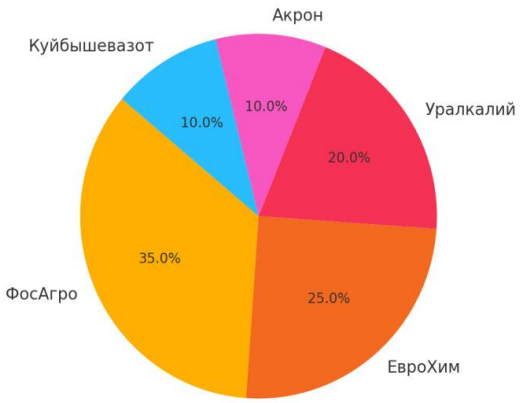


Рис. 1. Рыночные доли групп компаний-производителей
на рынке минеральных удобрений РФ (2023–2024)
Fig. 1. Market shares of groups of manufacturing companies in Russia’s mineral fertilizers market (2023–2024)

Видно, что компании «ФосАгро» и «ЕвроХим» являются одними из крупнейших игроков в сфере производства и дистрибуции минеральных удобрений. Их продукция востребована не только на российском, но и на международном рынках. К примеру, по данным отчета компании, «ФосАгро» занимает около 15 % российского рынка фосфорных удобрений и примерно 3 % мирового рынка. Продукция компаний «ФосАгро» и «ЕвроХим» экспортируется более чем в 100 стран, что делает их важным звеном в цепочке мирового

агропромышленного производства. Таким образом, совершенствование методов управления сбытовыми сетями этих компаний имеет не только национальное, но и международное значение.

Региональные сбытовые сети этих компаний охватывают значительную часть России, что позволяет им напрямую взаимодействовать с клиентами в разных регионах. Однако такие масштабные сети требует тщательного управления для поддержания операционной эффективности и адаптивности к особенностям спроса на локальных рынках. Применение передовых методов управления и оптимизация взаимодействия между центральным офисом (управляющая компания) и управляемыми предприятиями позволят компаниям более гибко и оперативно реагировать на изменения рыночных условий и удовлетворять потребности клиентов с учетом региональных особенностей.

Таким образом, совершенствование системы управления сбытовой сетью также способствует укреплению конкурентных позиций компании на рынке [Симонцев, 2023]. Эффективное управление продажами и логистикой позволяет минимизировать издержки, улучшить координацию между подразделениями и сократить сроки поставок. В условиях роста внутреннего спроса и необходимости адаптации к внешним вызовам оптимизация сбытовой сети становится стратегической задачей для компании. Следовательно, выбор компаний «ФосАгро-Регион» и «ЕвроХим» в качестве объектов исследования обусловлен их значимостью на внутреннем рынке минеральных удобрений РФ, устойчивыми показателями за последние годы и масштабными сбытовыми сетями, которые представляют собой отличный пример для анализа методов управления и оптимизации.

Предметом исследования являются организационно-экономические отношения, возникающие в процессе управления региональными сбытовыми сетями предприятий в рамках хозяйственной деятельности. Исследование фокусируется на изучении, оценке и совершенствовании организационной структуры и процессов управления сбытовыми сетями, что охватывает ряд следующих аспектов.

1. Организационная структура и процессы управления сбытовой сетью. Здесь проводится анализ существующей организационной структуры сетей «ФосАгро» и «ЕвроХим» с учетом влияния на координацию между управляемыми предприятиями и управляющими компаниями. Анализ охватывает распределение полномочий, роль сбытовых структур и взаимодействие между центром и регионами. Особое внимание уделяется необходимости совершенствования организационных процессов, например, усилению вертикальной и горизонтальной координации и созданию единого центра обслуживания для поддержки бэк-офиса (кадровой службы, бухгалтерии, юридической службы).

2. Функции и роль управляющей компании. Важной частью анализа является определение чётких функций и задач управляющей компании в управлении региональной сетью. Анализ охватывает аспекты создания системы регулярной отчётности между управляющей компанией и управляемыми предприятиями, что позволяет повысить прозрачность и ускорить принятие решений. Этот подход позволит рассмотреть и внедрить модели, ориентированные на улучшение контроля и координации.

3. Управление человеческими ресурсами. Здесь анализ методов и инструментов управления включает разработку подходов к управлению персоналом через внедрение стандартов оценки и мотивации сотрудников, работающих в сбытовой сети. Особое внимание уделяется разработке универсальных методик оценки эффективности работы сотрудников, внедрению карьерного планирования и систем нематериальной мотивации. При этом целью анализа является создание единого подхода к управлению персоналом в управляемых предприятиях через управляющую компанию.

4. Интеграция современной платформы управления. В качестве предмета анализа также выступает оценка и разработка системы для обмена информацией и лучшими практиками между управляющей компанией и управляемыми предприятиями. Эта платформа должна объединить стратегические цели и оперативные задачи, обеспечивая согласованность

действий на всех уровнях сбытовой сети. Анализ включает определение оптимальных способов для улучшения взаимодействия и принятия решений, что способствует ускорению операций и повышению прозрачности.

5. Инновационные технологии и цифровизация. Здесь особое внимание уделяется цифровизации процессов управления, включая внедрение аналитических инструментов, Big Data и систем для прогнозирования спроса, управления запасами и улучшения координации [Мирончук, 2023]. Изучение применения цифровых технологий в управлении сбытовой сетью позволяет исследовать, как современные IT-решения могут повысить эффективность, ускорить принятие решений и улучшить прозрачность операционной деятельности.

Таким образом, предмет исследования охватывает весь спектр методов и инструментов управления, применяемых региональными сбытовыми сетями компаний «ФосАгро» и «ЕвроХим», с акцентом на организационное совершенствование, управление человеческими ресурсами, интеграцию единой платформы и цифровизацию процессов.

Методология данного исследования основана на комплексном подходе, который включает в себя использование нескольких методов анализа и оценки. Эти методы позволят всесторонне рассмотреть текущую систему управления региональными сбытовыми сетями компаний «ФосАгро» и «ЕвроХим», выявить возможности для их оптимизации. В основе данного исследования лежит метод сравнительного анализа. Его применение позволяет не только выявить текущие недостатки системы управления, но и предложить обоснованные рекомендации для её совершенствования.

Метод сравнительного анализа применяется для сопоставления методов управления сбытовыми сетями, практиками аналогичных компаний в агрохимической отрасли с разветвлённым географическим присутствием. Основное внимание уделено крупным отечественным игрокам, как «ФосАгро» и «Еврохим», которые работают в секторе минеральных удобрений и имеют разветвленные сбытовые сети. Сравнительный анализ позволяет выявить наиболее эффективные методы и подходы и адаптировать их с учётом специфики компании и рынка минеральных удобрений.

Результаты и обсуждение

Централизованная и децентрализованная модели: сравнительный анализ

Проведем сравнительный анализ моделей управления региональными сбытовыми сетями двух крупнейших компаний по производству минеральных удобрений «ФосАгро» и «ЕвроХим».

Отметим, что существует несколько подходов к классификации моделей управления сбытовыми сетями, в зависимости от их структуры, методов дистрибуции и управления. В частности, можно выделить такие основные модели управления, как:

1) Централизованная модель – все управленческие решения относительно продаж, дистрибуции и логистики принимаются в центральном офисе компании. Региональные подразделения выполняют функции в сфере операционной деятельности, но не обладают самостоятельностью в принятии стратегических решений. Такой подход характерен для крупных вертикально интегрированных холдингов, где централизованное управление позволяет контролировать качество услуг и единство политики продаж по всем регионам. Централизованную модель также называют моделью «управляющая компания – группа управляемых предприятий».

2) Децентрализованная модель – каждое региональное бытовое предприятие обладает значительной автономией в управлении сбытовыми процессами, адаптируя стратегию компании к особенностям местного рынка. Это характерно для компаний, работающих на нескольких международных рынках, который делегирует полномочия региональным подразделениям для большей гибкости и адаптации к условиям конкретных стран.

3) Смешанная модель – комбинация централизованного и децентрализованного управления, при которой стратегические решения принимаются на уровне центрального офиса, а тактические задачи решаются региональными подразделениями. Такой подход используется в компаниях, которые хотят сочетать высокий уровень контроля с гибкостью на местах, и может быть эффективен для холдингов, работающих как на внутреннем, так и на внешнем рынках

Анализ показал, что в компании «ФосАгро» применяется централизованная модель («управляющая компания – группа управляемых предприятий»). Центральный офис координирует работу всей сбытовой сети в регионах и контролирует выполнение стратегических задач, при этом региональные офисы на местах имеют возможность приспосабливать свои действия к условиям локального рынка сбыта. Управляющая компания широко использует новые цифровые бизнес-инструменты, к которым относятся CRM и ERP-системы, что позволяет повысить эффективность организации взаимодействия с клиентами и управления поставками с учётом потребностей регионов. Региональные предприятия, в свою очередь, выполняют задачи по обеспечению прямого контакта с клиентами, гибко реагируют на изменения рынка и передают управляющей компании информацию о настроениях и потребностях на местах.

Проведенный анализ также показал, что компания «ЕвроХим» применяет в своей деятельности децентрализованную модель управления. При этом она также активно внедряет современные цифровые бизнес-решения для достижения высокой гибкости, что позволяет компании эффективно работать как на внутреннем, так и на международных рынках. Несмотря на то, что региональные отделения характеризуются большой автономией в вопросах управления на местах (а это позволяет им быстро реагировать на изменения в спросе), управляющее центральное отделение осуществляет общую координацию и контроль посредством современных цифровых бизнес-решений для анализа данных и управления.

Таким образом, управляя сбытовой сетью по модели «управляющая компания – группа управляемых предприятий», «ФосАгро» успешно сочетает централизованное стратегическое управление с оперативной адаптацией на местах, что позволяет компании поддерживать высокий уровень контроля и удовлетворенности клиентов. Для сравнения с компанией «ФосАгро», использующей модель управления сбытовой сетью по принципу «управляющая компания – группа управляемых предприятий», рассмотрим другой крупный агрохимический холдинг, «ЕвроХим», который использует децентрализованную модель управления сбытовой сетью с высокой степенью автономии региональных подразделений. Сравнение этих двух компаний позволяет лучше понять, какие преимущества и ограничения предоставляет каждая из моделей управления сбытовой сетью, и представлено в таблице 1.

На основе проведенного анализа можно выделить следующие достоинства модели «управляющая компания – группа управляемых предприятий», применяемой в «ФосАгро».

1. Централизованный контроль и высокий уровень стандартизации: региональные предприятия и отделения в такой модели используют единые стандарты, что обеспечивает высокое качество обслуживания во всех них посредством централизованного управления и контроля.

2. Применение современных цифровых бизнес-решений: для оптимизации логистических процессов и поставок, а также для прогнозирования рынка с целью минимизации финансовых потерь головной офис активно применяет ERP и CRM-системы.

3. Вертикальное принятие решений: в управляющей компании осуществляется централизованный анализ данных, на основе результатов которого имеется возможность оперативно принимать стратегически важные решения и управлять региональными предприятиями сети.

Однако, при всех достоинствах такой модели, она не лишена и ряда недостатков:

1. Слабая адаптивность региональных подразделений: управляемые предприятия не могут быстро проявлять гибкость в политике управления при изменении рыночной ситуации и спроса на местах в силу высокого уровня стандартизации подходов к удовлетворению клиентских потребностей.

2. Низкий уровень внедрения инновационных решений на местах: опять в силу высокого уровня стандартизации в централизованной модели по сравнению с децентрализованой и смешанной моделями у региональных отделений практически отсутствует возможность самостоятельного внедрения таких бизнес-решений, которые бы наилучшим образом подходили именно данному региону.

Таблица 1
Table 1

Сравнение моделей управления «ФосАгро» и «ЕвроХим»
Comparison of PhosAgro and EuroChem management models

Критерий	ФосАгро – Модель «управляющая компания – группа управляемых предприятий»	ЕвроХим – Децентрализованная модель с автономией региональных подразделений
1	2	3
Тип управления	Централизованное управление через управляющую компанию, которая задает стратегию и контролирует управляемые предприятия.	Децентрализованное управление, где региональные подразделения имеют значительную степень автономии и самостоятельно принимают решения в рамках заданной стратегии.
Роль управляющей компании	Управляющая компания контролирует все аспекты деятельности сбытовой сети, задает общие стандарты и стратегию.	Центральный офис формулирует стратегию и основные принципы, но операционные задачи делегируются региональным офисам.
Гибкость и адаптация к местным условиям	Ограниченная гибкость на местах из-за необходимости соблюдения централизованных стандартов, однако управляемые предприятия могут адаптироваться в рамках заданных параметров.	Высокая гибкость и адаптивность, так как региональные офисы могут самостоятельно изменять подходы, исходя из особенностей локального рынка и предпочтений клиентов.
Контроль и стандартизация процессов	Высокий уровень контроля и стандартизации всех процессов. Управляющая компания следит за соблюдением стандартов обслуживания и взаимодействия с клиентами.	Более слабый контроль со стороны центрального офиса, так как региональные подразделения работают самостоятельно, что может приводить к разнонаправленности действий и менее единообразной политике.
Поддержка обратной связи	Управляющая компания активно собирает обратную связь от региональных подразделений, что позволяет адаптировать стратегию и оперативно учитывать настроения потребителей.	Региональные подразделения имеют больше возможностей для непосредственного общения с клиентами и могут оперативно учитывать их потребности, однако обратная связь доходит до центрального офиса с задержкой и, как правило, не стандартизирована.

Окончание табл. 1
End of table 1

1	2	3
Внедрение цифровых технологий и автоматизация	Активное использование CRM и ERP-систем для централизованного управления клиентскими отношениями и логистикой. Цифровые технологии позволяют управляющей компании координировать действия управляемых предприятий и контролировать ключевые показатели.	Внедрение цифровых технологий носит более локальный характер: региональные подразделения могут выбирать те решения, которые лучше всего подходят для их рынка, но единая система взаимодействия и автоматизации внедряется с трудом из-за децентрализованного подхода.
Прогнозирование спроса и управление запасами	Управляющая компания анализирует данные с помощью BigData и централизованных аналитических систем, что позволяет точно планировать поставки и минимизировать затраты на хранение.	Прогнозирование спроса осуществляется на уровне региональных подразделений, что дает возможность учитывать локальные особенности, но может приводить к проблемам с согласованностью запасов и повышенным издержкам на хранение.
Роль региональных подразделений	Управляемые предприятия выполняют операционные задачи, следуя стратегии и указаниям управляющей компании. Фокус на оперативное выполнение задач и поддержание стандартов.	Региональные офисы обладают высокой степенью самостоятельности и могут самостоятельно управлять логистикой, клиентскими отношениями и маркетинговыми активностями в зависимости от локальных условий.
Пример применения модели	«ФосАгро» использует централизованную модель, где стратегические решения и контроль процессов исходят от управляющей компании, что повышает единообразие политики и стабильность обслуживания.	«ЕвроХим» использует децентрализованную модель, позволяющую региональным офисам быстро адаптироваться к потребностям локальных клиентов и изменяющимся рыночным условиям, повышая гибкость.

Выделим теперь достоинства децентрализованной модели с автономией региональных подразделений, применяемой в «ЕвроХим»:

1. Высокая гибкость к изменениям условий рынка на местах: региональные отделения имеют возможность в силу высокого уровня самостоятельности быстро менять стратегии в зависимости вариативности потребностей клиентов на местах и учитывать рыночные условия, присущие конкретному региону.

2. Высокая степень свободы принятия управленческих решений: региональные отделения имеют возможность использовать такие инструменты и цифровые бизнес-решения, которые будут наиболее подходящими для взаимодействия с клиентами данного региона, что делает компанию более гибкой и конкурентоспособной как в различных рыночных условиях, так и в различных регионах.

Однако, при всех достоинствах такой модели, она не лишена и ряда недостатков:

1. Низкий уровень контроля и стандартизации: неизбежно возникает неравномерность в распределении уровня качества обслуживания клиентов в силу слабого контроля региональных отделений со стороны управляющих компаний.

2. Сложность системного внедрения цифровых инструментов и бизнес-решений: возникают проблемы обмена данными между различными информационными системами, которые используются в разных региональных отделениях, что также усложняет централизованное применение общих информационных систем.

Видно, что рассмотренные модели управления региональными сбытовыми сетями, используемые в «ФосАгро» и «ЕвроХим», обладают как достоинствами, так и недостатками. Компания «ФосАгро» применяет в рамках модели «управляющая компания – группа управляемых предприятий» высокоцентрализованное управление, которое делает возможным достижение высоких стандартов обслуживания клиентов и быстро адаптировать бизнес-процессы, однако снижает гибкость принятия управленческих решений в конкретных регионах. Компания «ЕвроХим», используя противоположный подход, в рамках модели децентрализованного управления предоставляет региональным отделениям большую свободу действий и возможность быстрой адаптации к локальным условиям, однако снижает уровень стандартизации и централизации использования общих информационных систем.

Каждая из моделей эффективна для конкретных стратегических целей: централизованное управление подходит компаниям, ориентированным на стандартизированный подход и контроль, тогда как децентрализованная модель подходит для компаний, стремящихся к гибкости и локальной адаптации.

Возможности повышения эффективности управления сбытовыми сетями в условиях цифровизации экономики и управления

Проведенный сравнительный анализ моделей управления сбытовыми сетями на примере компаний минерально-сырьевой отрасли позволяет сформулировать общие рекомендации для их развития в контексте ускорения цифровой трансформации общества, а также проанализируем их возможное применение на практике.

1. Необходимо организовать более быстрое внедрений цифровых технологий в процесс управления сбытовой сетью. Чем быстрее будут внедрены цифровые решения во все этапы и уровни функционирования сбытовой сети, тем, очевидно, будет выше уровень ее экономической эффективности в быстро меняющихся реалиях цифрового мира [Горобченко, 2024]. В результате ускорения цифровизации быстрее появится возможность уменьшения финансовых потерь и издержек, увеличения эффективности управления запасами, и также улучшения координации между региональными отделениями.

2. Необходимо организовать применение интегрированной системы управления. Такая интегрированная система, базирующаяся на современных цифровых решениях, будет предоставлять возможность слияния стратегического планирования и контроля, реализуемых управляющей компанией, с оперативным принятием решений на уровне управляемых предприятий. Следовательно, возникает возможность для более высокой степени синхронизации действий между уровнями управления, а это считается существенным для предприятий с масштабной сетью сбыта, широко распределенной по регионам на больших расстояниях.

Интегрированная система, основанная на цифровой модели управления, ориентирована на достижение двух ключевых целей. Во-первых, она обеспечивает выполнение стратегических задач компании в условиях географически распределённой сбытовой сети, минимизируя риск несогласованных действий. Во-вторых, она создаёт условия для оперативного реагирования на локальные изменения и корректировки действий управляемых предприятий в случае отклонений от стратегического плана. Такой комбинированный подход в условиях цифровой трансформации позволяет учитывать особенности отдельных регионов, включая сезонность спроса, экономические факторы и потребности клиентов.

Интегрированная система управления региональных сбытовых предприятий, охватывающая продажи, затраты, качество обслуживания, характеризуется рядом преимуществ:

– устранение географической разрозненности: использование централизованных IT-решений стирает границы между регионами и позволяет региональным предприятиям и центральному офису работать в одной системе;

– оперативное принятие решений: быстрый доступ к актуальной информации позволяет мгновенно реагировать на изменения рынка;

– согласованность действий: общая информационная среда обеспечивает единство целей и подходов к выполнению задач;

– экономия ресурсов: сокращение затрат на логистику, управление данными и коммуникацию.

Использование такой модели позволит компании достигать высокой степени координации, минимизировать издержки и обеспечивать адаптивность к изменениям рыночных условий.

3. Необходимо организовать широкое внедрение систем искусственного интеллекта. Применение систем интеллектуального анализа данных и технологий Big Data в разы повышает эффективность прогнозирования спроса, анализа производительности сбытовой сети и оптимизации запасов складского хранения. У компании появляются новые возможности для повышения эффективности и адаптации к рыночным условиям в условиях ускоренной цифровой трансформации экономики. Такие современные цифровые решения, основанные на системах искусственного интеллекта, также повышают уровень скоординированности действий между управляющей компанией и управляемыми предприятиями [Мирончук и др., 2023].

Современные технологий Big Data при интеграции с технологиями машинного обучения дают возможность быстро собирать и анализировать большие массивы информации, отражающие показатели продаж, динамику запасов, поведение клиентов и макроэкономические тенденции. Системы искусственного интеллекта эффективно помогают интерпретировать эти данные, выявляя закономерности и тенденции процессов [Савотченко и др., 2024]. На основе такой аналитики можно строить точные прогнозы спроса, которые учитывают сезонные изменения, экономические факторы и региональные особенности. Это позволяет более эффективно планировать поставки, снижать издержки и избегать избыточных запасов на складах.

Примером эффективного применения технологий Big Data и искусственного интеллекта в управлении сбытовой сетью является использование данных о продажах для прогнозирования потребности покупателей в конкретных видах минеральных удобрений и оптимизации закупочной политики. Анализ исторических данных за несколько лет позволяет определить ключевые тренды и сезонные колебания спроса, что создаёт основу для формирования точных прогнозов и стратегического планирования.

Рассмотрим, как это может быть реализовано на практике. Проектный отдел управляющей компании на примере одного из управляемых предприятий применяет расчет с использованием искусственного интеллекта, другими словами, анализирует данные о продажах удобрений в регионе за предыдущие сезоны, учитывая такие факторы, как погодные условия, типы культур, выращиваемых в данном регионе, экономические показатели и поведение покупателей. На основе этого анализа формируется прогноз потребности в каждом виде минеральных удобрений на предстоящий сезон. Это позволяет не только определить оптимальные объёмы продукции, но и спрогнозировать временные пики спроса.

Таким образом, использование технологий Big Data и искусственного интеллекта в данном контексте способствует повышению точности планирования, снижению затрат и увеличению конкурентоспособности компании на рынке. Это пример того, как современные технологии могут трансформировать традиционные подходы к управлению и создавать новые возможности для роста и развития бизнеса.

Внедрение технологий искусственного интеллекта в управление предприятиями формирует основу для более быстрого и эффективного принятия управленческих решений. В результате будут снижаться операционные издержки, а также улучшится взаимодействие между различными подразделениями компании, делая всю структуру управления более гибкой и адаптивной. Следовательно, компания сможет получить существенные конкурентные преимущества, укрепив свои позиции на рынке и повысив долгосрочную устойчивость.

4. Создание единой цифровой платформы управления. Важной частью цифровизации управления становится создание единой платформы, которая объединяет управляющую компанию и управляемые предприятия. Такая система обеспечивает централизованный доступ к данным, позволяя руководителям на всех уровнях работать с актуальной информацией в режиме реального времени. Благодаря платформе управляемые предприятия могут обмениваться лучшими практиками и успешными кейсами, что способствует общему росту эффективности всей компании. Интеграция функций аналитики в платформу позволяет автоматически формировать рекомендации по оптимизации процессов и оперативно корректировать действия при отклонениях от плана.

5. Использование имитационного моделирования. Имитационное моделирование в логистике представляет собой мощный инструмент, позволяющий компаниям испытывать различные сценарии и принимать обоснованные решения для оптимизации своих ресурсов [Больт и др., 2024]. В условиях усиливающейся конкуренции на рынке и постоянного изменения потребностей клиентов, использование такого подхода помогает предприятиям значительно повысить свою эффективность и конкурентоспособность [Серова, и др., 2024]. Имитационное моделирование позволяет моделировать реальные процессы, тем самым предоставляя подробную картину того, как функционирует логистическая система, и выявлять узкие места или неэффективности [Шкляев, и др., 2023].

Одним из главных преимуществ имитационного моделирования является способность осуществлять анализ «что-если» без необходимости реального внедрения изменений, что во много раз дешевле и безопаснее. Например, компании могут смоделировать различные сценарии для проверки влияния введения новых складов, изменения маршрутов доставки или введения новых технологий [Веремчук, 2021]. Это обеспечивает всестороннюю оценку возможных последствий тех или иных решений и позволяет выбрать наилучший вариант без риска потери ресурсов.

Оптимизация ресурсов через имитационное моделирование позволяет точно определять необходимое количество складских помещений, транспортных средств и персонала. Моделирование процессов хранения и распределения продукции позволяет сократить избыточные запасы, что напрямую снижает затраты на хранение и транспортировку [Силкина, 2021]. Например, можно точно рассчитать необходимый уровень запасов определенной продукции, минимизируя потери от дефицита и избыточных запасов [Тойменцева, 2022].

Моделирование транспортных процессов предоставляет возможность значительно улучшить логистику на всех уровнях. Анализ существующих маршрутов и применение новых решений позволяют снизить расходы на топливо и обслуживание транспортных средств, а также уменьшить время доставки. Оптимизируя маршруты доставки, компании также могут сократить выбросы углекислого газа, что сейчас является одним из приоритетных направлений для многих организаций, стремящихся к устойчивому развитию.

Здесь следует отметить, что тенденция цифровизации экономики и управления влечет за собой необходимость повышения уровня обеспечения безопасности системы управления предприятием [Савотченко, Акапьев, 2024; Акапьев В.Л. и др., 2024]. Поэтому внедрение современных цифровых решений в систему управления предприятием, и его сбытовой сетью в том числе, требует комплексного подхода, подразумевающего также параллельное внедрение системы, направленной на противодействие угрозам кибербезопасности.

Заключение

В минерально-сырьевой отрасли по производству минеральных удобрений с собственным добывающим комплексом, где спрос может сильно колебаться в зависимости от сезона и где продукт требует особых условий хранения и транспортировки, роль сбытовой сети становится особенно важной. Современные методы и модели управления сбытовыми сетями были рассмотрены на примере компаний «ФосАгро» и «ЕвроХим». Было выявлено, что наиболее актуальными моделями управления являются подходы, основанные на использовании цифровых технологий и аналитических инструментов. Особое внимание уделено важности интеграции функций между управляющей компанией (управляющая организация) и региональными сбытовыми предприятиями (управляемые предприятия) через единые системы управления.

Различия в подходах компаний к организации региональных сбытовых сетей отражают их стратегические модели управления, приоритеты и цели. Компании, ориентированные на внутренний рынок («ФосАгро»), развивают сеть логистических центров для обеспечения оперативной доставки и гибкости. Компании, ориентированные на экспорт и снижение операционных затрат («ЕвроХим»), используют косвенные каналы дистрибуции и партнеров-дистрибьюторов. Эти особенности моделей управления региональными сбытовыми сетями позволяют каждой компании удовлетворять потребности своих клиентов и адаптироваться к условиям минерально-сырьевого рынка.

Однако, на наш взгляд, внедрение гибридной модели управления, сочетающей элементы централизованного и децентрализованного управления, позволит существенно повысить эффективность управления сбытовыми сетями. Это обусловлено тем, что в современных условиях развития бизнеса, когда компании вынуждены одновременно учитывать стратегические цели и специфику локальных рынков, одним из наиболее эффективных подходов становится гибридная модель управления. Она сочетает в себе преимущества централизованного и децентрализованного подходов, обеспечивая баланс между строгим контролем со стороны управляющей компании и оперативной адаптацией управляемых предприятий к изменениям в региональной среде. Другими словами, гибридная модель управления направлена на интеграцию сильных сторон обоих подходов. В рамках этой модели стратегические задачи и ключевые решения остаются в зоне ответственности центрального офиса, в то время как региональные структуры получают полномочия для реализации тактических задач и адаптации стратегии к региональным условиям. Такой подход позволяет компании эффективно управлять разветвлённой сбытовой сетью, повышая её гибкость, оперативность и координацию.

Для успешного внедрения гибридной модели управления требуется создание чёткой структуры взаимодействия между управляющей компанией и управляемыми предприятиями, внедрение унифицированных регламентов и стандартов, а также разработка системы двусторонней коммуникации. Это обеспечит синхронизацию действий на всех уровнях управления, прозрачность процессов и возможность быстрой корректировки планов.

Однако в условиях цифровизации общества и экономики, в частности, успешное внедрение такой модели немыслимо без использования современных цифровых инструментов, таких как систем искусственного интеллекта и технологий BigData, повышающих эффективность за счет автоматизации [Савотченко, Акапьев, 2023]. Это ускоряет обработку данных, снижает вероятность ошибок и минимизирует затраты на рутинные процессы. Также важным аспектом здесь является процесс моделирования реальных сценариев работы предприятия без угрозы для текущих операций или финансовых результатов компании.

Список литературы

Акапьев В.Л., Савотченко С.Е., Жукова Н.А. 2024. Развитие интернета вещей и проблемы обеспечения его безопасности. *Вопросы российского и международного права*, 14 (2): 277–287.

Больт А.С., Больт П.С., Потапова Д.Ю. 2024. Имитационное моделирование как элемент оптимизации транспортно-логистических потоков. *Наука и техника транспорта*, 1: 73–76.

Веремчук Н.С. 2021. О разработке имитационной модели доставки груза. *Перспективы науки*, 11(146): 41–44.

Веретёхин А.В. 2023. Цифровые трансформации компании: классификация подходов к определению и специфика управления. *E-management*, 6(2): 91–101.

Горобченко С.Л., Ковалёв Д.А., Войнаш С.А., Теппоев А.В., Нестеров Д.А. 2024. Основные направления автоматизации цифровых платформ, структура и алгоритм интегрированного планирования. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 7: 192–198.

Зворыкина Ю.В. Будина Т.С., Кайманаков И.С. 2024. Управление отходами недропользования в Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. *Горная промышленность*, 5: 59–65.

Ксенофонтова П.А. 2023. Формирование адаптационных механизмов управления глобальными цепями поставок в период глобальной нестабильности. *Инновации и инвестиции*, 12: 79–81.

Кудайберген К.Ж. 2021. Инновационные методы и модели планирования и управления целевыми схемами поставок в промышленных холдингах. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*, 3(59): 53–66.

Мелехова В.Д. 2019. Цифровая трансформация в управлении цепочкой поставок. *Human Progress*, 5(2): 1–11.

Мирончук В.А. Золкин А.Л., Батищев А.В., Урусова А.Б. 2023. Интеграция больших данных и аналитических возможностей в современные системы поддержки принятия решений. *Вестник Академии знаний*, 5(58): 227–230.

Савотченко С.Е., Акапьев В.Л. 2023. Развитие цифровой экономики: позитивные эффекты и риски. Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VIII Международной научной конференции. Том 5. Донецк: Изд-во ДонНУ: 202–204.

Савотченко С.Е., Акапьев В.Л. 2024. Системная актуализация мероприятий, повышающих эффективность кибербезопасности в условиях цифровизации. *Охрана, безопасность, связь*, 9(1): 232–237.

Савотченко С.Е., Захаров В.А., Акапьев В.Л. 2024. Искусственный интеллект: проблемы определения и правового регулирования. Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции. Том 2. Донецк: Изд-во ДонГУ: 238–240.

Серова Е.Г., Шкляев Д.О., Сумятина В.О. 2024. Управление процессами морской логистики в нефтяной отрасли: анализ и совершенствование с помощью агентно-ориентированных имитационных моделей. *Судостроение*, 1(872): 61–68.

Силкина Г.Ю. Щербаков В.В. 2021. Информационно-аналитический инструментарий логистики и управления цепями поставок. *Логистические системы в глобальной экономике*, 11: 280–284.

Симонцев Д.А. 2023. Совершенствование системы управления региональной сбытовой сети производственного холдинга. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 13(5А): 266–271.

Смирнова Е.А., Зуев А.В. 2022. Модели и методы управления цепями поставок. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*, 2: 95–100.

Тойменцева И.А. 2022. Разработка рациональных решений в логистике на основе применения методов имитационного моделирования. Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: Межвузовский сборник научных трудов, 1: 159–164.

Шкляев Д.О. 2023. Имитационное моделирование как инструмент обеспечения эффективности планирования цепочек поставок в нефтяной отрасли. *PROнефть. Профессионально о нефти*, 8(3): 179–185.

Kaynak Okyay, Shen Yin. 2015. Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View]. Proceedings of the IEEE, 103: 143–146.

References

Akap'ev V.L., Savotchenko S.E., Zhukova N.A. 2024. Razvitie interneta veshhej i problemy obespechenija ego bezopasnosti [Development of the Internet of Things and the Problems of Ensuring Its Security]. *Voprosy rossijskogo i mezhdunarodnogo prava*, 14 (2): 277–287.

Bol't A.S., Bol't P.S., Potapova D.Ju. 2024. Imitacionnoe modelirovanie kak jelement optimizacii transportno-logisticheskih potokov [Simulation modeling as an element of optimization of transport and logistics flows]. *Nauka i tehnika transporta*, 1: 73–76.

Veremchuk N.S. 2021. O razrabotke imitacionnoj modeli dostavki gruza [On the development of a simulation model for cargo delivery]. *Perspektivy nauki*, 11(146): 41–44.

Veretjohin A.V. 2023. Cifrovye transformacii kompanii: klassifikacija podhodov k opredeleniju i specifika upravlenija [Digital transformation of the company: classification of approaches to definition and management specifics]. *E-management*, 6(2): 91–101.

Gorobchenko S.L., Kovaljov D.A., Vojnash S.A., Teppoev A.V., Nesterov D.A. 2024. Osnovnye napravlenija avtomatizacii cifrovyh platform, struktura i algoritm integrirovannogo planirovanija [Main directions of automation of digital platforms, structure and algorithm of integrated planning]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*, 7: 192–198.

Zvorykina Ju.V. Budina T.S., Kajmanakov I.S. (2024) Upravlenie othodami nedropol'zovanija v Strategii razvitija mineral'no-syr'evoj bazy Rossijskoj Federacii [Management of subsoil waste in the Strategy for the Development of the Mineral Resource Base of the Russian Federation]. *Gornaja promyshlennost'*, 5: 59–65.

Ksenofontova P.A. 2023. Formirovanie adaptacionnyh mehanizmov upravlenija global'nymi cepjami postavok v period global'noj nestabil'nosti. *Innovacii i investicii* [Formation of adaptive mechanisms for managing global supply chains in a period of global instability], 12: 79–81.

Kudajbergen K.Zh. 2021. Innovacionnye metody i modeli planirovanija i upravlenija celevymi shemami postavok v promyshlennyh holdingah [Innovative methods and models of planning and managing target supply chains in industrial holdings]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki*, 3(59): 53–66.

Melehova V.D. 2019. Cifrovaja transformacija v upravlenii cepochkoj postavok [Digital Transformation in Supply Chain Management]. *Human Progress*, 5(2): 1–11.

Mironchuk V.A. Zolkin A.L., Batishhev A.V., Urusova A.B. 2023. Integracija bol'shih dannyh i analiticheskih vozmozhnostej v sovremennye sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Integrating Big Data and Analytics Capabilities into Modern Decision Support Systems]. *Vestnik Akademii znanij*, 5(58): 227–230.

Savotchenko S.E., Akap'ev V.L. 2023. Razvitie cifrovoj jekonomiki: pozitivnye jeffekty i riski [Development of the digital economy: positive effects and risks]. Doneckie chtenija 2023: obrazovanie, nauka, innovacii, kul'tura i vyzovy sovremennosti: Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Tom 5. Doneck: Izd-vo DonNU: 202–204.

Savotchenko S.E., Akap'ev V.L. 2024. Sistemnaja aktualizacija meroprijatij, povyshajushhih jeffektivnost' kiberbezopasnosti v uslovijah cifrovizacii [Systematic updating of measures to improve the effectiveness of cybersecurity in the context of digitalization]. *Ohrana, bezopasnost', svjaz'*, 9(1): 232–237.

Savotchenko S.E., Zaharov V.A., Akap'ev V.L. 2024. Iskusstvennyj intellekt: problemy opredelenija i pravovogo regulirovanija [Artificial intelligence: problems of definition and legal regulation]. Doneckie chtenija 2024: obrazovanie, nauka, innovacii, kul'tura i vyzovy sovremennosti: Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Tom 2. Doneck: Izd-vo DonGU: 238–240.

Serova E.G., Shkljaev D.O., Sumjatina V.O. 2024. Upravlenie processami morskoj logistiki v neftjanoj otrasli: analiz i sovershenstvovanie s pomoshh'ju agentno-orientirovannyh imitacionnyh modelej [Marine Logistics Process Management in the Oil Industry: Analysis and Improvement Using Agent-Based Simulation Models]. *Sudostroenie*, 1(872): 61–68.

Silkina G.Ju. Shherbakov V.V. 2021. Informacionno-analiticheskij instrumentarij logistiki i upravlenija cepjami postavok [Information and analytical tools for logistics and supply chain management]. *Logisticheskie sistemy v global'noj ekonomike*, 11: 280–284.

Simoncev D.A. 2023. Sovershenstvovanie sistemy upravlenija regional'noj sbytovoj seti proizvodstvennogo holding [Improving the management system of the regional distribution network of a manufacturing holding]. *Ekonomika: vchera, segodnja, zavtra*, 13(5A): 266–271.

Smirnova E.A., Zuev A.V. 2022. Modeli i metody upravlenija cepjami postavok [Models and methods of supply chain management]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Serija: Ekonomika*, 2: 95–100.

Tojmenceva I.A. 2022. Razrabotka racional'nyh reshenij v logistike na osnove primenenija metodov imitacionnogo modelirovanija [Development of rational solutions in logistics based on the application of simulation modeling methods]. Problemy sovershenstvovanija organizacii proizvodstva i upravlenija promyshlennymi predprijatijami: Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov, 1: 159–164.

Shkljaev D.O. 2023. Imitacionnoe modelirovanie kak instrument obespechenija jeffektivnosti planirovanija cepochek postavok v neftjanoj otrasli [Simulation modeling as a tool for ensuring the efficiency of supply chain planning in the oil industry]. *PROneft'. Professional'no o nefti*, 8(3): 179–185.

Kaynak Okyay, Shen Yin. 2015. Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View]. *Proceedings of the IEEE*, 103: 143–146.

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 26.02.2025
Поступила после рецензирования 20.05.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Received February 26, 2025
Revised May 20, 2025
Accepted May 27, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Симонцев Денис Андреевич, аспирант кафедры высшей математики и физики, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, 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

Denis A. Simontsev, postgraduate student of the Department of Higher Mathematics and Physics, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, 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

УДК 338.012
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-346-358
EDN ILFKWQ

Проблемы и перспективы развития транспортной отрасли как фактора роста российской экономики

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

Аннотация. В условиях существенных экономических и политических изменений, характеризующихся усилением санкционного давления и необходимостью импортозамещения, транспортная отрасль играет ключевую роль в обеспечении устойчивости экономики и поддержке внутреннего производства. Российская транспортно-логистическая система претерпела значительные изменения после ухода европейских поставщиков, морских контейнерных линий и переориентации направления торговли. В целом процесс адаптации к изменившимся условиям на мировой политической и экономической арене можно назвать достаточно успешным. Однако процессы повышения эффективности функционирования транспорта и логистики в современных реалиях все ещё продолжаются. Для решения актуальных проблем необходимо ускоренное развитие современной транспортной инфраструктуры, ориентированной на обслуживание внутренних потребностей и поддержку импортозамещения, включая строительство новых автомобильных и железных дорог, связывающих производственные центры с логистическими узлами и рынками сбыта, а также модернизацию портов, обеспечивающих эффективную перевалку грузов. Ключевые транспортные коридоры России интегрированы в международные логистические системы, что открывает новые горизонты для развития транзитных перевозок и углубления международного сотрудничества. В эпоху глобализации и развития мировой торговли эффективное функционирование транспортных артерий приобретает критическое значение для активной вовлеченности России в мировые торговые и логистические процессы.

Ключевые слова: транспорт, транзитный потенциал, пропускная способность, международные транспортные коридоры, мультимодальные перевозки, транспортно-логистическая инфраструктура, внешнеэкономический потенциал

Для цитирования: Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П. 2025. Проблемы и перспективы развития транспортной отрасли как фактора роста российской экономики. *Экономика. Информатика*, 52(2): 346–358. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-346-358 EDN ILFKWQ

Problems and Prospects for the Development of the Transport Industry as a Factor in the Growth of the Russian Economy

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

Abstract. In the context of significant economic and political changes characterized by increased sanctions pressure and the need for import substitution, the transport industry plays a key role in ensuring the sustainability of the economy and supporting domestic production. The Russian transport and logistics system has undergone significant changes after the departure of European suppliers, sea container lines, and the reorientation of trade directions. In general, the process of adaptation to the changed conditions in the global political and economic arena can be

© Селюков М.В., Цевенкова Е.О., Шалыгина Н.П., 2025

described as quite successful. However, the processes of increasing the efficiency of transport and logistics in modern realities are still ongoing. To solve urgent problems, it is necessary to accelerate the development of modern transport infrastructure aimed at servicing domestic needs and supporting import substitution, including the construction of new roads and railways connecting production centers with logistics hubs and sales markets, as well as the modernization of ports that ensure efficient transshipment of goods. Key transport corridors of Russia are integrated into international logistics systems, which opens up new horizons for the development of transit transportation and deepening international cooperation. In the era of globalization and the development of world trade, the efficient functioning of transport arteries is becoming critical for Russia's active involvement in global trade and logistics processes.

Keywords: transport, transit potential, throughput, international transport corridors, multimodal transportation, transport and logistics infrastructure, foreign economic potential

For citation: Selyukov M.V., Tsevenkova E.O., Shalygina N.P. 2025. Problems and Prospects for the Development of the Transport Industry as a Factor in the Growth of the Russian Economy. *Economics. Information technologies,* 52(2): 346–358 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-346-358 EDN ILFKWQ

Введение

Российская Федерация вступает в пятилетний период масштабной перестройки транспортной архитектуры, нацеленной на высвобождение потенциала перевозок и повышение стандартов сервиса.

Стратегическим императивом становится радикальная модернизация железнодорожных артерий в совокупности с наращиванием мощности автодорожной сети и форсированным развитием морского сообщения. Запланированные преобразования в структуре национальных транспортных коммуникаций призваны не только усилить позиции российской экономики в глобальной конкурентной борьбе, но и сформировать максимально благоприятные условия для перемещения пассажиров и грузов. Для реализации этих амбициозных целей Правительство РФ направляет внушительные инвестиции из резервных фондов: порядка 300 млрд рублей – на развитие железнодорожной сети, и около 500 млрд рублей – на обновление авиационного комплекса страны.

Текущая ситуация в транспортной системе России характеризуется наличием различных видов транспорта и их комплексным взаимодействием. Локомотивами транспортной доступности выступают железнодорожные и автомобильные магистрали. Российская железнодорожная сеть, расположенная на 85 тысячах километров, – одна из самых разветвленных в мире. Автомобильные трассы, в свою очередь, связывают воедино регионы страны, формируя единое экономическое пространство. Приоритетного внимания заслуживает развитие транспортной инфраструктуры восточных территорий, где уровень ее развития напрямую влияет на региональный социально-экономический прогресс. Дальнейшая модернизация транспортных маршрутов на востоке страны не только раскроет потенциал экономического роста, но и станет надежным фундаментом для укрепления положения страны на международной арене. А значит положительным образом повлияет на повышение экономической безопасности страны вследствие усиления внешнеторговых рестрикций со стороны недружественных западных государств [Селюков, Шалыгина, 2024].

Однако, несмотря на стратегическую важность, транспортная отрасль РФ сталкивается с целым рядом серьезных проблем, сдерживающих ее развитие и снижающих ее эффективность. По данным Министерства транспорта РФ, износ основных фондов в отдельных сегментах транспортной инфраструктуры превышает 60 %, а в некоторых регионах, например, в Республике Тыва, этот показатель достигает 80 %, что приводит к увеличению аварийности, снижению пропускной способности и росту эксплуатационных расходов [Мартынушкин, 2023]. Только на содержание автомобильных дорог ежегодно требуется более 1 триллиона рублей. Существующая транспортная система характеризуется недостаточной

координацией между различными видами транспорта, неразвитостью мультимодальных перевозок и высокой долей ручного труда в логистических операциях. Например, по оценкам экспертов, время доставки грузов из европейской части России в Дальневосточный регион в среднем в 2–3 раза превышает аналогичные показатели в развитых странах, таких как Китай или США, что снижает конкурентоспособность российских товаров на азиатских рынках [Бондаренко, Гладунов, 2022]. Неэффективное использование железнодорожных контейнерных перевозок и недостаточная развитость логистических центров также являются сдерживающими факторами.

Особую остроту проблемам транспортной отрасли придали экономические и политические изменения, произошедшие в России в период с 2022 года. Усиление санкционного давления со стороны стран Запада, перестройка производственных цепочек, необходимость импортозамещения и переориентация на новые рынки сбыта в Азии и Африке потребовали от транспортной системы оперативной адаптации к новым экономическим реалиям. Геополитическая напряженность привела к разрыву традиционных логистических связей с европейскими странами и необходимости развития альтернативных транспортных маршрутов, таких как МТК «Север-Юг» и расширение пропускной способности Восточного полигона (БАМ и Транссиб). Согласно данным Росстата, объем грузоперевозок по железной дороге в направлении восточных портов в 2023 году увеличился на 20 %, а в январе – августе 2024 года еще на 2 %, достигнув 195,5 млн тонн [Транспорт в России, 2024]. Это создало дополнительную нагрузку на и без того перегруженную инфраструктуру и привело к задержкам в поставках и росту тарифов. Кроме того, наблюдается увеличение стоимости морских перевозок из-за увеличения времени доставки и необходимости использования более дорогих альтернативных маршрутов. Например, доставка контейнера из Санкт-Петербурга во Владивосток через Суэцкий канал занимает более 45 дней, а стоимость такой перевозки возросла в несколько раз по сравнению с 2021 годом.

В сложившейся ситуации возрастает актуальность научных исследований, направленных на выявление ключевых проблем, сдерживающих развитие транспортной отрасли РФ, и разработку практических рекомендаций по их решению с учетом современных вызовов и возможностей [Вакуленко, 2022]. Необходим комплексный анализ, учитывающий как традиционные факторы, такие как состояние инфраструктуры и тарифная политика, так и новые аспекты, связанные с цифровизацией логистики, развитием мультимодальных перевозок, необходимостью адаптации к изменяющимся геополитическим условиям и задачами импортозамещения [Щербаков, Форсель, Бубнова, 2024].

Объекты и методы исследования

Транспортная отрасль Российской Федерации, являясь жизненно важной артерией национальной экономики, исторически играла и продолжает играть ключевую роль в обеспечении территориальной целостности, экономической связности и национальной безопасности государства. Охватывая огромные пространства и объединяя различные регионы, транспорт обеспечивает мобильность населения, бесперебойное снабжение предприятий, экспорт природных ресурсов и интеграцию в глобальные экономические процессы. Однако, пройдя сложный путь трансформаций от советской централизованной системы до современной рыночной модели, транспортная отрасль столкнулась с целым рядом системных проблем, требующих комплексного решения.

Географическое положение России с ее огромной территорией, неравномерным распределением населения и ресурсов предопределяет повышенные требования к транспортной инфраструктуре. Изношенность основных фондов, нехватка современных технологий, недостаточное развитие региональных транспортных сетей, логистические барьеры и высокие транспортные издержки – все это сдерживает экономический рост, снижает конкурентоспособность отечественных предприятий и ограничивает возможности для развития межрегиональных и международных связей.

В условиях турбулентности глобальной экономики и смены парадигмы мирового порядка транспортная отрасль Российской Федерации получает уникальный шанс для кардинальной трансформации, обеспечивая себе возможность занять лидирующие позиции в качестве ключевого логистического узла Евразийского пространства.

В данном исследовании рассмотрены ключевые проблемы, стоящие перед транспортной отраслью Российской Федерации, проанализированы основные факторы, сдерживающие ее развитие, а также предложены перспективные направления и механизмы, способствующие повышению ее эффективности, конкурентоспособности и вкладу в социально-экономическое развитие страны.

В исследовании применен многоаспектный методологический подход. Для системного анализа, синтеза информации и выявления взаимосвязей между различными факторами использовался комплекс инструментов, основанных на принципах индукции, а также методов анализа и синтеза. С целью детального изучения отдельных аспектов функционирования отрасли был проведен монографический и компаративный анализ. Оценка конкурентоспособности отечественных транспортных предприятий на мировом и внутреннем рынках осуществлялась с применением методов сравнительного анализа и статистического наблюдения.

Важно подчеркнуть, что методологический аппарат исследования строился на основе интеграции различных подходов, что позволило получить всестороннее представление о предмете исследования. Методы использовались в различных комбинациях и последовательностях в зависимости от поставленных целей и задач конкретного этапа работы.

Информационной базой для проведения анализа послужили массивы статистических данных, полученные из различных источников, включая показатели Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, отчеты Министерства экономического развития Российской Федерации, сведения Федеральной таможенной службы и Министерства транспорта и инфраструктуры Турции. Дополнительные данные были заимствованы из аналитических обзоров Торгово-промышленной палаты РФ, ОАО «РЖД» и отчётов исследовательского отдела Statista, а также были использованы другие источники.

Результаты и их обсуждение

В России наземные грузоперевозки осуществляются преимущественно тремя видами транспорта: морским и железнодорожным, выполняющими магистральные функции на дальних расстояниях с большим объемом грузооборота, и автомобильным, специализирующимся на пригородных перевозках с большим тоннажем на относительно небольшие расстояния. Структура грузоперевозок по видам транспорта в динамике представлена на рис. 1.

Диаграмма показывает, что в период с 2000 по 2024 год произошли изменения в структуре грузоперевозок, характеризующиеся сокращением доли автомобильного транспорта на 8,2 % и увеличением доли железнодорожного транспорта на 5 %.

Так, говоря о развитии транспортной системы нашей страны, необходимо, в первую очередь, рассмотреть эффективность железнодорожных перевозок с точки зрения адаптационных процессов, происходящих в этой отрасли. Изменение глобальных торговых путей и переориентация логистических потоков привели к существенному увеличению нагрузки на железнодорожную инфраструктуру Восточного полигона России. Эта стратегически важная транспортная артерия неоднократно упоминалась Президентом РФ как приоритетное направление развития, что подтверждается различными государственными стратегиями и планами.

Железнодорожный транспорт обеспечивает круглогодичную доставку грузов по всей территории страны. В 2024 году объём грузоперевозок на сети ОАО «РЖД» составил 1 181,4 млн тонн, что на 4,1 % меньше, чем в 2023 году (рис. 2).

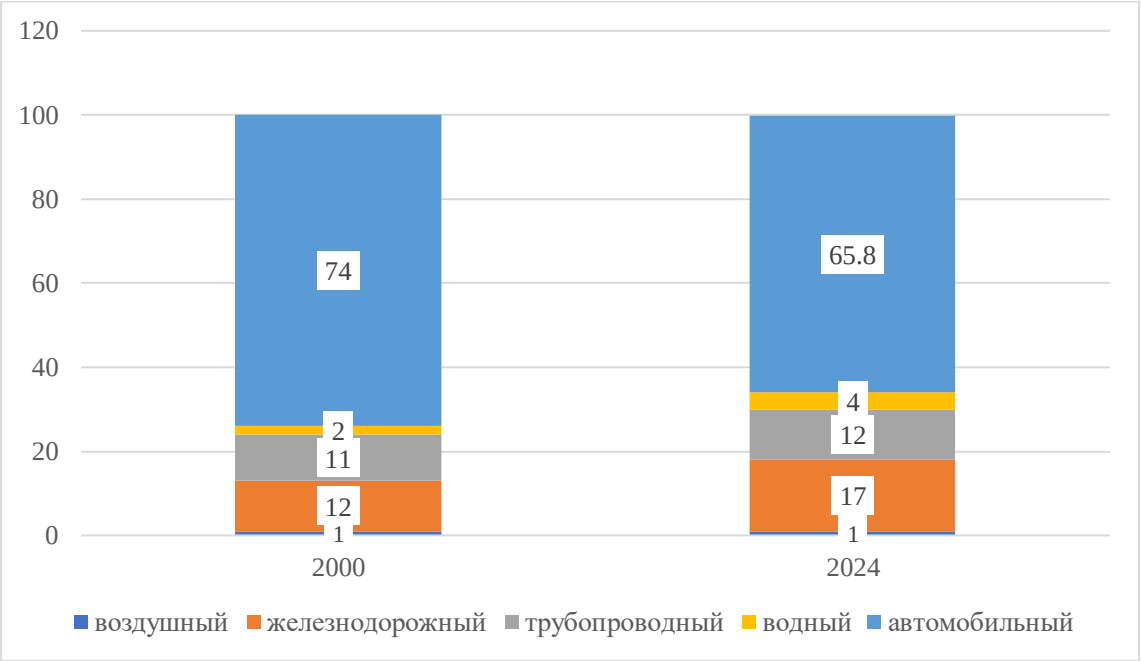


Рис. 1. Структура грузоперевозок по видам транспорта за 2000 и 2024 года, %
Fig. 1. Structure of freight transportation by types of transport for 2000 and 2024, %

Примечание. Составлено авторами по данным [Транспорт в России, 2024]

Смещение вектора торговли на восток стало ключевым испытанием для российской инфраструктуры. В 2023 году восточные ворота российской железнодорожной сети – Забайкальская (14,2 %) и Дальневосточная (5,1 %) железные дороги – испытали беспрецедентный всплеск погрузки, что стало явным свидетельством смещения вектора транспортных потоков в восточном направлении. Однако этот позитивный тренд выявил и серьезную проблему: инфраструктура Восточного полигона (Транссиб и БАМ) оказалась не готова к такому напору, достигнув предела своих возможностей и остро нуждаясь в срочной модернизации.

В результате ограниченной пропускной способности также снизилась скорость оборота вагонов. Более того, по данным ОАО «РЖД», образовался значительный избыток подвижного состава – порядка 220 тысяч вагонов, что превышает текущую потребность в перевозках.

Основной причиной ухудшения показателя (52,5 % от общего увеличения времени оборота, или 27,9 часов) стало увеличение времени нахождения вагона под грузовыми операциями (рост на 14 %, с 198,9 часов до 226,8 часов). Доля этого фактора в общем времени оборота возросла с 45,5 % до 47,1 % (рис. 3).

Ещё одним фактором, увеличивающим сроки доставки грузов по железной дороге, является приоритизация определённых видов товаров. Железнодорожная инфраструктура не в состоянии одновременно обеспечивать вывоз контейнеров, угля и нефти.

ОАО «РЖД» объясняет текущие технологические проблемы на сети влиянием погодных условий, дефицитом тяги, актами вандализма и плановыми ремонтными работами. Однако следует отметить, что контейнерные перевозки по Восточному полигону в значительной степени обеспечивают доставку социально значимых грузов в российские регионы: продукты питания, товары повседневного спроса, запчасти и комплектующие для техники, грузы для северного завоза и т. д.

В ответ на существующие проблемы в транспортной отрасли железнодорожные операторы, государственные органы и потребители услуг активно сотрудничают для поиска решений. Активное развитие цифровых технологий в данной отрасли является важной тенденцией, затрагивающей управление движением, логистику и безопасность с целью решения текущих и перспективных проблем.

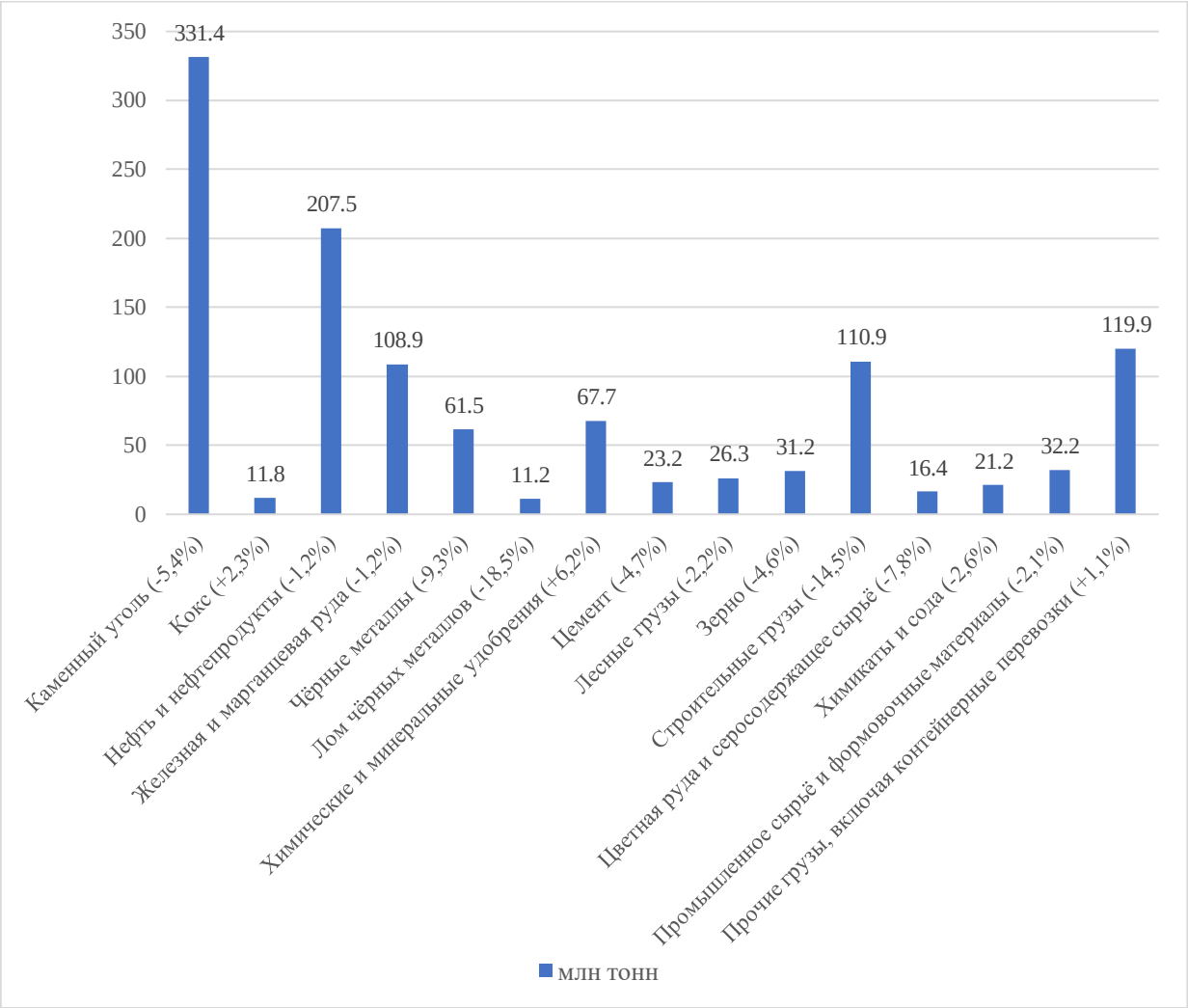


Рис. 2. Детализация перевозок на сети ОАО «РЖД» по видам грузов в 2024 году
Fig. 2. Details of transportation on the Russian Railways network by type of cargo in 2024

Примечание: Составлено авторами по данным [РЖД в цифрах, 2024]

В 2025 году ОАО «РЖД» ожидает получить 2,8 трлн рублей дохода от грузовых перевозок, что на 20,8 % больше, чем в 2024 году (всего более 3 трлн рублей от перевозочной деятельности). Такой рост доходов планируется обеспечить за счет роста грузооборота на 5,5 %, индексации тарифов, а также за счет дополнительных тарифных решений, включая сокращение «избыточных преференций» для контейнерных перевозок, перевозок строительных грузов и порожнего пробега полувагонов и платформ.

Итог 2024 года показал, что пропускная способность железнодорожной сети оказалась недостаточной для размещения всего вагонного парка без ущерба для эффективности перевозок. 2025 год должен стать периодом балансировки между развитием инфраструктуры, количеством вагонов и технологиями управления перевозками с учетом необходимости увеличения погрузки и дальнейшего развития железнодорожного транспорта.

Однако, несмотря на сложности, железнодорожные перевозки остаются одним из самых востребованных видов транспортировки грузов. С учетом активного развития сотрудничества России со странами Юго-Восточной Азии, ожидается дальнейший рост грузопотока и модернизация инфраструктуры на восточном направлении. Адаптивность, цифровизация и грамотно разработанные стратегии позволят компаниям не только преодолеть текущие трудности, но и повысить свою эффективность.

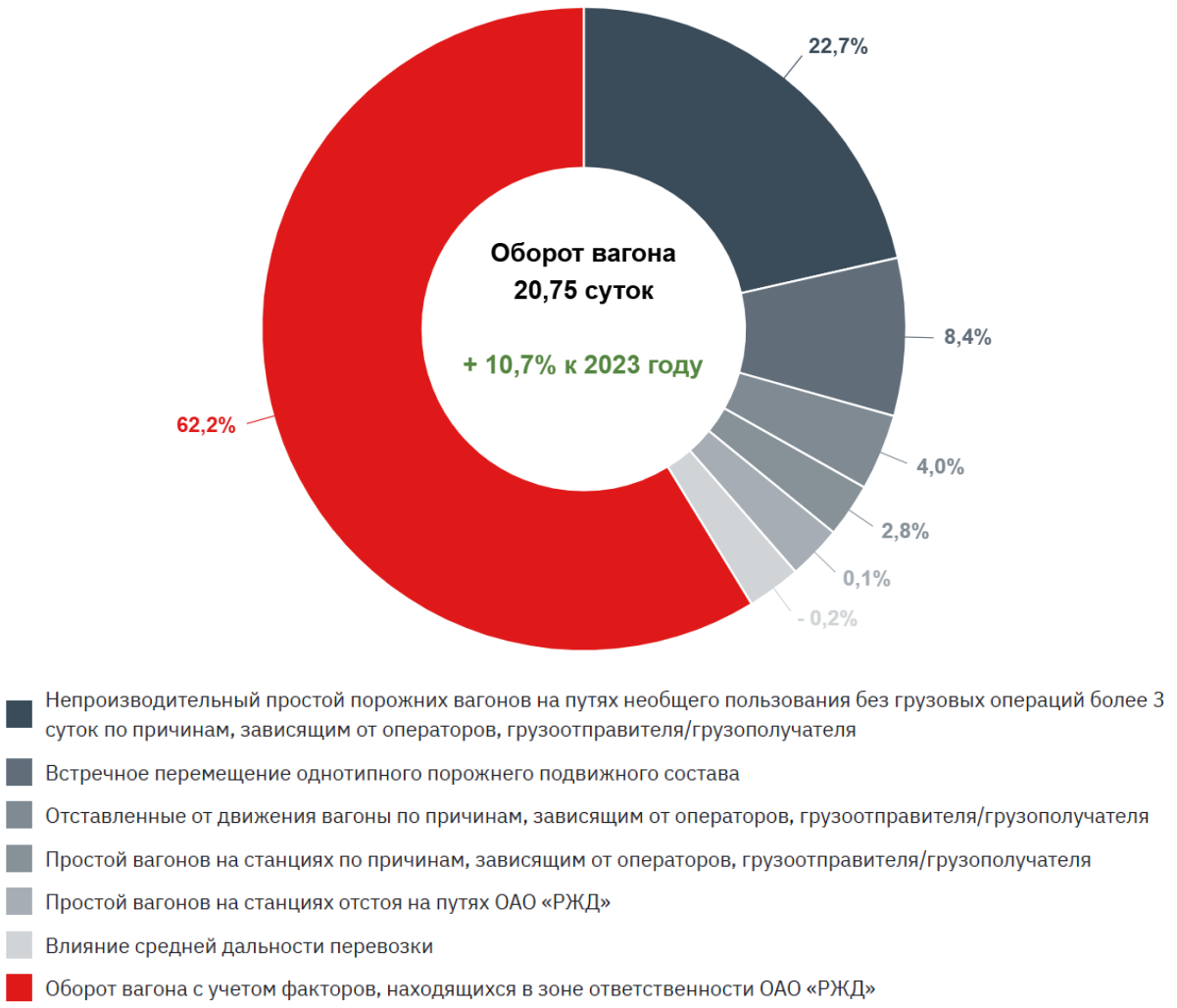


Рис. 3. Скорость оборота вагонов на сети ОАО «РЖД» за январь – декабрь 2023–2024 гг.
Fig. 3. Wagon turnover rate on the Russian Railways network for January – December 2023–2024

Примечание: Составлено авторами по данным [РЖД в цифрах, 2024]

Автомобильный транспорт, сохраняя ведущие позиции в структуре грузоперевозок, подвергается существенным трансформациям, обусловленным комплексом экономических и политических факторов. В период с 2018 по 2024 год зафиксирован значительный рост коммерческого грузооборота автомобильного транспорта на 22 %, увеличившись со 138,7 до 169,2 млрд тонно-километров. Данная динамика обусловлена реализацией программ импортозамещения и локализации производств, что, в свою очередь, привело к повышению востребованности автотранспортных решений для внутренних перевозок и, как следствие, увеличению торгового грузооборота (см. рис. 4).

Необходимо отметить, что существующая логистическая инфраструктура, ориентированная на западное направление, потребовала значительных усилий для адаптации к изменившимся условиям, вызванным введением ограничительных мер в отношении Российской Федерации. В настоящее время наблюдается перестройка логистических маршрутов, например, организация паромных переправ через порты Новороссийск (в направлении Турции) и Астрахань (в направлении Азербайджана) и модернизация пунктов пропуска на границах с Республикой Казахстан и Китайской Народной Республикой с целью увеличения их пропускной способности.

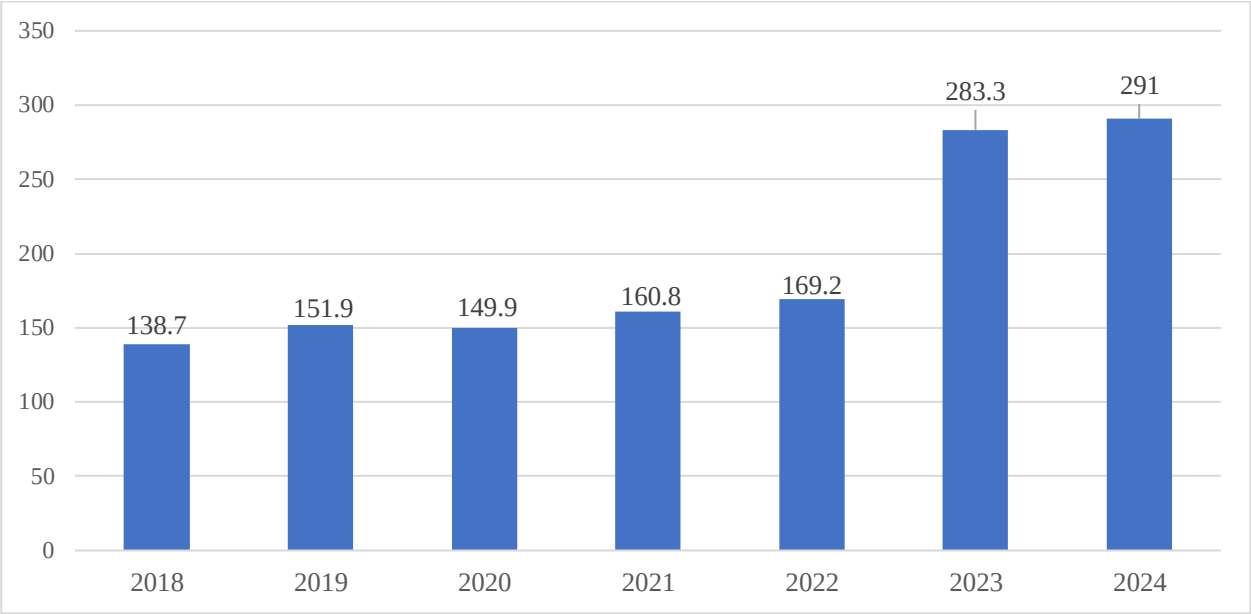


Рис. 4. Коммерческий грузооборот автомобильного транспорта в России в 2018–2024 гг., млрд тонно-км
Fig. 4. Commercial freight turnover of road transport in Russia in 2018–2024, billion tonne-km

Примечание: Составлено авторами по данным [Транспорт в России, 2024]

Динамика индекса ATI.SU служит индикатором структурных изменений в грузоперевозках, обусловленных геополитическими факторами. Снижение объемов грузопотоков по направлениям «Запад – Восток» и «Север – Юг», особенно заметное в Санкт-Петербурге, вероятнее всего, связано с последствиями санкций и ограничением импорта из стран Европейского союза. Компенсацией этому стало существенное увеличение индекса ATI.SU по направлениям «Восток – Запад» и «Юг – Север», что указывает на укрепление торговых связей с Китаем, Казахстаном и Турцией, которые в настоящее время играют важнейшую роль в поддержании товарооборота.

Так, в I квартале 2023 года грузооборот МТК «Север-Юг» вырос вдвое (до 2,3 млн тонн). Рост отмечен и на Транскаспийском (в 3 раза), и на Восточном (в 33 раза) участках. Однако годовой объем перевалки Азово-Черноморского коридора значительно превышает эти показатели (263 млн тонн). Сдерживаемый инфраструктурными ограничениями, отсутствием ключевых железнодорожных звеньев, слабой информатизацией и разобщенной транспортной политикой стран-участниц, МТК «Север-Юг» больше не может оставаться второстепенным. Объективная необходимость диктует создание полноценного, эффективного логистического коридора, стимулирующего торговлю с Индией и отвечающего современным требованиям. Для этого требуются значительные инвестиции, скоординированные усилия и переосмысление приоритетов как Россией, так и Ираном.

Морские перевозки также играют ключевую роль в раскрытии транспортного потенциала нашей страны, в связи с чем в этой сфере реализуются различные меры по адаптации и повышению эффективности функционирования. Так, в 2022 году из России также ушли основные логистические гиганты, обслуживающие морские контейнерные перевозки: Maersk (Дания), CMA CGM (Франция), Network Express (Япония), Hapag-Lloyd (Германия) и некоторые другие, объявив о приостановке всех сервисов на все порты России. Эти линии работали как в направлении перевозок Дальнего Востока, так и на Новороссийск и порты Балтии. Они занимали основную часть рынка контейнерных перевозок, предоставляя нашей стране свой отработанный годами высокий сервис (табл. 1).

Так, статистика грузооборота в период с 2023 по 2024 года в разрезе групп стран-партнёров отражает актуальный вектор развития нашей страны в данный момент.

Таблица 1
Table 1

Топ-10 мировых операторов контейнерных перевозок
Top 10 global container shipping operators

Компания	Парк контейнеров в управлении, млн TEU	Доля на мировом рынке, %
MSC	4,3	17
Maersk	4,28	16,9
CMA CGM	3,28	12,9
COSCO	2,9	11,5
Hapag-Lloyd	1,7	6,9
ONE	1,5	6
Evergreen Line	1,5	6
HMM	0,8	3,2
Yang Ming	0,7	2,6
ZIM	0,4	1,7

Примечание: Составлено авторами по данным [Вести морского Петербурга, 2023]

Таблица 2
Table 2

Экспорт и импорт товаров Российской Федерации по группам стран, млрд долл. США
Export and import of goods of the Russian Federation by groups of countries, billion US dollars

Показатели	Экспорт			Импорт		
	январь – июль 2023	январь – июль 2024	темп роста, %	январь – июль 2023	январь – июль 2024	темп роста, %
Весь мир В том числе:	239,2	241,0	100,7	166,1	153,1	92,2
ЕВРОПА	53,9	37,4	69,4	47,0	41,5	88,4
АЗИЯ	167,3	181,6	108,5	107,5	101,1	94,1
АФРИКА	11,2	14,3	127,1	2,0	2,0	97,4
АМЕРИКА	6,7	7,6	113,5	9,2	8,1	87,7

Примечание: Составлено авторами по данным [ФТС России, 2024]

На основе данных можно говорить о большом объёме взаимной торговли с Китаем, странами Ближнего Востока и Азии. При этом резкая смена основных торговых партнёров неизбежно приводит к сервисным изменениям и трудностям. Так, геополитические изменения способствовали вынужденной переориентации торговли с западного направления на восточное. В результате чего государство, а также участники ВЭД столкнулись с определёнными проблемами, связанными с повышением активности торговли в этом направлении. Однако ставки на морской фрахт всё ещё остаются не стабильными. На них отражаются военные конфликты, изменения в составе крупных перевозчиков, сезонность, валютные колебания, праздники и выходные, сезонные пики, погодные условия, наличие свободных мест на судне и т. д.

Например, в мае 2024 года трудности в морских перевозках возникли вследствие дефицита порожних контейнеров в Китае, перегрузки портовой инфраструктуры, а также сокращения предоставляемого сервиса. Владельцы судов подняли тарифы на тайм-чартеры, к ним присоединились терминалы. Как итог – увеличение ставок фрахта в 1,5 раза по сравнению с началом года.

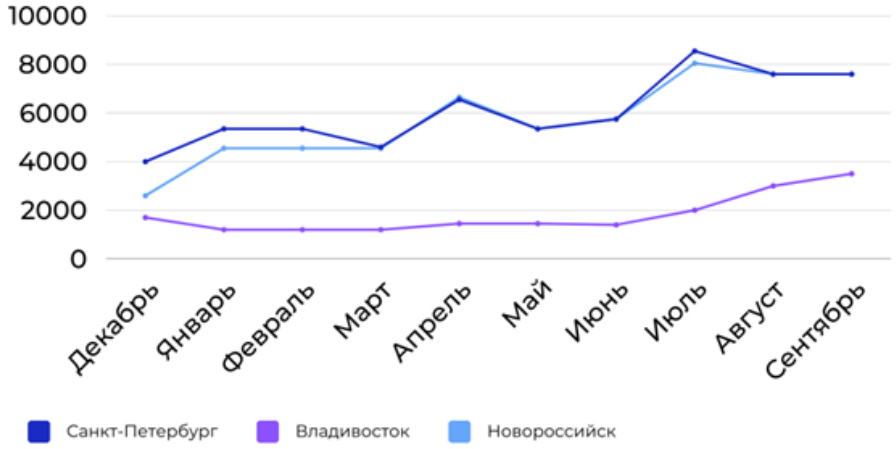


Рис. 5. Динамика ставок на морские контейнерные перевозки 40 НС, 2024
(в долларах США за 40-футовый контейнер)
Fig. 5. Dynamics of rates for sea container transportation 40 NS, 2024
(in US dollars per 40-foot container)

Примечание: Составлено авторами по данным [Индекс мировых ставок контейнерных перевозок, 2024]

Таким образом, перспективы развития контейнерных грузовых перевозок между Россией и Китаем включают в себя множество направлений, нацеленных на снижение затрат, улучшение инфраструктуры, внедрение новых технологий и оптимизацию логистических процессов. Эти меры способствуют не только увеличению объемов перевозок, но и повышению их эффективности и надежности, что делает этот вид транспорта более привлекательным для бизнеса и способствует укреплению экономических связей между двумя странами.

Заключение

Проведённое исследование позволило выявить ключевые проблемы и перспективы развития транспортной отрасли Российской Федерации в условиях современных вызовов и ограничений. Транспортная отрасль, несмотря на свою важность, испытывает комплексный кризис: износ инфраструктуры, разобщённость, низкая инновационность, неэффективные тарифы, административное давление. Это привело к росту и непредсказуемости цен на перевозки. Так, например, с 1 января 2025 года вступили в силу изменения в порядке индексации тарифов на железнодорожные грузоперевозки, зафиксированные в 2017 году. Если на 1 декабря 2024 года тарифы были повышены на 13,8 % для грузовых и 11,6 % для пассажирских перевозок дальнего следования, то с начала 2025 года индексация тарифов на перевозку грузов в контейнерах составила 5 % (за исключением специализированных контейнеров). При этом нарушение транзитных сроков перевозки все ещё остаётся актуальной проблемой, даже с учётом увеличения стоимости перевозок. Например, большое количество контейнеров может надолго застрять на перегрузке в Турции, ожидая фидерного судна 1–2 месяца, или груз может быть в «брошенном вагоне».

Особую остроту проблемам транспортной отрасли придали экономические и политические изменения, произошедшие в период с 2022 по 2024 годы. Усиление санкционного

давления, разрыв традиционных логистических связей с европейскими странами и необходимость переориентации на новые рынки сбыта в Азии и Африке потребовали оперативной адаптации транспортной системы к новым условиям. Исследование показало, что, несмотря на предпринимаемые усилия, российская логистическая система оказалась недостаточно гибкой и адаптивной к новым вызовам. В частности, сбои в цепочках поставок привели к острому дефициту складских площадей. Например, при ЖД перевозках все чаще вместо складов используются железнодорожные вагоны, что перегружает сеть и создаёт замкнутый круг: профицит вагонов на сети стимулирует их дальнейшее производство, усугубляя проблему перегрузки. При этом попытки решения проблем часто задействуют административные методы вместо рыночных.

Вместе с тем, исследование выявило и значительный потенциал для развития транспортной отрасли РФ, связанный с реализацией крупных инфраструктурных проектов, развитием мультимодальных перевозок, внедрением цифровых технологий и использованием транзитного потенциала страны. Говоря об общих перспективах развития транспортной логистики, 2025 год можно охарактеризовать как период адаптации к новым экономическим и геополитическим реалиям с акцентом на повышение эффективности и технологическую модернизацию. Ключевыми направлениями сейчас являются:

1) переориентация на восточное направление и развитие инфраструктуры;
2) технологическая модернизация и цифровизация;
3) балансировка интересов и решение проблем.

В связи с этим можно выделить ряд шагов, реализация которых будет способствовать наращиванию товарооборота между странами-партнёрами:

1. Установление единых относительно стабильных тарифных ставок за морские и автоперевозки сможет решить сразу ряд проблем и сделает эти виды транспорта более привлекательным для грузоотправителей.
2. Увеличение пропускной способности в пограничных пунктах пропуска с Китаем. Это позволит ускорить процесс пересечения границы и сократить время доставки грузов.
3. Улучшение системы обеспечения наличия железнодорожных вагонов и контейнеров для перевозок, что повысит надежность и предсказуемость логистических цепочек.
4. Обеспечение надлежащего технического состояния контейнеров для минимизации задержек и повреждений грузов.
5. Введение механизмов субсидирования транзитных перевозок, что может стимулировать рост объемов грузоперевозок.
6. Использование механизмов «единого окна», машинного обучения, облачных хранилищ, больших баз данных и т. д. будет способствовать повышению эффективности и результативности торговли стран-партнёров.

Таким образом, перед транспортной отраслью стоит многогранная задача: с одной стороны, обеспечить полное, своевременное и качественное удовлетворение общественных потребностей в грузовых и пассажирских перевозках, а с другой – минимизировать совокупные общественные затраты, связанные с транспортной деятельностью. Целью государственной политики в сфере транспорта является комплексное развитие, направленное на обеспечение экономического роста, повышение конкурентоспособности национальной экономики и повышение уровня жизни населения. Достижение этих взаимосвязанных целей обеспечивается за счет расширения доступности безопасных и качественных транспортных услуг, а также эффективного использования географического потенциала России, что требует скоординированных усилий со стороны государства, бизнеса и научного сообщества.

Список источников

Вести морского Петербурга № 1. Информационно-аналитический морской журнал, 2022. с. 5–48 [Электронный ресурс]. URL: https://morspb.ru/assets/files/archive/2022/vesti-1-2022.pdf (дата обращения: 10.02.2025)

Индекс мировых ставок контейнерных перевозок с декабря по сентябрь 2024 года. Исследовательский отдел Statista [Электронный ресурс]. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.cb9f3228-670b9c2f-7353588c-74722d776562/https/www.statista.com/statistics/1440707/global-container-freight-index/ (дата обращения: 15.02.2025)

Официальный сайт Росморречфлота: официальная статистическая информация // Министерство транспорта Российской Федерации: офиц. сайт. 2022. [Электронный ресурс]. – URL: https://morflot.gov.ru/glavnaya/otkryitoe_agentstvo/of_stat_info/?ysclid=lnlj73q9iw601442907 (дата обращения: 12.02.2025).

Показатели контейнерных портов Турции. Министерство транспорта и инфраструктуры Турции: офиц. сайт. 2025. [Электронный ресурс]. URL: https://www.trade.gov.tr/data/602cd44013b876f918da9c8c/Economic %20Outlook %202024 %20August.pdf (дата обращения: 12.02.2025)

Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов. Министерство экономического развития Российской Федерации. – Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2025_god_i_na_planovyy_period_2026_i_2027_godov.html?ysclid=m6thdvxxva90774972 (дата обращения: 12.02.2025).

РЖД в цифрах: Пресс-центр РЖД. Официальный сайт ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – URL: https://company.rzd.ru/ru/9377?ysclid=m6tg5aiobc735257003 (дата обращения: 06.02.2025).

Справочные и аналитические материалы: таможенная статистика. Федеральная таможенная служба: офиц. сайт. 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://limited.customs.gov.ru/statistic?ysclid=m295h5m6kx209535768 (дата обращения: 09.02.2025)

Транспорт в России: Федеральная служба государственной статистики: офиц. сайт. 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://econom-inform-journal.ru/index.php/journal/article/view/341/349 (дата обращения: 04.02.2025).

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 19.02.2025)

Список литературы

Бондаренко Е.М., Гладунов В.А. 2022. «Контейнерный кризис»: причины и пути решения проблемы. Сборник научных трудов по XV Международной научно-практической конференции «Глобальные проблемы научной цивилизации, пути совершенствования». Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф»: 448–451.

Бубнова Г.В., Курдюкова А.В. 2024. Трансформация модели грузовых перевозок на железнодорожном транспорте и формирование нового механизма по оптимизации цепочек поставок. *Экономика железных дорог*, 6: 27–37.

Вакуленко С.П., Прокофьев М.Н., Евреенова Н.Ю. 2022. Инновационные технологии грузовых перевозок железнодорожным транспортом. Москва: Всероссийский институт научной и технической информации РАН: 184.

Мартынушкин А.Б., Кистанова С.А., Поляков М.В. 2023. Экономико-социальная эффективность работы автотранспорта: критерии и показатели. Сборник научных статей 15-й Международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии». Курск: 147–151.

Селюков М.В., Шалыгина Н.П. 2024. Развитие внешнеторгового потенциала России как фактор обеспечения экономической безопасности государства. *Экономика. Информатика*, 51(1): 93–106.

Форсель Д.А., Васильева Е.Ю. 2024. Анализ кризисных ситуаций в сфере контейнерных перевозок грузов. *Форум молодых ученых*, 6(94): 349–352.

Щербаков В.В., Бадокин О.В. 2024. Проблема комплексности транспортно-логистического сервиса на рынке железнодорожных грузовых перевозок: состояние и видение решений. *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*, 4: 33–40.

References

Bondarenko E.M., Gladunov V.A. 2022. "Container crisis": causes and solutions. Collection of scientific papers on the XV International scientific and practical conference "Global problems of scientific

civilization, ways of improvement". Stavropol: Stavropol publishing house "Paragraph": 448–451 (in Russian).

Bubnova G.V., Kurdyukova A.V. 2024. Transformation of the freight transportation model by rail and the formation of a new mechanism for optimizing supply chains. *Railway Economics*, 6: 27–37 (in Russian).

Vakulenko S.P., Prokofiev M.N., Evreenova N.Yu. 2022. Innovative technologies for freight transportation by rail. Moscow: All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences: 184 (in Russian).

Martynushkin A.B., Kistanova S.A., Polyakov M.V. 2023. Economic and social efficiency of motor transport: criteria and indicators. Collection of scientific articles of the 15th International Scientific and Technical Conference "Modern Automotive Materials and Technologies". Kursk: 147–151 (in Russian).

Selyukov M.V., Shalygina N.P. 2024. Development of Russia's foreign trade potential as a factor in ensuring the economic security of the state. *Economics. Information technologies*, 51(1): 93–106 (in Russian).

Forsel D.A., Vasilyeva E.Yu. 2024. Analysis of crisis situations in the field of container cargo transportation. *Forum of young scientists*, 6(94): 349–352 (in Russian).

Shcherbakov V.V., Badokin O.V. 2024. The problem of the complexity of transport and logistics services in the rail freight market: status and vision of solutions. *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*, 4: 33–40 (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 29.04.2025
Поступила после рецензирования 23.05.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Received April 29, 2025
Revised May 23, 2025
Accepted May 27, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Шалыгина Наталья Петровна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры таможенного администрирования, СЗИУ РАНГХиГС, 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

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ
FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 336.7
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-359-371
EDN IMYSWD

О стандартах качества кредитной деятельности банков и защите прав заемщиков

[1] Кроливецкая В.Э., [2] Солдатенкова И.В.
[1] Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Россия, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 9
[2] Гатчинский государственный университет
Россия, 188300, г. Гатчина, ул. Рощинская, 5
mail26@yandex.ru, inna_soldatenkova@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены исторические аспекты регулирования кредитной деятельности банков в розничном секторе, а также надзора за соблюдением прав и законных интересов банковских заемщиков. Отдельное внимание уделено содержанию Стандарта защиты прав и законных интересов ипотечных заемщиков, введенного с 1 января 2025 года, его нормам и требованиям, а также процессу вынесения надзорного решения Комитетом по стандартам деятельности кредитных организаций за их соблюдением отдельными банками и мерам надзорного реагирования за их несоблюдением. Авторами предложен вариант применения к банкам, нарушающим отдельные нормы Стандарта, мер предупредительного и принудительного характера, которые отсутствуют в Надзорном стандарте. Это позволит конкретизировать ответственность банковских кредитных организаций за нарушение положений Стандарта по защите прав и законных интересов ипотечных заемщиков.

Ключевые слова: финансовое регулирование и финансовый надзор в сфере розничного кредитования, Стандарт защиты прав и законных интересов ипотечных заемщиков, меры надзорного реагирования за нарушение норм Стандарта, стандарты качества кредитной деятельности банков, стандартизация банковской деятельности

Для цитирования: Кроливецкая В.Э., Солдатенкова И.В. 2025. О стандартах качества кредитной деятельности банков и защите прав заемщиков. *Экономика. Информатика*, 52(2): 359–371. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-359-371 EDN IMYSWD

On Quality Standards for Banks' Lending Activities and Protection of Borrowers' Rights

[1] Valeria E. Krolivetskaya, [2] Inna V. Soldatenkova
[1] Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I
9 Moskovsky Ave., St. Petersburg 190031, Russia
[2] Gatchina State University
5 Roshchinskaya St., Gatchina 188300, Russia
mail26@yandex.ru, inna_soldatenkova@mail.ru

Abstract. The article is focused on historical aspects of regulation of banks' lending activities in the retail sector and supervision of their compliance with the rights and legitimate interests of bank borrowers. Special

© Кроливецкая В.Э., Солдатенкова И.В., 2025

attention is paid to the content of the Standard for the Protection of the Rights and Legitimate Interests of Mortgage Borrowers introduced on January 1, 2025, its norms and requirements, as well as to the process of the Committee on Standards of Credit Institutions making a supervisory decision on whether individual banks respect the above rights and interests and what supervisory response measures should be taken in case of their failure to do so. The authors propose that some preventive and compulsory measures that are not included into the Supervisory Standard should be applied to banks violating certain Standard provisions. This will make it possible to specify the responsibility of credit institutions for the violation of the Standard clauses concerning the protection of the rights and legitimate interests of mortgage borrowers.

Keywords: financial regulation and financial supervision in the field of retail lending, Standard for the protection of the rights and legitimate interests of mortgage borrowers, supervisory response measures for violation of the Standard, quality standards for banks' lending activities, standardization of banking activities

For citation: Krolivetskaya V.E., Soldatenkova I.V. 2025. On Quality Standards for Banks' Lending Activities and Protection of Borrowers' Rights. *Economics. Information technologies,* 52(2): 359–371 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-359-371 EDN IMYSWD

Введение

В современной рыночной экономике финансовый рынок выполняет функцию перераспределения временно свободных денежных средств хозяйствующих субъектов и домохозяйств, а также государства посредством использования различных финансовых инструментов, создания финансовых продуктов и услуг. В этих условиях возрастает роль регулирования этого рынка, которое направлено на обеспечение правомерности и безопасности осуществления финансовыми посредниками своей деятельности, на защиту потребителей финансовых услуг и инвесторов, повышение доступности и прозрачности финансовых услуг, их понятности для экономических агентов, а также на обеспечение эффективности и конкурентоспособности финансового рынка [Солдатенкова, 2019].

Современное финансовое регулирование или регулирование финансового рынка представляет собой совокупность трех самостоятельных, но тесно взаимосвязанных процедур:

– пруденциального регулирования;

– регулирования бизнес-поведения посредников финансового рынка, от которого зависят безопасность потребителей финансовых услуг, обеспечение их прав и реализация интересов, устранение причин появления жалоб на деятельность финансовых посредников;

– осуществления мониторинга финансового рынка (для обеспечения финансовой стабильности и предотвращения распространения кризисных явлений) путем создания специальных механизмов управления системными рисками финансовых посредников [Кроливецкая, Солдатенкова, 2020].

Пруденциальное регулирование подразумевает регулирование рисков финансовых посредников со стороны государства. Такие риски возникают в процессе осуществления финансовыми посредниками своей деятельности на финансовых рынках. Что касается кредитных организаций, то пруденциальное регулирование осуществляется в форме издания нормативно-правовых актов и предписаний ЦБ РФ в целях обеспечения таких условий банковской деятельности, которые связаны с минимизацией рисков потери ликвидности и платежеспособности, а также с повышением финансовой надежности банков. Пруденциальное регулирование, таким образом, реализуется через установление норм и ограничений для кредитных организаций, а также посредством надзора над их соблюдением [Злобина, 2009].

Пруденциальное регулирование и защита потребителей финансовых услуг тесно взаимосвязаны, поскольку, как правильно отмечает Е.И. Злобина, в их основе лежит минимизация рисков как финансовых институтов, так и получателей финансовых услуг. [Злобина, 2009] Защищая потребителей кредитных продуктов и услуг от неправомерных действий кредитных организаций, пруденциальное регулирование не только оберегает заемщиков, но и снижает риски кредитных организаций, возникающие в процессе

кредитования. Пруденциальное регулирование, как и защита прав потребителей финансовых услуг, осуществляется путем создания стандартов кредитования физических лиц в зависимости от стадии кредитного процесса [Злобина, 2010].

Основная часть

Стандарты кредитования различаются по типам. Каждый тип стандарта, с одной стороны, представляет собой инструмент реализации мер пруденциального регулирования, а с другой – мер регулирования бизнес-поведения кредитных организаций, реализуемых посредством поведенческого надзора со стороны органов финансового регулирования (рис. 1).

Пруденциальное регулирование осуществляется Банком России от лица государства, а также со стороны Правительства РФ. Защита же потребителей финансовых услуг (посредством регулирования бизнес-поведения финансовых посредников) осуществляется органами государственной власти, а также профессиональными сообществами в лице саморегулируемых организаций (СРО). В первом случае речь идет о контроле выполнения финансовыми посредниками действующих формальных норм и правил (федеральных законов, нормативных актов и предписаний Банка России, постановлений Правительства), а во втором – о соблюдении неформальных правил и норм соответствующих СРО (стандартов, кодексов и т. п.). В дополнение к ним поведенческий надзор в РФ осуществляется также через институт финансового уполномоченного. [Ситник, 2023]

В соответствии со ст. 24.1 федерального закона от 02.12.1990 N 395-1 «О банках и банковской деятельности», отношения между кредитными организациями, а также между кредитными организациями и их клиентами могут регулироваться не только нормами федеральных законов и нормативными актами Банка России, но и стандартами деятельности кредитных организаций. К настоящему времени выделяется три их вида:

– стандарты защиты прав и законных интересов получателей банковских услуг, включающие в себя правила предоставления (раскрытия) информации потребителям банковских услуг об услуге и о лице, ее предоставляющем, и уведомления о рисках, связанных с указанной услугой;

– стандарты совершения операций на финансовом рынке;

– стандарт корпоративного управления.

На наш взгляд, появление на российском финансовом рынке такого регуляторного инструментария является крайне важным для дальнейшего развития процессов кредитования. Как верно отмечает Е.И. Злобина [Злобина, 2010], важной функцией стандартов является разделение финансовых посредников на применяющих их положения и не применяющих, что непосредственно создает базу для установления доверия к посредникам, которые следуют положениям стандартов.

Органом, ответственным как за утверждение указанных стандартов, так и Надзорного стандарта за их соблюдением является созданный в мае 2024 года Комитет по стандартам деятельности кредитных организаций, в состав которого входят представители Банка России, Минфина России и иные представители, определяемые Правительством Российской Федерации, а также представители ассоциаций (союзов) кредитных организаций. При этом следует отметить, что еще до создания такого коллегиального органа Банк России совместно с банковскими ассоциациями уделял должное внимание необходимости стандартизации банковских процессов, выделяя кредитование как одно из приоритетных направлений для ее внедрения и указывая, что одной из ключевых причин развития этого направления поведенческого надзора является низкая степень доверия между банками и заемщиками, в особенности в сегменте ипотеки. [Мамута, Цыганов, Языков, 2019].

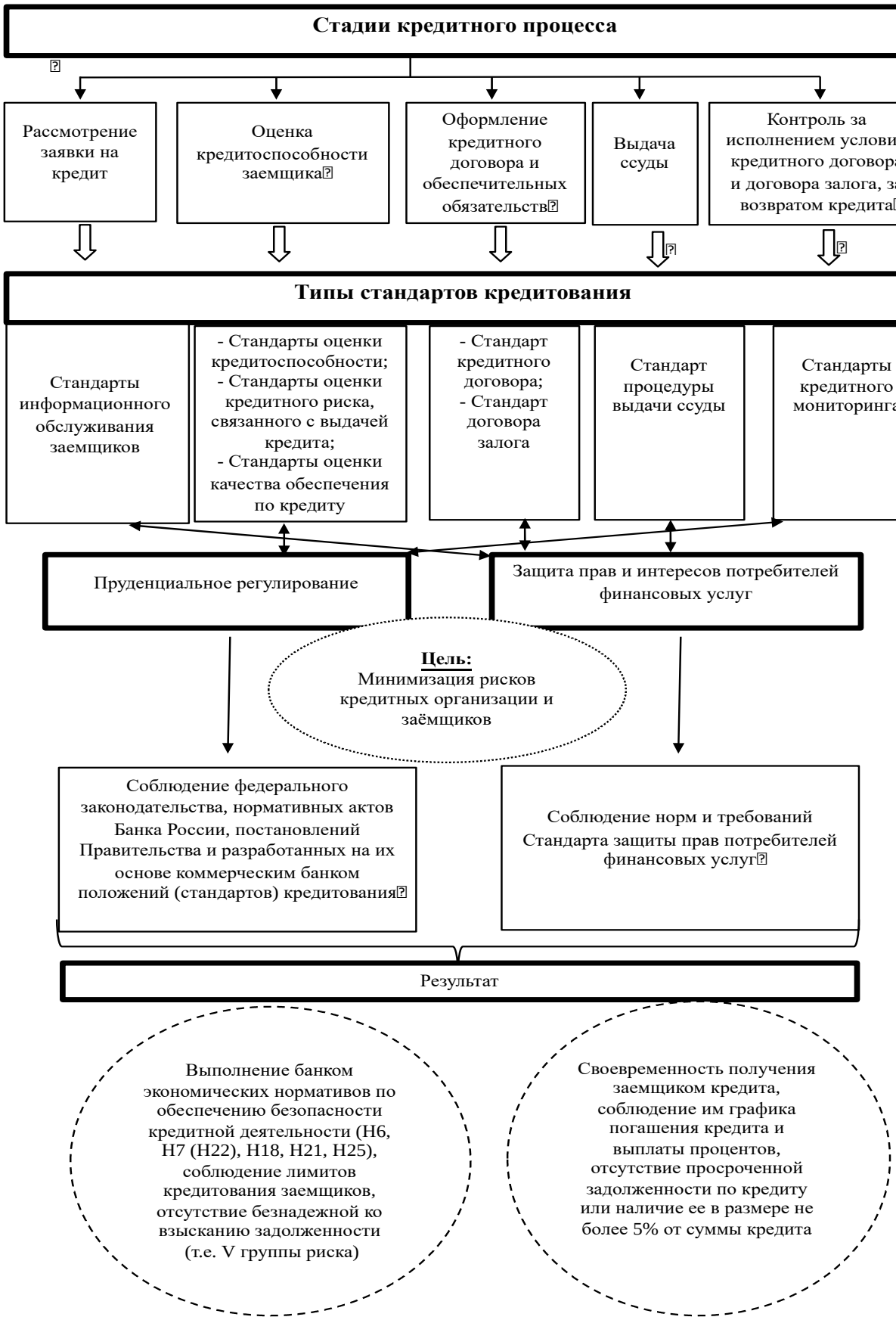


Рис. 1. Взаимосвязь пруденциального регулирования и защиты потребителей кредитных услуг
Fig. 1. The relationship between prudential regulation and protection of credit service consumers

Источник: составлено авторами с использованием [Злобина, 2009]

Таким образом, актуальными инструментами регулирования деятельности банков на кредитном рынке являются: стандарты кредитования и стандарты защиты прав и законных интересов заемщиков-потребителей кредитных услуг. Стандарты кредитования каждая кредитная организация должна разрабатывать, модицифировать и внедрять самостоятельно с учетом специфики своей клиентуры и ее потребностей в кредитных ресурсах. Стандарты должны разрабатываться по отдельным категориям заемщиков: отдельно для розничных клиентов банков (физических лиц) и отдельно для корпоративных клиентов банка – юридических лиц и индивидуальных предпринимателелей, а также для банков-заемщиков МБК. Внутри каждой группы заемщиков действуют стандарты кредитования по отдельным видам кредитов. Стандарты кредитования представляют собой формальные и неформальные нормы и правила организации кредитного процесса: формальные нормы и правила устанавливаются государственными органами, а неформальные – саморегулируемыми организациями. Особенностью и специфической функцией этих стандартов является реализация с их помощью мер как пруденциального регулирования, так и защиты прав и законных интересов заемщиков банков. В дополнение к вышеуказанным стандартам при построении своих бизнес-процессов в части кредитования финансовые посредники могут также закреплять требования к квалификации банковских специалистов, работающих с этими финансовыми продуктами, в том числе разрабатывая внутренние профессиональные стандарты, о которых писали ряд авторов [Коршунова, Нурмухаметов, 2020; Фадейкина, Доля, 2018; Фадейкина, Швецова, Степанов, Припутенко, 2021; Швецова, 2019], или же внедряя уже имеющиеся в банковской практике разработки. Однако важно разграничивать эти стандарты от стандартов, непосредственно описывающих процессы кредитования, поскольку профессиональные стандарты в стадиях кредитного процесса участвуют лишь опосредованно и скорее выступают инструментарием добросовестного финансового консультирования, укрепляя доверие заемщиков к банку и его представителям.

Начало созданию стандартов защиты прав и законных интересов потребителей финансовых услуг в России положил посткризисный период конца 90-х гг. XX века. Одними из первых законодательных инициатив такого рода выступили федеральные законы «О защите прав и законных интересов инвесторов на рынке ценных бумаг» и «О защите прав потребителей». До того, как был издан федеральный закон от 21.12.2013 N353-ФЗ «О потребительском кредите (займе)», в практике регулирования применялись положения стандартов раскрытия информации при предоставлении таких кредитов (изданы ФАС и ЦБ в 2005 г. [Письмо ФАС РФ N ИА/7235, Банка России N 77-Т от 26.05.2005]). Переход к активной фазе обсуждения необходимости стандартизации процессов банковского кредитования начался после событий мирового финансового кризиса 2008 года, когда вопросам правового регулирования защиты прав и интересов потребителей финансовых услуг стали уделять пристальное внимание финансовые регуляторы многих стран [Ситник, 2023], в числе которых была и Россия.

В 2008 г. Ассоциацией региональных банков России (в настоящее время – Ассоциация банков России) был одобрен «Кодекс ответственного потребительского кредитования» [Принципы Кодекса ответственного потребительского кредитования, 2008]. Внимание Банка России и Ассоциации «Россия» к розничному сегменту кредитного рынка было не случайно, а обусловлено тем, что в те годы наблюдался бум кредитования физических лиц на потребительские нужды, причем на льготных (либеральных) условиях. Банковский кредит стал самым востребованным банковским продуктом у физических лиц. Но учитывая, что физические лица в меньшей степени, чем корпоративные заемщики и другие участники финансового рынка, обладали полной информацией об особенностях и рисках предлагаемых им финансовыми посредниками продуктов и услуг, а также имели минимальный опыт самостоятельной защиты своих прав в случае их нарушения, то государственным органам и Ассоциации «Россия» пришлось подготовить соответствующие документы для защиты интересов как розничных заемщиков, так и посредников-кредиторов. Параллельно пристальное внимание необходимости разработки стандартов банковской деятельности в этот

период уделялось и во второй крупнейшей российской банковской ассоциации – АРБ, где в 2009 году был создан Координационный комитет по стандартам качества банковской деятельности. [Ушанов, 2020]

С 1 января 2025 г. вступил в силу Стандарт защиты прав и законных интересов ипотечных заемщиков, утвержденный Комитетом по стандартам деятельности кредитных организаций. Целью его внедрения является минимизация распространения высокорискованных схем ипотечного кредитования граждан и подробное информирование заемщиков-физических лиц об условиях кредита и связанных с ним рисках. Стоит отметить, что этот нормативный акт – не первая попытка обозначить добросовестные практики в ипотечном сегменте российкого финансового рынка. Так, в 2018 году был утвержден «Стандарт ипотечного кредитования участников накопительно-ипотечной системы жилищного обеспечения военнослужащих (НИС)» [Приказ Министра обороны Российской Федерации от 09.10.2018 № 558], в котором содержались нормы и правила выдачи кредитов такого рода, а также условия их предоставления (в том числе доступные сроки и размеры ежемесячных платежей), а также положения, которыми должны руководствоваться банки и другие участники НИС при оформлении и сопровождении подобных финансовых продуктов.

В 2019 году госкорпорацией Дом.рф был разработан «Стандарт ответственного ипотечного кредитования» [Стандарт ответственного ипотечного кредитования, 2019], определяющий требования к организации процесса ипотечного кредитования и порядок взаимодействия между заемщиками и кредиторами на всех этапах «жизни» ипотечного жилищного кредита. На базе этого документа осуществляется выдача ипотечных кредитов кредитными организациями, работающими по стандартам Дом.рф. Наряду с ними некоторые банки работали по стандартам банка «Дельта Кредит (позже – Росбанк Дом)». Кроме того, собственные стандарты выдачи ипотечных кредитов внедряли в практику своей работы и другие – более мелкие ипотечные игроки. Однако по своей сути они относились к «внутренним» стандартам и не были обязательны к исполнению всеми кредитными организациями, работающими с жилищной ипотекой. К аналогичным внутренним стандартам ипотечного сегмента можно причислить и широко обсуждаемые в экспертном сообществе в последние годы стандарты «зеленой ипотеки» и «зеленого финансирования» (в том числе в части «зеленых ипотечных ценных бумаг») [например, Лебедева, 2023; Кубасова, Куденко, 2023].

Введенный в действие Банком России в 2025 году Ипотечный стандарт регулирует порядок раскрытия информации при заключении договора ипотечного кредита, предусматривает требования к отдельным условиям договора ипотечного кредита во избежание реализации в дальнейшем системных кредитных рисков и финансовых потерь получателей ипотеки, а также включает рекомендации кредитным институтам по организации отдельных составляющих их бизнес-процессов ипотечного кредитования и по урегулированию взаимоотношений с ипотечными клиентами. Он является дополнением к нормам федеральных законов и принятых в соответствии с ними нормативных актов Банка России. «Целью Стандарта является защита прав и законных интересов ипотечных заемщиков, прежде всего, путем формирования у них наиболее полного представления и понимания условий договора ипотечного кредита; рисков, возникающих в связи с его заключением, а также минимизация распространения высокорискованных схем ипотечного кредитования» [Стандарт защиты прав и законных интересов ипотечных заемщиков, 2025]. Таким образом, отвечая принципу «осознанного предоставления финансовых услуг» [Багратуни, Ермилов, 2025], этот документ предусматривает ответственность ипотечных кредитных организаций перед заемщиками и не допускает маркетинговых уловок, которые могут негативно отразиться на финансовом благополучии граждан.

Основные положения нового Ипотечного стандарта и возможные способы проверки их исполнения банками на практике, по нашему мнению, могут быть сведены к следующему (табл. 1).

Контроль за соблюдением кредитными институтами норм и требований Стандарта по защите прав и законных интересов ипотечных заемщиков возложен на Комитет по стандартам

деятельности кредитных организаций[1] на основе Надзорного стандарта. Алгоритм работы Надзорного стандарта сводится к следующему (рис. 2).

Таблица 1
Table 1

Содержание норм и требований Ипотечного стандарта – 2025
Contents of the norms and requirements of the Mortgage Standard – 2025

Содержание норм, требований	Способ проверки исполнения
1. Раскрытие информации об условиях кредитования на равных правах и в равном и полном объеме для принятия решения об оформлении кредита, в том числе о государственных программах, о бонусных программах кредитования для отдельных граждан	Подтверждением об ознакомлении является наличие собственноручной подписи заемщика в документе, содержащем данную информацию
2. Сумма кредита не должна превышать 80 % от справедливой стоимости предмета ипотеки	Справедливая стоимость предмета ипотеки устанавливается на основе анализа доступной для кредитной организации информации (договоров)
3. Первоначальный взнос заемщиком собственных средств для доступа к оформлению ипотечного кредита должен составлять не менее 20 % от стоимости объекта недвижимости	Достоверность наличия собственных средств устанавливается на основании документов, представленных заемщиком кредитору по его запросу. При этом в составе первоначального взноса не могут быть учтены: материальная выгода от продавца (застройщика), банка или иных лиц при покупке предмета ипотеки, а также кредиты, которые были выданы банком наряду с ипотекой и потрачены заемщиком на приобретение той же недвижимости
4. Срок договора ипотечного жилищного кредита не должен превышать 30 лет (с учетом возрастной категории заемщика)	Определяется в зависимости от суммы кредита и величины дохода заемщика(ов), который может быть направлен на его погашение и уплату процентов
5. Заемщик ипотечного жилищного кредита имеет право на ипотечные каникулы в случае ухудшения своего финансового положения	Устанавливается на основании обоснованного заявления заемщика с подтверждающими документами
6. Срок целевого использования кредитных средств и проведения расчетов по сделке приобретения предмета ипотеки должен составлять не более 30 дней со дня выдачи кредита (за редким исключением – 90)	Подтверждением является зачисление в 30-дневный (за редким случаев в 90-дневный) срок денежных средств заемщику на аккредитив или на счет эскроу
7. Кредитная организация не имеет права на получение вознаграждения от продавца (застройщика) или заемщика за установление пониженной процентной ставки по договору ипотечного кредита	Подтверждением является отсутствие факта зачисления (перевода) вознаграждения на корреспондетский счет банка-кредитора
8. Запрещается включение в договор ипотечного кредитования условий, ухудшающих положение заемщика по сравнению со стандартом	Тщательная проверка содержания условий кредитного договора и сверка по стандартам

Источник: составлено авторами по материалам [Стандарт защиты прав и законных интересов ипотечных заемщиков, 2025]

[1] В целях обеспечения объективности и прозрачности применения регулятором по итогам надзорного процесса мер надзорного реагирования, защиты конкуренции на финансовом рынке и прав потребителей финансовых услуг авторами в 2019 г. обосновывалась необходимость создания Института независимых экспертов (см. [Солдатенкова, 2019]). По сути дела, он отчасти являлся прообразом Комитета по стандартам деятельности кредитных организаций.

Рис. 2. Порядок вынесения надзорного решения Комитетом по стандартам деятельности кредитных организаций
Fig. 2. The procedure for making a supervisory decision by the Committee on Standards of Performance of Credit Institutions

Источник: составлено авторами по материалам [Стандарт осуществления надзора за соблюдением кредитными организациями стандартов деятельности кредитных организаций (Надзорный стандарт), 2025]

За несоблюдение стандартов Комитет имеет право применять к кредитным организациям три вида мер надзорного реагирования: рекомендации, предупреждения и требования об исполнении установленной меры воздействия. Первый вид актуален, если ранее к банку не применялись меры за несоблюдение соответствующей нормы стандарта или если несоблюдение носит технический характер либо является незначительным. Предупреждения о применении мер воздействия могут быть вынесены, если банк повторно после получения рекомендации и истечения срока ее исполнения, допустил несоблюдение той же нормы стандарта либо если установлены факты несоблюдения им двух или более норм. Кроме того, предупреждение, как и рекомендация, может быть вынесено, если несоблюдение носит технический характер либо является незначительным. Основанием для применения последней меры воздействия служит тот факт, что финансовый посредник повторно, в течение одного года после получения предупреждения и истечения срока его исполнения допустил несоблюдение той же нормы. В случае получения банком двух и более требований за нарушение одной и той же нормы, Банк России после получения соответствующей информации от Комитета размещает на своем официальном сайте сообщение с указанием нарушенной нормы и применяемой меры, а также срока ее действия.

Следует отметить, что, на наш взгляд, предложенные меры надзорного реагирования за нарушение норм и требований Ипотечного стандарта нуждаются в детальной проработке. В распоряжении Банка России имеется достаточно широкий пул мер финансового надзорного реагирования как предупредительного, так и принудительного характера. Их выбор на практике обуславливается характером допущенных нарушений, причинами их возникновения, а также общим финансовым положением посредника. В связи с этим, по нашему мнению, необходимо следовать устоявшейся практике надзорного реагирования Банка России и при надзоре за соблюдением кредитными учреждениями норм Стандарта по

защите прав и законных интересов ипотечных заемщиков. Предлагаем возможный вариант реагирования на выявленные нарушения Ипотечного стандарта (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Возможные меры надзорного реагирования на невыполнение кредитной организацией норм и требований Ипотечного стандарта
Possible supervisory response measures for failure of a credit organization to comply with the norms and requirements of the Mortgage Standard

Предупредительные меры реагирования	Принудительные меры реагирования
1. Доведение до органов управления банка информации о недостатках в текущей деятельности по соблюдению норм Стандарта. Формирование рекомендаций надзорного органа по их исправлению	1. Штрафы
2. Предложение сформировать программу действий по устранению выявленных Стандартом недостатков и представить ее на утверждение в надзорный орган	2. Публикация на сайте регулятора сведений о невыполнении банком положений Стандарта
3. Установление дополнительного текущего контроля за деятельностью банка и выполнением мероприятий по соблюдению норм и требований Стандарта	3. Ограничение проведения банковских операций по предоставлению ипотечных жилищных кредитов на срок до шести месяцев
	4. Решение о повышении нормы обязательного резервирования по формируемым банком резервам на возможные потери по ипотечным ссудам

Источник: составлено авторами

Заключение

Относительно Ипотечного стандарта, который был введен с 1 января 2025 года, следует отметить, что он, на наш взгляд, позволит: снизить кредитные риски как заемщиков ипотечного кредита, так и банков-кредиторов, ограничить возможности оформления ипотеки отдельными заемщиками, не располагающими в достаточной сумме собственными средствами для первоначального взноса, в целом снизить уровень закредитованности населения. Кроме того, Ипотечный стандарт отрегулирует отношения кредиторов и застройщиков (продавцов) недвижимости.

Считаем целесообразным на сайте мегарегулятора в специальном разделе размещать список кредитных организаций, невыполняющих рекомендации вместе с принятыми мерами надзорного реагирования за их невыполнение. Кроме того, возможно стоило бы подумать о включении в уже формируемый поведенческий риск-профиль банка результатов оценки выполнения стандартов с учетом экспертных оценок членов Комитета по стандартам. Это дополнительно могло бы помочь выделять области банковской деятельности, требующие закрепления в стандартах. Оптимальным видится такой подход к разработке новых стандартов:

1) фиксация ЦБ либо банковским сообществом случаев недобросовестных практик;

2) публикация рекомендаций по их избеганию (предотвращению);

3) публикация рейтинга банков по поведенческому риск-профилю исходя из нарушения рекомендаций;

4) выявление областей для создания новых стандартов.

Считаем, что, в первую очередь, новые стандарты должны коснуться кредитных программ с господдержкой: образовательной, оставшихся адресных ипотечных программ, госпрограммы

автокредитования, льготных программ для корпоративных заемщиков, т. к. в текущей практике банков есть разночтения по подходу к условиям их реализации. Тем более, что Банком России уже была обозначена возможность проработки с Минфином вопроса стандартизации льготных ипотечных программ и маркировки таких программ для удобства заемщиков.

В целях повышения в стране инвестиционной активности предпринимателей весьма актуальной, на наш взгляд, является разработка Стандарта по защите прав и законных интересов заемщиков синдицированного кредита, а также ввиду высокого спроса со стороны физических лиц на автокредиты и недобросовестных практик их предоставления разными кредиторами – Стандарта по защите прав и законных интересов заемщиков в автокредитовании, которой уже занимается Рабочая группа Комитета по стандартам деятельности кредитных организаций. Справедливым и верным подходом при этом видится тот факт, что разработка как текущих, так и перспективых стандартов кредитования ведется органами государственной власти в тесном диалоге с банковским сообществом, тем самым обеспечивая соблюдение баланса интересов обеих сторон. Поскольку, как верно отмечали в своем исследовании эксперты [Мамута, Цыганов, Языков, 2019], «“перетягивание” прав на одну из сторон договора не ведет к устойчивому развитию и либо грозит появлением мошенничества и недобросовестных практик защиты прав потребителей, либо ведет к стагнации на рынке и существенному снижению предложения со стороны поставщиков финансовых услуг», что идет вразрез со стратегическими планами государства по обеспечению эффективного функционирования финансового рынка в нашей стране.

Список источников

Федеральный закон "О банках и банковской деятельности" от 02.12.1990 N 395-1 (в ред. от 28.02.2025 №18-ФЗ). // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5842/ (дата обращения: 01.03.2025).

Закон РФ от 07.02.1992 N 2300-1 "О защите прав потребителей" (в ред. от 08.08.2024 №232-ФЗ). // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_305/ (дата обращения: 25.02.2025).

Федеральный закон "О защите прав и законных интересов инвесторов на рынке ценных бумаг" от 05.03.1999 N 46-ФЗ (в ред. от 08.08.2024 №278-ФЗ). // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22219/ (дата обращения: 25.02.2025).

Федеральный закон "О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)" от 10.07.2002 N86-ФЗ (в ред. от 28.02.2025 №18-ФЗ). // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37570/ (дата обращения: 01.03.2025).

Федеральный закон "О потребительском кредите (займе)" от 21.12.2013 N353-ФЗ (в ред. от 22.06.2024 №151-ФЗ). // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_155986/ (дата обращения: 21.02.2025).

Федеральный закон "О саморегулируемых организациях в сфере финансового рынка" от 13.07.2015 N223-ФЗ (в ред. от 10.07.2023 N 298-ФЗ). // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182662/ (дата обращения: 11.02.2025).

Приказ Министра обороны Российской Федерации от 09.10.2018 № 558 "Об утверждении Стандарта предоставления ипотечного кредита (займа) участникам накопительно-ипотечной системы жилищного обеспечения военнослужащих". // СПС “ГАРАНТ”. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72024136/ (дата обращения: 11.02.2025).

Письмо ФАС РФ N ИА/7235, Банка России N 77-Т от 26.05.2005 "О Рекомендациях по стандартам раскрытия информации при предоставлении потребительских кредитов". // СПС “Консультант Плюс”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_53766/ (дата обращения: 11.02.2025).

Принципы Кодекса ответственного потребительского кредитования, 2008. // Ассоциация банков России. URL: https://asros.ru/upload/medialibrary/f1a/otv_kreditor.pdf (дата обращения: 18.02.2025).

Стандарт защиты прав и законных интересов ипотечных заемщиков, 2025. // Центральный Банк Российской Федерации. URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/166122/standart_ko.pdf (дата обращения: 01.02.2025).

Стандарт осуществления надзора за соблюдением кредитными организациями стандартов деятельности кредитных организаций (Надзорный стандарт), 2025. // Центральный Банк Российской Федерации. URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/170479/standard_supervision.pdf (дата обращения: 01.02.2025).

Стандарт ответственного ипотечного кредитования, 2019. // АО “ДОМ.РФ”. URL: https://xn--d1aqf.xn--p1ai/mortgage-standard/documents/ (дата обращения: 01.02.2025).

Список литературы

Багратуни К.Ю., Ермилов В.Г. 2025. Финансовый уполномоченный: управление осознанным предоставлением и потреблением финансовых услуг. *Банковское дело*, 2: 48–59.

Злобина Е.И. 2009. Стандарты кредитования физических лиц как регулятивный институт на кредитном рынке. *Финансовая аналитика: проблемы и решения*, 10(22): 41–47.

Злобина Е.И. 2009. Особенности развития стандартов кредитования физических лиц в российских коммерческих банках. *Финансы и кредит*, 30(366): 37–42.

Злобина Е.И. 2010. Трансформация стандартов кредитования физических лиц российскими коммерческими банками в условиях финансовой глобализации. Диссертация ... кандидата экономических наук: 08.00.10: 146.

Лебедева И.А. 2023. ESG-трансформация рынка ипотечных кредитов. *Ученые записки Международного банковского института*, 1(43): 101–118.

Коршунова Г.В., Нурмухаметов Р.К. 2020. О финансовом консультировании заемщиков-физических лиц. *Вестник Тульского филиала Финуниверситета*,1: 34–36.

Кроливецкая В.Э., Солдатенкова И.В. 2020. Регулирование финансового рынка в России: учебное пособие для бакалавров. Гатчина: Изд-во ГИЭФПТ; 13–14.

Кубасова Т.И., Куденко И.В. 2023. Национальные “зеленые” стандарты как основа стимулирования развития жилищного строительства в России. Развитие малого предпринимательства в Байкальском регионе: материалы 5-й международной научно-практической конференции: 234–241.

Мамута М.В., Цыганов А.А., Языков А.Д. 2019. Реструктуризация ипотечного жилищного кредита: социальный и экономический аспекты. *Имущественные отношения в Российской Федерации*, 1(218): 7–16.

Ситник А.А. 2023. Поведенческий надзор на финансовом рынке. *Lex russica*, Т. 76, 3: 41–51.

Солдатенкова И.В. 2019. Формирование интегрированной модели финансового надзора Банка России. Диссертация ... кандидата экономических наук:08.00.10: 190.

Фадейкина Н.В., Доля Е.И. 2018. О применении кредитными организациями профессиональных стандартов в области автокредитования. *Сибирская финансовая школа*, 5: 118–130.

Фадейкина Н.В., Швецова Н.С., Степанов К.К., Припутенко А.В. 2021. О применении профессиональных стандартов в области потребительского кредитования. Проблемы финансово-кредитного обеспечения новой экономики: Сборник научных трудов по материалам национальной научно-практической конференции: 75–85.

Швецова Н.С. 2019. О применении профессиональных стандартов при реализации процесса корпоративного кредитования. Национальная система квалификаций и профессиональные стандарты: сборник научных трудов по материалам российской научно-практической конференции: 46–52.

Ушанов А.Е. 2020. Коммерческое ипотечное кредитование: вопросы стандартизации. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*, 2: 100–106.

References

Bagratuni K.Yu., Ermilov V.G. 2025. Finansovii upolnomochennii: upravlenie osoznannim predostavleniem i potrebleniem finansovikh uslug. [Financial Ombudsman: Managing the Conscious Provision and Consumption of Financial Services]. *Banking*, 2: 48–59.

Zlobina E.I. 2009. Standarti kreditovaniya fizicheskikh lits kak regulyativnii institut na kreditnom rinke. [Standards of lending to individuals as a regulatory institution in the credit market]. *Financial Analytics: Problems and Solutions*, 10(22): 41–47.

Zlobina E.I. 2009. Osobennosti razvitiya standartov kreditovaniya fizicheskikh lits v rossiiskikh kommercheskikh bankakh. [Features of development of standards of lending to individuals in Russian commercial banks]. *Finance and Credit*, 30(366): 37–42.

Zlobina E.I. 2010. Transformatsiya standartov kreditovaniya fizicheskikh lits rossiiskimi kommercheskimi bankami v usloviyakh finansovoi globalizatsii. [Transformation of standards of lending to individuals by Russian commercial banks in the context of financial globalization] Dissertation ... candidate of economic sciences: 08.00.10: 146.

Lebedeva I.A. 2023. ESG-transformaciya rynka ipotechnyh kreditov. [ESG transformation of the mortgage market]. *Scientific notes of the International Banking Institute*, 1(43): 101–118.

Korshunova G.V., Nurmukhametov R.K. 2020. O finansovom konsul'tirovanii zaemshchikov-fizicheskih lic. [On financial consulting for individual borrowers]. *Bulletin of the Tula branch of the Financial University*, 1: 34–36.

Krolivetskaya V.E., Soldatenkova I.V. 2020. Regulirovanie finansovogo rinka v Rossii: uchebnoe posobie dlya bakalavrov. [Regulation of the financial market in Russia: a textbook for bachelors]. Gatchina: Publishing house of GIEFPT; 13–14.

Kubasova T.I., Kudenko I.V. 2023. Nacional'nye “zelenye” standarty kak osnova stimulirovaniya razvitiya zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii. [National “green” standards as a basis for stimulating the development of housing construction in Russia]. Development of small entrepreneurship in the Baikal region: materials of the 5th international scientific and practical conference: 234–241.

Mamuta M.V., Tsyganov A.A., Yazykov A.D. 2019. Restrukturizaciya ipotechnogo zhilishchnogo kredita: social'nyj i ekonomicheskij aspekty. [Restructuring of mortgage housing loans: social and economic aspects]. *Property relations in the Russian Federation*, 1(218): 7–16.

Sitnik A.A. 2023. Povedencheskij nadzor na finansovom rynke. [Behavioral supervision in the financial market]. *Lex russica*, T. 76, 3: 41–51.

Soldatenkova I.V. 2019. Formirovanie integrirovannoi modeli finansovogo nadzora Banka Rossii. [Formation of an integrated model of financial supervision of the Bank of Russia]. Dissertation ... candidate of economic sciences: 08.00.10: 190.

Fadeikina N.V., Dolya E.I. 2018. O primenenii kreditnymi organizaciyami professional'nyh standartov v oblasti avtokreditovaniya. [On the application of professional standards in the field of car loans by credit institutions]. *Siberian Financial School*, 5: 118–130.

Fadeikina N.V., Shvetsova N.S., Stepanov K.K., Priputenko A.V. 2021. O primenenii professional'nyh standartov v oblasti potrebitel'skogo kreditovaniya. [On the application of professional standards in the field of consumer lending]. Problems of financial and credit support of the new economy: Collection of scientific papers based on the materials of the national scientific and practical conference: 75–85.

Shvetsova N.S. 2019. O primenenii professional'nyh standartov pri realizacii processa korporativnogo kreditovaniya. [On the application of professional standards in the implementation of the corporate lending process]. National qualifications system and professional standards: collection of scientific papers based on the materials of the Russian scientific and practical conference: 46–52.

Ushanov A.E. 2020. Kommercheskoe ipotechnoe kreditovanie: voprosy standartizacii. [Commercial mortgage lending: issues of standardization]. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Economics*, 2: 100–106.

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 05.03.2025
Поступила после рецензирования 26.05.2025
Принята к публикации 27.05.2025

Received March 05, 2025
Revised May 26, 2025
Accepted May 27, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кроливецкая Валерия Эдуардовна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры менеджмента и маретинга, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

Солдатенкова Инна Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов, Гатчинский государственный университет, г. Гатчина, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valeria E. Krolivetskaya, Doctor of Sciences (Economics), Associate Professor, Professor of the Department of Management and Marketing, Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, St. Petersburg, Russia

Inna V. Soldatenkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Accounting and Finance, Gatchina State University, Gatchina, Russia

УДК 336.13
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-372-382
EDN INOEKX

Учетно-аналитическое обеспечение управления финансовым состоянием организаций: современное состояние и развитие

[1] Токарь Е.В., [2] Региг Иссам
[1] Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а
[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
tokar_e@bsuedu.ru, 1599831@bsuedu.ru

Аннотация. В статье представлен всесторонний анализ текущего состояния и потенциальных векторов развития системы учета и анализа, которые используются для управления финансовым состоянием организаций. Основная задача исследования – определить тенденции и движущие силы, которые влияют на развитие системы учета и анализа в контексте управления финансовым состоянием организаций. Объектом исследования является система учета и анализа, которая используется для управления финансами. Предметом исследования является влияние изменений в учетных и аналитических процессах в организациях на принятие обоснованных управленческих решений. В исследовании применены общенаучные методы, такие как анализ, синтез, сравнение, системность и комплексность. В ходе исследования были сделаны основные заключения: современная система учетно-аналитического обеспечения управления финансами характеризуется комплексным составом и тесными внутренними взаимосвязями формирующих ее компонентов. Для эффективной реализации своих функций эта система должна быть органично встроена в единый контур финансового управления и планирования на предприятии, охватывающий процессы целеполагания, прогнозирования, бюджетирования, мониторинга и контроля финансовых показателей. В современной экономике происходит активная трансформация системы учета и анализа, которая обеспечивает управление финансовым состоянием организаций. В ходе исследования были определены направления для совершенствования методов учета и анализа в управлении финансами организаций в современных условиях.

Ключевые слова: учетно-аналитическое обеспечение, финансовое состояние организации, финансовый анализ, бухгалтерская отчетность, управление финансами

Для цитирования: Токарь Е.В., Региг Иссам. 2025. Учетно-аналитическое обеспечение управления финансовым состоянием организаций: современное состояние и развитие. *Экономика. Информатика*, 52(2): 372–382. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-372-382 EDN INOEKX

Accounting and Analytical Support for Financial Condition Management of Organizations: Current State and Development

[1] Elena V. Tokar, [2] Regig Issam
[1] Belgorod University of Cooperation, Economics and Law
116a Sadovaya St., Belgorod 308023, Russia
[2] Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
tokar_e@bsuedu.ru, 1599831@bsuedu.ru

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the current state and potential development vectors of the accounting and analysis systems that are used to manage the financial condition of organizations. The main objective of the study is to identify trends and driving forces that influence the development of accounting and

© Токарь Е.В., Региг Иссам, 2025

analysis systems in the context of managing the financial condition of organizations. The object of the research is the accounting and analysis system which is used for financial management. The subject of the study is the impact of changes in accounting and analytical processes in organizations on making informed management decisions. The research uses general scientific methods such as analysis, synthesis, and comparison. It is based on principles of consistency and comprehensiveness. The study allows concluding that the modern system of accounting and analytical support for financial management is characterized by an integrated composition and close internal relationships between its components. To effectively implement its functions, this system must be organically integrated into a single financial management and planning circuit at the enterprise, covering the processes of goal setting, forecasting, budgeting, monitoring and control of financial indicators. In the modern economy, there is an active transformation of the accounting and analysis system, which ensures the management of the financial condition of organizations. The research identified areas for improving the accounting and analysis methods in contemporary financial management of organizations.

Keywords: accounting and analytical support, organization's financial condition, financial analysis, financial statements, financial management

For citation: Tokar E.V., Regig Issam. 2025. Accounting and Analytical Support for Financial Condition Management of Organizations: Current State and Development. *Economics. Information technologies*, 52(2): 372–382 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-372-382 EDN INOEKX

Введение

В современных реалиях глобальной экономики, характеризующейся высокой турбулентностью, динамизмом и непредсказуемостью, вопросы эффективного управления финансовым состоянием компаний выходят на первый план. Финансовая стабильность и устойчивость являются ключевыми факторами, определяющими не только текущую конкурентоспособность хозяйствующих субъектов, но и их потенциал долгосрочного развития, возможности стратегического маневра в быстро меняющейся среде. В этих условиях существенно возрастают требования к качеству, достоверности и оперативности информации, на основе которой принимаются управленческие решения финансового характера. От того, насколько полной, релевантной и своевременной будет эта информация, напрямую зависит обоснованность и результативность действий финансовых менеджеров по управлению денежными потоками, оптимизации структуры капитала, повышению рентабельности и инвестиционной привлекательности бизнеса. Учитывая многоаспектный и комплексный характер категории «финансовое состояние», охватывающей широкий спектр показателей ликвидности, платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности, рыночной стоимости компании, обеспечение менеджмента адекватной информационной базой для его оценки и регулирования представляет собой сложную методологическую и организационную задачу. Ее эффективное решение невозможно без формирования целостной системы учетно-аналитического обеспечения управления финансами, интегрирующей в себе функции сбора, обработки, систематизации и передачи данных о различных аспектах финансово-хозяйственной деятельности организации. По мнению профессора М.А. Вахрушиной, «учетно-аналитическое обеспечение представляет собой систему сбора, обработки и передачи финансовой и нефинансовой информации, используемой менеджментом для планирования и контроля за развитием организации, измерения и оценки полученных результатов» [Вахрушина, 2018]. Данное определение подчеркивает ряд принципиальных моментов:

– Во-первых, учетно-аналитическое обеспечение носит системный характер, то есть представляет собой не просто механический набор разрозненных данных, а целостный комплекс взаимосвязанных и взаимодополняющих информационных компонентов, функционирующих как единое целое.

– Во-вторых, эта система объединяет в себе как финансовую информацию (данные бухгалтерского учета и отчетности), так и нефинансовые сведения (о рыночной среде, клиентах, бизнес-процессах, рисках и т. д.), что позволяет составить целостное представление

о состоянии и потенциале развития организации. В современных системах учетно-аналитического обеспечения все большее значение приобретает нефинансовая информация, позволяющая оценить качественные, неформализуемые аспекты деятельности – уровень инновационности, клиентоориентированности, социальной ответственности бизнеса.

– В-третьих, ключевая цель учетно-аналитического обеспечения заключается в информационной поддержке процессов планирования, контроля и принятия решений в системе финансового менеджмента. Иными словами, вся собираемая и обрабатываемая в его рамках информация должна иметь четкую практическую направленность и релевантность для управления финансовым состоянием компании. При этом менеджмент заинтересован не только в ретроспективных данных для оценки результатов прошлой деятельности, но и в прогнозной информации для обоснования целей и путей развития бизнеса. В организационном плане система, обеспечивающая учет и анализ финансовой информации, представляет собой целостный комплекс методов и инструментов, используемых в финансовом, управленческом и налоговом учете, а также в финансовом и управленческом анализе. Каждая из этих подсистем выполняет свои уникальные задачи по сбору и обработке данных, необходимых для принятия решений. Бухгалтерский финансовый учет и формируемая на его основе финансовая отчетность представляют внешним и внутренним пользователям достоверные сведения о финансовом состоянии, итогах деятельности и перемещении денежных средств организации за рассматриваемый период. Как отмечает Т.К. Бондарева, бухгалтерская отчетность в системе учетно-аналитического обеспечения играет роль фундамента, на котором базируются все остальные информационные конструкции [Бондарева, 2019]. В международной практике финансовая отчетность рассматривается как основной источник информации для широкого круга стейкхолдеров – инвесторов, кредиторов, контрагентов, госорганов. Вместе с тем, как справедливо замечает Ю.И. Панова, бухгалтерская отчетность не всегда отвечает потребностям оперативного тактического управления финансами из-за ее исторического характера и высокой степени агрегирования показателей [Панова, 2019]. Кроме того, методология составления финансовой отчетности не учитывает отраслевые особенности бизнеса, его бизнес-модель и стратегические приоритеты развития. Для устранения этих ограничений в структуру учетно-аналитического обеспечения управления финансами включается управленческий учет. В отличие от финансового учета, ориентированного на внешних пользователей и подчиненного строгим нормативным требованиям, управленческий учет нацелен на максимальное удовлетворение информационных запросов внутрифирменного менеджмента. Управленческий учет позволяет получить детализированные данные о финансовых результатах и ресурсах в разрезе сегментов бизнеса, зон ответственности, бизнес-процессов. Оперируя не только фактическими, но и плановыми (бюджетными) показателями, управленческий учет обеспечивает информационную базу для анализа исполнения текущих финансовых планов и контроля отклонений. Налоговый учет, являющийся обязательным элементом учетно-аналитической системы российских организаций, предназначен для формирования полных и достоверных данных о порядке учета операций, связанных с исчислением налоговых платежей в бюджет. Данные налогового учета позволяют оценить налоговую нагрузку бизнеса, оптимизировать налогооблагаемые базы, минимизировать налоговые риски, что напрямую влияет на чистую прибыль и денежные потоки организации. Наконец, подсистема финансового и управленческого анализа выступает связующим звеном, интегрирующим учетные данные в целостную информационную картину финансового состояния компании. В задачи анализа входит выявление и оценка тенденций изменения ключевых финансовых индикаторов, факторов и резервов их улучшения, моделирование вариативных сценариев развития финансовой ситуации.

Таким образом, современная система учетно-аналитического обеспечения управления финансами характеризуется комплексным составом и тесными внутренними взаимосвязями формирующих ее компонентов. Для эффективной реализации своих функций эта система должна быть органично встроена в единый контур финансового управления и планирования на

предприятии, охватывающий процессы целеполагания, прогнозирования, бюджетирования, мониторинга и контроля финансовых показателей. Только в этом случае она сможет обеспечить надежный информационный фундамент для выработки и реализации финансовой стратегии, адекватной современным вызовам бизнес-среды.

Обзор литературы

Нормативно-правовую основу учетно-аналитического обеспечения управления финансовым состоянием организаций в Российской Федерации составляет комплекс законодательных и подзаконных актов, регулирующих порядок ведения бухгалтерского, налогового и статистического учета, составления и представления соответствующих видов отчетности.

Ключевым элементом данной системы выступает Федеральный закон «О бухгалтерском учете» от 06.12.2011 № 402-ФЗ [О бухгалтерском учете, 2023], устанавливающий единые правовые и методологические основы организации и ведения бухгалтерского учета в РФ. В частности, закон определяет:

– объекты и задачи бухгалтерского учета;
– обязанность ведения бухучета всеми экономическими субъектами;
– основные требования к учетной политике организации;
– первичные учетные документы и регистры бухгалтерского учета;
– правила проведения инвентаризации активов и обязательств;
– общие требования к бухгалтерской (финансовой) отчетности;
– состав, порядок и сроки представления отчетности;
– обязательность аудита годовой бухгалтерской отчетности для определенных категорий организаций;
– принципы регулирования и организации бухгалтерского учета.

Таким образом, 402-ФЗ «О бухгалтерском учете» является базовым нормативным документом, задающим концептуальные рамки всей системы бухгалтерского учета и отчетности в нашей стране.

Состав, содержание и методические основы формирования бухгалтерской отчетности конкретизируются в Приказе Минфина РФ от 02.07.2010 № 66н «О формах бухгалтерской отчетности организаций» [О формах бухгалтерской отчетности организаций, 2019]. Данный документ определяет структуру и содержание основных отчетных форм – бухгалтерского баланса, отчета о финансовых результатах, отчета об изменениях капитала, отчета о движении денежных средств, а также пояснений и расшифровок к ним. Приказ содержит образцы форм, инструкции по их заполнению и увязке показателей, требования к раскрытию информации.

Результаты исследования и дискуссия

Бухгалтерская отчетность, составленная по установленным правилам, является главным источником данных для анализа финансового состояния компании. Бухгалтерский баланс позволяет оценить ее имущественное положение, финансовую устойчивость и ликвидность. Отчет о финансовых результатах дает представление о динамике доходов, расходов и прибыли организации. Отчет об изменениях капитала раскрывает информацию о структуре и движении собственных источников финансирования бизнеса. Отчет о движении денежных средств характеризует денежные потоки от операционной, инвестиционной и финансовой деятельности. Пояснения к отчетности содержат расшифровки отдельных статей и дополнительные данные, необходимые для полноты представления о финансовом положении фирмы.

На основе данных бухгалтерской отчетности рассчитываются ключевые индикаторы финансового состояния – показатели платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности и рентабельности. Их анализ в динамике и в сравнении с нормативами и

среднеотраслевыми значениями дает объективную картину текущего положения компании, позволяет выявить критические точки и обосновать мероприятия по его улучшению.

Помимо Федерального закона № 402-ФЗ «О бухгалтерском учете» и приказа 66н «О формах бухгалтерской отчетности организаций», нормативную базу учетно-аналитического обеспечения управления финансами образуют стандарты бухгалтерского учета (ФСБУ). Они детализируют методологию учета отдельных объектов – основных средств (ФСБУ 6/2020), нематериальных активов (ФСБУ 14/2022), материальных запасов (ФСБУ 5/19) и т. д. Корректное отражение названных активов, обязательств и хозяйственных операций в учете – необходимое условие достоверности итоговых данных о финансовом состоянии в отчетности.

Еще один важный блок нормативного регулирования связан с налоговым учетом и отчетностью. Часть вторая Налогового кодекса РФ устанавливает состав налогов, порядок их исчисления и уплаты, требования к налоговой отчетности организаций. Правильность ведения налогового учета напрямую влияет на показатели чистой прибыли и оттока денежных средств на уплату налогов, а значит – на общую оценку финансового состояния фирмы.

Также нельзя не упомянуть Федеральный закон «О консолидированной финансовой отчетности» от 27.07.2010 № 208-ФЗ. Он вводит обязанность составления консолидированной отчетности по МСФО для определенных групп компаний (кредитных организаций, страховщиков, эмитентов публично размещаемых ценных бумаг) [О консолидированной финансовой отчетности, 2010]. Такая отчетность дает представление о финансовом положении бизнеса на уровне группы взаимосвязанных организаций, элиминируя внутригрупповые обороты и позволяя оценить совокупные активы, обязательства и финансовые результаты.

Подытоживая вышесказанное, можно констатировать, что система учета и анализа финансового состояния российских предприятий опирается на обширную нормативно-правовую базу. Чтобы обеспечить прозрачность и точность информации о финансовом положении бизнеса, а также повысить надежность и эффективность управленческих решений, основанных на этой информации, необходимо строго следовать положениям этой системы. В то же время, нельзя не отметить определенные пробелы действующей нормативной базы, к числу которых относятся:

– ориентация нормативного регулирования преимущественно на крупный бизнес; недостаточный учет потребностей и специфики малых предприятий;

– слабая гармонизация национальных стандартов учета и отчетности с международными (МСФО, ГААП), что снижает транспарентность финансовой информации для иностранных инвесторов;

– недостаточная регламентация управленческого учета, который остается «вещью в себе», полностью отданной на откуп менеджменту компаний;

– дублирование и противоречивость норм, регулирующих бухгалтерский и налоговый учет, вынуждающие компании вести их параллельно;

– неполный охват системой нормативного регулирования нефинансовой информации (социальной, экологической и т. п.), играющей все большую роль в оценке устойчивости бизнеса.

Устранение данных пробелов – актуальная задача дальнейшего развития нормативно-правовой базы учетно-аналитической деятельности в РФ. Ее решение будет способствовать дальнейшему повышению качества, полноты и достоверности данных о финансовом состоянии хозяйствующих субъектов, укреплению доверия к российской финансовой отчетности со стороны всех категорий ее пользователей.

Традиционно в составе годовой бухгалтерской отчетности организации представляют бухгалтерский баланс, отчет о финансовых результатах и приложения к ним. Бухгалтерский баланс отражает имущественное и финансовое положение компании на отчетную дату, позволяет оценить структуру активов и источников их финансирования. Отчет о финансовых

результатах содержит информацию о доходах, расходах и финансовых результатах деятельности за отчетный период. На основе этих форм отчетности проводится углубленный анализ платежеспособности, финансовой устойчивости, деловой активности, рентабельности организации.

Вместе с тем, как справедливо подчеркивают Беспалов М.В. и Абдукаримов И.Т., «бухгалтерская отчетность не охватывает все стороны и особенности финансово-хозяйственной деятельности предприятия и не всегда отвечает потребностям оперативного управления и контроля» [Беспалов, Абдукаримов, 2017]. Для получения целостной и релевантной картины финансового состояния компании необходим комплексный анализ данных не только бухгалтерского, но и управленческого, налогового учета.

В частности, управленческая отчетность, формируемая для внутренних целей менеджмента, содержит более детальную и оперативную информацию о различных аспектах деятельности организации. Она может включать данные о движении денежных средств, себестоимости продукции, рентабельности отдельных видов продукции и направлений бизнеса, эффективности инвестиционных проектов и т. д. Анализ этой информации позволяет своевременно выявлять проблемные зоны, принимать обоснованные управленческие решения и контролировать их исполнение.

Важную роль играет также налоговая отчетность, отражающая расчеты организации с бюджетом по различным видам налогов и сборов. Анализ налоговой нагрузки, эффективности налогового планирования, рисков возникновения претензий со стороны налоговых органов является неотъемлемой частью комплексной оценки финансового состояния компании.

Кроме того, для углубленного анализа финансового положения организации могут привлекаться данные статистической отчетности, содержащей сведения о производстве и отгрузке продукции, численности и заработной плате работников, наличии и движении основных средств и др. Эта информация позволяет оценить производственный потенциал компании, эффективность использования трудовых и материальных ресурсов.

Особое значение имеет анализ консолидированной финансовой отчетности, которая составляется группой взаимосвязанных организаций и отражает финансовое положение и результаты деятельности группы как единого экономического субъекта. Консолидированная отчетность позволяет оценить эффект синергии от объединения бизнесов, выявить внутригрупповые операции и зависимости, а также получить более объективное представление о реальном финансовом положении холдинга или группы компаний.

Таким образом, для проведения комплексного финансового анализа необходимо использовать широкий спектр информационных источников, включая не только бухгалтерскую, но и управленческую, налоговую, статистическую, консолидированную отчетность. Это позволит получить всестороннюю и достоверную оценку финансового состояния организации, выявить ключевые факторы и резервы его улучшения.

При этом важно обеспечить сопоставимость и непротиворечивость данных из разных источников, применять адекватные методы их обработки и анализа. Полученные результаты должны быть понятны и полезны для различных групп заинтересованных пользователей – собственников, менеджеров, инвесторов, кредиторов и др.

В условиях динамичной и нестабильной внешней среды особое значение приобретает регулярный мониторинг финансового состояния и оперативное реагирование на возникающие угрозы и возможности. Для этого необходимо создать действенную систему внутреннего контроля и управленческой отчетности, которая будет предоставлять руководству актуальную и своевременную информацию для принятия стратегических и оперативных решений.

Управленческая отчетность, формируемая в рамках системы управленческого учета, содержит более детальную информацию о результатах деятельности организации в разрезе сегментов бизнеса, ключевых бизнес-процессов, центров ответственности. Это позволяет оценить рентабельность отдельных продуктов, каналов продаж, клиентских сегментов, выявить наиболее и наименее прибыльные направления деятельности. Кроме того,

управленческий учет оперирует не только фактическими, но и плановыми, бюджетными показателями, что дает возможность анализировать отклонения и их причины.

Данные налогового учета и отчетности также имеют существенное значение для анализа финансового состояния, поскольку позволяют оценить налоговую нагрузку на бизнес, эффективность налоговой политики и налогового планирования компании. Чекулина Т.А. и соавторы указывают: «В условиях высокой налоговой нагрузки на бизнес оптимизация налоговых платежей и налоговых рисков становится одной из приоритетных задач финансового управления» [Чекулина, 2018].

Таким образом, учетно-аналитическое обеспечение управления финансовым состоянием организации носит комплексный, системный характер и требует интеграции данных бухгалтерского, управленческого и налогового учета. При этом главным связующим звеном этой системы выступает финансовый и управленческий анализ, позволяющий интерпретировать учетные данные, выявлять закономерности и тенденции развития финансовых процессов, диагностировать проблемы и обосновывать пути их решения.

На рис. 1 представлена концептуальная модель учетно-аналитической системы в процессе оценки финансового состояния предприятия, сформированная на основании соблюдения принципов достоверности, существенности, последовательности.

На сегодняшний день в теории и практике финансового анализа сложился достаточно обширный инструментарий оценки и диагностики финансового состояния организации. Наиболее распространенными являются методы:

– анализа бухгалтерской отчетности по горизонтали и вертикали;
– анализа финансовых коэффициентов;
– сопоставление показателей разных компаний и в разные периоды времени (динамический анализ);
– факторного анализа финансовых показателей;
– оценки вероятности банкротства с помощью комплексных моделей и другие методы [Токарь, 2022].

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, области и ограничения практического применения. Так, горизонтальный и вертикальный анализ позволяют выявить изменения в динамике и структуре отчетных показателей, но не объясняют причины этих изменений. Метод финансовых коэффициентов дает возможность оценить различные аспекты финансового состояния (ликвидность, финансовую устойчивость, оборачиваемость, рентабельность), однако полученные значения часто трудно интерпретировать однозначно. Нормативные уровни многих финансовых коэффициентов существенно варьируются в зависимости от отрасли и масштабов бизнеса.

Факторный анализ позволяет выявить и количественно измерить влияние факторов на изменение результативных финансовых показателей, но требует построения адекватных детерминированных или стохастических факторных моделей. Модели оценки вероятности банкротства дают комплексную интегральную оценку финансового состояния, однако их прогностическая ценность неодинакова для компаний разного профиля деятельности и существенно снижается в условиях макроэкономической нестабильности.

Несмотря на разнообразие методов, ни один из них не дает исчерпывающей картины финансового здоровья компании. Поэтому для получения адекватной и всесторонней оценки необходимо использовать комплекс взаимодополняющих инструментов анализа с учетом специфики деятельности конкретной организации.

Кроме того, финансовый анализ должен носить регулярный характер для своевременного выявления негативных тенденций и рисков. Периодичность анализа зависит от потребностей управления и может варьироваться от ежемесячного до ежегодного. При этом важно обеспечить сопоставимость данных за разные периоды.

Следует отметить, что результаты финансового анализа представляют ценность только в контексте стратегических целей и задач организации. Они должны быть положены в основу управленческих решений, направленных на улучшение финансовых показателей, укрепление рыночных позиций и повышение стоимости бизнеса.

Рис. 1. Концептуальная модель учетно-аналитической системы в процессе оценки финансового состояния предприятия
Fig. 1. The conceptual model of the accounting and analytical system in the process of assessing the financial condition of the enterprise

Таким образом, финансовый анализ является неотъемлемым элементом системы управления современной компанией. Он позволяет объективно оценить текущее финансовое положение, выявить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, а также разработать комплекс мер по оптимизации финансово-хозяйственной деятельности. Эффективность финансового анализа определяется качеством исходной информации, адекватностью используемых методов и моделей, а также профессионализмом и опытом аналитиков.

Следует отметить, что в последние годы наметился переход от разрозненных показателей и методик финансового анализа к построению комплексных систем и моделей оценки на основе агрегированных данных бухгалтерской, управленческой и налоговой отчетности. Как подчеркивает Шеремет А.Д., «результаты финансового анализа должны быть подчинены интересам и потребностям менеджмента организации, оптимизации управления финансовыми ресурсами и повышению их отдачи» [Шеремет, 2014].

С учетом этого основным вектором развития учетно-аналитического обеспечения управления финансовым состоянием организаций становится его интеграция с общей системой финансового управления компанией на основе единого контура информационных потоков и обратных связей. Это предполагает:

1) четкую идентификацию информационных запросов финансового менеджмента и формирование комплекса учетно-аналитических показателей, максимально отвечающих этим запросам;

2) разработку регламентов взаимодействия между учетно-аналитическими и финансовыми службами организации по сбору, обработке и предоставлению информации;

3) создание интегрированной информационной системы, объединяющей данные бухгалтерского, управленческого, налогового учета и отчетности в единую базу для проведения комплексного финансового анализа;

4) внедрение современных BI-систем (Business Intelligence) для визуализации результатов анализа, моделирования и прогнозирования финансового состояния на основе продвинутых методов обработки данных (OLAP, Data Mining и др.);

5) повышение оперативности учетно-аналитического обеспечения на основе использования цифровых технологий сбора и обработки данных (онлайн-касс, систем электронного документооборота, инструментов автоматизации учета на базе облачных сервисов и т. д.);

6) постоянный мониторинг релевантности учетно-аналитической информации меняющимся потребностям финансового управления, совершенствование состава и методик расчета ключевых финансовых показателей.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что основными проблемами, снижающими эффективность учетно-аналитического обеспечения управления финансами, являются:

– разрозненность информации, циркулирующей в системах бухгалтерского, управленческого и налогового учета;

– избыточный объем данных, сложность выделения релевантной информации;

– несвоевременность предоставления информации, запаздывание управленческих отчетов;

– отсутствие удобных инструментов визуализации финансовой информации;

– недостаточная аналитичность предоставляемых данных, сложность их интерпретации для принятия решений.

Таким образом, для повышения процесса эффективности управления финансами необходимо проводить трансформацию традиционных подходов к формированию учетно-аналитического обеспечения управления финансовым состоянием на основе:

– интеграции и унификации учетных данных в рамках единой информационной системы;

– внедрения современных методов обработки и визуализации больших массивов финансовой информации;

– усиления аналитичности и релевантности учетных данных для обоснования финансовых решений;

– сокращения времени и повышения оперативности предоставления управленческой отчетности.

Это будет способствовать выходу учетно-аналитического обеспечения управления финансовым состоянием организаций на качественно новый уровень, отвечающий актуальным вызовам современной экономики. В этих условиях учетно-аналитическая система должна превратиться из констатирующей и собирающей информацию в активную и действенную, способную моделировать варианты управленческих решений и оценивать их финансовые последствия. Только такая трансформация учетно-аналитической функции будет адекватна возросшим требованиям к качеству и оперативности финансового управления.

Заключение

Подводя итоги проведенного анализа, можно констатировать, что учетно-аналитическое обеспечение управления финансовым состоянием современных организаций находится в процессе активной трансформации. Традиционные подходы, ориентированные преимущественно на анализ прошлой бухгалтерской отчетности, уже не отвечают возросшим требованиям финансового менеджмента к качеству, оперативности и прогностической ценности информации.

Ключевыми направлениями развития учетно-аналитического обеспечения становятся интеграция данных финансового, управленческого и налогового учета, внедрение продвинутых методов обработки и визуализации информации, усиление ее аналитичности и релевантности для обоснования управленческих решений. Учетно-аналитическая система должна приобрести способность не просто констатировать факты хозяйственной жизни, но моделировать и прогнозировать финансовое состояние компании, оценивать альтернативные варианты действий.

Реализация данных направлений требует серьезной перестройки учетных и аналитических процессов в организациях, изменения ментальности и компетенций учетно-аналитического персонала. Учетные работники должны превратиться из регистраторов фактов в активных бизнес-партнеров, глубоко вникающих в потребности внутренних клиентов и способных предоставить им максимально полезную информацию для управления финансами.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку конкретных методик и инструментов формирования проактивного учетно-аналитического обеспечения, поиск оптимального баланса между стандартизацией и кастомизацией управленческой отчетности, создание эффективных систем коммуникации между поставщиками и потребителями учетно-аналитической информации в организациях. Это позволит вывести качество финансового управления на уровень, соответствующий лучшим мировым практикам и создаст предпосылки для долгосрочной финансовой устойчивости российских компаний в условиях неопределенности и глобальных вызовов.

Список источников

О бухгалтерском учете. Федеральный закон от 06.12.2011 № 402-ФЗ (ред. от 12.12.2023) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/.

О формах бухгалтерской отчетности организаций. Приказ Минфина РФ от 02.07.2010 № 66н (ред. от 19.04.2019) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/.

«О консолидированной финансовой отчетности» от 27.07.2010 № 208-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.consultant.ru/.

Список литературы

Беспалов М.В., Абдукаримов И.Т. 2017. Финансово-экономический анализ хозяйственной деятельности коммерческих организаций. ИНФРА-М., 402 с.

Бондарева Т.К., Русина Е.Ю. 2019. Основные направления совершенствования анализа и контроля финансового состояния организации. Актуальные проблемы науки и техники: 858–859.

Вахрушина М.А. 2018. Управленческий анализ. М.: Омега-Л., 399 с.

Панова Ю.И., Тишутина О.И. 2019. Методологические основы анализа финансового состояния организации. Современные проблемы и перспективы развития финансовой и кредитной сфер экономики России XXI века: сборник научных статей, 15: 138–144.

Токарь Е.В., Кононенко Р.В., Соловьева Л.В., Тедеева Р.А. 2022. Актуализация оценки результатов деятельности предприятия на основе использования экономико-математических методов. *Региональная экономика. Юг России*, 2: 152–165. DOI: https://doi.org/10.15688/re.volsu.2022.2.15

Чекулина Т.А., Лазаренко А.Л., Паршутина И.Г. 2018. Методологические основы анализа и управления основным капиталом в предпринимательских структурах. *Вестник ОрелГИЭТ*, 3 (45): 188–192.

Шеремет А.Д., Сайфулин Р.С., Негашев Е.В. 2014. Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций. М.: ИНФРА-М, 207 с.

References

Bespalov M.V., Abdukarimov I.T. 2017. Financial and economic analysis of the business activities of commercial organizations. INFRA-M, 402 p.

Bondareva T.K., Rusina E.Yu. 2019. The main directions of improving the analysis and control of the financial condition of the organization. Actual problems of science and technology: 858–859.

Vakhrushina M.A. 2018. Managerial analysis. Moscow: Omega-L, 399 p.

Panova Yu.I., Tishutina O.I. 2019. Methodological foundations of the analysis of the financial condition of the organization. Modern problems and prospects of development of the financial and credit spheres of the Russian economy of the XXI century: collection of scientific articles, 15: 138–144.

Tokar E.V., Kononenko R.V., Solovyova L.V., Tedeeva R.A. 2022. Updating the assessment of the company's performance based on the use of economic and mathematical methods. *Regional economy. South of Russia*, 2: 152–165. DOI: https://doi.org/10.15688/re .volsu.2022.2.15

Chekulina, T.A., Lazarenko A.L., Parshutina I.G. 2018. Methodological foundations of the analysis and management of fixed assets in business structures. *OrelGIET Bulletin*, 3 (45): 188–1192.

Sheremet A.D., Saifulin R.S., Negashev E.V. 2014. Methodology of financial analysis of the activities of commercial organizations. Moscow: INFRA-M, 207 p.

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 28.02.2025
Поступила после рецензирования 22.04.2025
Принята к публикации 21.05.2025

Received February 28, 2025
Revised April 22, 2025
Accepted May 21, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Токарь Елена Викторовна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономики, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Региг Иссам, аспирант кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Tokar, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Economics, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law**,** Belgorod, Russia

Regig Issam, Postgraduate Student, Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.93'11
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-383-390
EDN LOGJQM

Метод опорных контуров в задании признаков классификации изображений объектов

[1] Титов А.И., [2] Корсунов Н.И., [2,3] Щербинина Н.В.
[1] Акционерное общество «Единая Транспортная Компания»
Россия, 308519, Белгородская область, Белгородский район, поселок городского типа Северный, тер. АТП, зд. 2
[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
[3] ООО «Научно-производственное объединение “Технологии надежности”»
Россия, 308033, г. Белгород, ул. Королева, 2а к2
titov@programist.ru, korsunov@intbel.ru, shcherbinina@bsuedu.ru

Аннотация. В статье представлен метод опорных контуров для классификации изображений объектов с априори не заданной формой. Метод основан на двухуровневой аппроксимации контуров с использованием опорных точек, которые формируют уникальные для каждого класса многогранники. Первый уровень аппроксимирует контур опорным многогранником, выделяя ключевые точки, а второй уровень разбивает контур на сегменты, которые аппроксимируются сегментными многогранниками. Это позволяет автоматически классифицировать объекты, сравнивая их контуры внутри соответствующих классов. Выделены ключевые преимущества метода: инвариантность к аффинным преобразованиям, сокращение количества вершин многогранников и повышение быстродействия классификации за счёт естественного распараллеливания вычислений. Метод также устраняет недостатки существующих подходов, таких как зависимость от начальной точки и сложность алгоритмической реализации. Применение метода демонстрируется в задачах распознавания образов, где форма объекта играет ключевую роль, например, в робототехнике, технической и медицинской диагностике. Результаты исследования показывают, что предложенный подход эффективен для классификации объектов с произвольной формой и может быть использован в интеллектуальных системах обработки изображений.

Ключевые слова: опорные контуры, классификация изображений, аппроксимация контуров, многогранники, инвариантность, распознавание образов

Для цитирования: Титов А.И., Корсунов Н.И., Щербинина Н.В. 2025. Метод опорных контуров в задании признаков классификации изображений объектов. *Экономика. Информатика*, 52(2): 383–390. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-383-390 EDN LOGJQM

© Титов А.И., Корсунов Н.И., Щербинина Н.В., 2025

Support Contours for Image Feature Extraction in Object Classification

[1] Aleksey I. Titov, [2] Nikolay I. Korsunov, [2,3] Natalya V. Shcherbinina
[1] Joint Stock Company "United Transport Company"
bld. 2 ter. ATP, urban-type settlement Severny 308519, Belgorod district, Belgorod region, Russia
[2] Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
[3] Scientific and Production Association “Reliability Technologies”
2a Korolev St., building 2, Belgorod 308033, Russia
titov@programist.ru, korsunov@intbel.ru, shcherbinina@bsuedu.ru

Abstract. A method of support contours for classifying images of objects with an a priori undefined shape is presented. The method is based on a two-level approximation of contours using support points, which form unique polyhedrons for each class. The first level approximates the contour with a support polyhedron, identifying key points, while the second level divides the contour into segments, which are approximated by segmental polyhedrons. This enables automatic object classification by comparing their contours within the corresponding classes. Key advantages of the method are highlighted: invariance to affine transformations, reduction in the number of polyhedron vertices, and improved classification speed due to natural parallelization of computations. The method also addresses the shortcomings of existing approaches, such as dependency on the starting point and algorithmic complexity. The application of the method is demonstrated in pattern recognition tasks where object shape plays a critical role, such as in robotics, technical diagnostics, and medical diagnostics. The research results show that the proposed approach is effective for classifying objects with arbitrary shapes and can be used in intelligent image processing systems.

Keywords: support contours, image classification, contour approximation, polyhedrons, invariance, pattern recognition

For citation: Titov A.I., Korsunov N.I., Shcherbinina N.V. 2025. Support Contours for Image Feature Extraction in Object Classification. *Economics. Information technologies*, 52(2): 383–390 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-383-390 EDN LOGJQM

Введение

В статье рассматривается построение моделей контуров для классификации объектов априори не заданной формы. Контур изображения объекта представляется двумя уровнями многогранников, первый из которых аппроксимирует контур с использованием особых точек, названных опорными. Такие точки являются уникальными для разных параметров контуров и используются для формирования классов контуров. Грани этого многогранника разделяют контур на сегменты, кривая контура в каждом из них аппроксимируется сегментным многогранником, вершины которого задаются точками экстремумов между соседними вершинами опорного многогранника. Это позволяет автоматически объединить контуры объектов в классы и решить задачу классификации сравнением сегментных контуров в соответствующем классе.

Задача распознавания образов является важным этапом в создании искусственного интеллекта в различных сферах в научных и прикладных применениях интеллектуальных систем. Существует множество методов и алгоритмов распознавания образов, которые характеризуются определёнными достоинствами и недостатками [Гонсалес, Вудс, 2005]. Повышение эффективности алгоритмов распознавания образов является важной задачей актуальной и востребованной задачей.

Среди методов распознавания образов можно выделить метод распознавания объектов по контурам изображений [Кушнир, 2012]. Под контуром изображения понимается замкнутая кривая, выделяющая форму в виде границы объекта на некотором фоне. Форма объекта несёт

значительную информацию об особенностях объекта и широко используется в робототехнике, технической и медицинской диагностике. В растровом изображении контур представляется совокупностью плоскостей, составляющих границу объекта, и соответствует внешнему очертанию изображения объекта.

Распознавание объектов по контурам изображений основано на использовании математической модели представления контуров и отнесения объекта в зависимости от сравнения эталонной и распознаваемой модели к определённому классу [Золотин, 2016]. Математические модели представляются в виде векторов, компонентами которых служат ключевые точки [Сафонов, 2017], и плоским графом, вершинами которого являются вершины многогранников, а дуги представляются гранями этих многоугольников [Местецкий, 2009].

В методе ключевых точек описание объекта задаётся векторами, компоненты которого представляются особыми точками с их окрестностью, что позволяет отличить точки друг от друга [Сафонов, 2017]. Описание контура набором ключевых точек позволяет для каждой точки генерировать вектор признаков, представляющих число, соответствующее градиентам всех направлений. Это позволяет сравнивать точки между собой, используя метрику расстояния между векторами по количеству балов, определяемых совпадением ключевых точек. Распознавание основано на том, что точка с ее окрестностью на изображении одного объекта с большой вероятностью будет найдена на другом изображении этого объекта. Классификация объектов сводится к определению соответствия двух объектов априори заданной формы и находит применение в определении сходства объектов с одним эталоном. Достоинством такого метода сравнения объектов является инвариантность топологии ключевых точек по отношению к аффинным преобразованиям.

Существенными недостатками метода ключевых точек распознавания является: отсутствие возможности отнесения сравниваемого объекта к одному из априори заданных классов без использования последовательного сравнения распознаваемого объекта с множеством эталонных; значительная длина вектора признаков и противоречия между разрешающей способностью распознавания и быстродействием этого распознавания.

Метод скелетизации контура растрового изображения использует непрерывный и дискретный подходы [Местецкий, 2009]. При непрерывном подходе контур аппроксимируется многогранником максимального периметра. К достоинствам непрерывного подхода следует отнести математическую корректность, адекватность человеческого представления формы и ее изображения, высокую вычислительную эффективность. Существенными недоработками непрерывного подхода являются: чувствительность к локальным свойствам границ области изображения, вследствие связи точки скелета с точкой локального максимума кривизны границы; существенного усложнения алгоритмов с точки зрения их математического содержания и программной реализации по сравнению с алгоритмами дискретной скелетизации. Дискретная скелетизация основана на описании контура набором особых точек, к которым относят концевые и точки ветвления, соседи которых образуют не менее двух связанных областей. Математическая модель контура задается набором особых точек, связываемых ценным кодом, состоящим из точки привязки, числа кодов и массива направлений из очередной точки к следующей. Для каждой точки выделяются признаки, подразделяемые на топологические и редакционные.

При дискретной скелетизации математической моделью является плоский граф, вершины которого при использовании топологических признаков связаны с численными значениями координат особых точек, а ребра содержат информацию о длине между связанными вершинами, направлениях входов в точку и выходов из точки, кривизне дуги, соединяющей особую точку со следующей. Использование графа с топологическими признаками для классификации объектов по контурам изображений требует морфологического анализа, что является существенным недостатком такого представления контуров.

При редакционных признаках, связанных с представлением контура графом с вершинами в виде множества особых точек, вводится дополнительно отношение смежности между вершинами. Метрика при классификации задается редакционным расстоянием между графами и определяется минимальным количеством операций вставки одной вершины, замены одной вершины другой, удалением одного ребра, заменой одного ребра другим, необходимых для превращения одного графа в другой.

Сложность редакционных признаков приводит к предпочтению топологических признаков при разработке более эффективных методов скелетизации.

К недостаткам непрерывного и дискретного подходов к скелетизации контуров изображения следует также отнести зависимость скелетов от задания начальной точки на контуре и отсутствие инвариантности к аффинным преобразованиям.

Основная часть

Целью исследований, приводимых в статье, является разработка метода непрерывной скелетизации контуров изображений, обеспечивающих инвариантность к выбору начального узла аппроксимирующего многоугольника и к аффинным преобразованиям с простотой алгоритмической реализации.

Метод базируется на иерархической классификации, используемой в нейронных сетях самоорганизации, когда вначале классифицируются векторы, а затем в соответствующих классах векторов классифицируются изображения [Хайкин, 2006].

В качестве признаков контуров предлагается использовать многоугольники, вершины которых задаются особыми точками, нормированные характеристики которых определяются численными характеристиками координат, а соответствующие грани этих многогранников служат одной гранью многоугольников, используемых для классификации объектов по контурам изображений. Такие особые точки названы опорными, многогранники, связывающие эти точки – опорными контурами.

Многогранники для некоторого подкласса контуров являются признаками класса, так как они характерны только для этих контуров и выделяют их среди других. Единственность такого многогранника в контуре обусловлена определением опорных точек в контурах произвольной априори незаданной формы. Для определения опорных точек представили движение точки в нелинейной динамической системе уравнений [Соболев, 2022]

$$\frac{dx}{dt} = \psi_1(x, y), \tag{1}$$

$$\frac{dy}{dt} = \psi_2(x, y). \tag{2}$$

С законом управления, задаваемом контуром изображения

$$z = \psi(x, y). \tag{3}$$

Здесь x, y – координаты точки в прямоугольной декартовой системе координат, t – время.

Опорной точкой назовём точку, в которой (1) или (2) равны нулю. Контур (3) является непрерывной замкнутой кривой, а (1), (2) не равны нулю при одновременном равенстве нулю x и y. Так как x и y изменяются во времени, определим кривизну (3) как

$$\frac{d^2\psi(x,y)}{dt^2} = \frac{d\psi(x,y)}{dy} * \frac{dy}{dx} * \frac{dx}{dt} * \frac{d\psi(x,y)}{dx} * \frac{dx}{dy} * \frac{dy}{dt}. \tag{4}$$

Исключив точки экстремумов, в которых $\frac{dy}{dx} = 0$ или $\frac{dx}{dy} = 0$, характеризующих $\psi_1(x, y)$ и $\psi_2(x, y)$, из (4) следует, что вторая производная, определяющая точку перегиба, равна нулю, если одна из производных $\frac{dx}{dt}$ или $\frac{dy}{dt}$ = 0. А так как (3) замкнутая, то соответствующие производные равны нулю при t → ∞ и при t → -∞, что соответствует росту и уменьшению координаты. Если контур находится в первом квадранте декартовой системы координат, то точки перегиба (3) существуют при изменении координаты, как от начала координат, так и к

началу координат. Можно считать, что в опорных точках происходит смена правой системы координат на левую и обратно. При этом в каждой из систем координат кривая является выпуклой и соответствует значению максимума. А так как известно начало только правой системы координат, то максимум в левой системе координат соответствует минимуму в правой. Количество опорных точек и их координаты определяются только формой контура (3) и при одинаковых формах контуров совпадают, вследствие чего опорный контур является признаком класса контуров.

Для определения опорных точек будем использовать маркер (маску) по аналогии с их использованием в методе ключевых точек [Сафонов, 2017; Титов и др., 2025; Титов и др, 2022]. В качестве маски будем использовать квадрат, разбитый лучами на несколько частей. Размещая среднюю точку квадрата в некоторой точке на контуре (3), будем определять следующую точку на контуре по совмещению с ней диагонали квадрата и переносить в эту точку центр квадрата. Направление перемещения квадрата (правой или левой) полуплоскости по направлению соответствующей оси координат из начальной точки зададим априори. Этим задаётся эквивалентность. В новой опорной точке ось квадрата, соответствующая одному из уравнений (1) или (2), направление такое же, как и в предшествующей точке. Направление диагонали из новой точки в следующую по отношению к предшествующей точке используется для фиксации точки в качестве опорной. Точка является опорной, если направление диагонали указывает на полуплоскость обратную предшествующей, что соответствует смене систем координат (правой на левую или обратно). При фиксации опорной точки осуществляет переход к другому из уравнений (1), (2) для определения опорной точки. Центр маркера (маски) помещается в опорную точку и по лучу, относительно новой оси координат выполняется поиск новой точки на контуре (3). Дальнейшее перемещение маркера вдоль контура приводит, как и ранее при использовании новой оси координат, к определению изменения системы координат с правой на левую и наоборот, но уже относительно полуплоскости, задаваемой уравнениями (1) или (2). А так как смена системы координат проведена при использовании соответствующего из уравнений (1) или (2) в первой опорной точке, то в следующей опорной точке с использованием другого из этих уравнений наша система координат не выполняется и используется ранее определённая система координат. Процесс определения опорных точек с последовательной сменой координатных осей продолжается до тех пор, пока координаты новой опорной точки не совпадут с координатами первой опорной точки. Полученные опорные точки задают многогранник, грани которого определяются расстояниями между опорными точками, а углы направления граней задаются по отношению соседних граней многоугольников. Этим обеспечивается инвариантность к аффинным преобразованиям. Цикличность следования опорных точек, вследствие замкнутости (3), обеспечивает инвариантность выбора начальной вершины многогранника.

Грани опорного контура делят контур объекта на сегменты, границы каждого из которых определяются соответствующими гранями многогранника. Упорядоченное множество сегментов образует упорядоченное множество контуров, которое позволяет распознать объект. Каждый из этого множества сегментных контуров представляется кривой

$$y^j = F_j(x^j), x^j \in (x_i, x_{i+1}), y^j \in (y_i, y_{i+1}), \quad (5)$$

где интервал (x_i, x_{i+1}) соответствует грани опорного многогранника, (y_i, y_{i+1}) – отрезок кривой (3).

При непрерывном подходе с использованием топологических численных признаков выполняется аппроксимация кривой (5), характер которой соответствует решённой задаче распознавания. Для решения задачи классификации объектов по контурам изображений достаточно аппроксимировать (5) кусочно-линейными кривыми Безье, для задания каждой из которых необходимы координаты экстремумов (5) в границах сегментов [Нигматулин, 2019]. Определение координат экстремумов в границах сегментов можно выполнить перемещением маркера в пределах соответствующего сегмента вдоль кривой (3), фиксируя координаты точек,

изменённые на 90° направления луча, соответствующего направлению диагонали квадрата в очередной точке по отношению к его направлению в его предшествующей точке.

Определив все точки экстремумов, в каждом из сегментов строится многогранник, одна грань которого является соответствующей гранью опорного многоугольника, а остальные грани определяются координатами соседних максимумов и минимумов между конечными узлами (вершинами) соответствующей грани опорного многоугольника. Выбрав способ задания многогранников сегментов таким же, как и задания опорного многогранника, приходим к общему представлению признаков контура изображения объекта топологической структуры из многогранников, описываемых упорядоченными последовательностями из пар координат опорных точек или угол-расстояние с представлением плоским графом, вершины которого соответствуют опорным точкам и при этом каждая пара опорных точек дополнительно соединяется линейным графом с числом вершин, определённых узлами максимумов и минимумов на соответствующем сегменте контура изображения.

Двухуровневое иерархическое формирование опорных и сегментных многоугольников обеспечивает на первом уровне разбиение контура на сегменты, а на втором уровне – разбиение на классы объектов в соответствии с классами контура и сегментов. На каждом уровне отнесение контура или объекта к определённому классу происходит с использованием евклидовой метрики.

Предлагаемый метод опорных контуров, включает следующую последовательность действий.

Этап 1. Формирование опорного многогранника.

1. Из исходной точки переместить маркер в заданном направлении горизонтальной плоскости в следующую точку на контуре изображения.
2. Определить по градации маркера направление очередного перемещения маркера.
3. В зависимости от направления перемещения маркера:
   a. Если направление перемещения маркера не меняется, то переносим маркер в очередную точку на контуре, и вернуться к п. 1.
   b. Если направление перемещения маркера меняется на противоположное, то точку контура считать опорной, считать её координаты, изменить плоскость перемещения маркера и выполнить следующий шаг.
4. Если координаты новой опорной точки не совпадают с координатами первой опорной точки, то вернуться к п. 1, иначе выполнить следующий шаг.

Этап 2. Формирование сегментных многоугольников

5. Задать на контуре первый сегмент, границы которого определяются координатами первой и второй опорных точек.
6. Поместить маркер в начальную точку сегмента и перемещением его вдоль контура к конечной точке сегмента определить и считать координаты точки экстремумов.
7. Задать опорный контур (многогранник), вершины которого соответствуют последовательности точек экстремумов, начиная от начальной точки границы сегмента до последней точки границы сегмента.
8. Если очередной сегмент превышает количество сегментов в контуре, то завершить формирование опорных контуров в сегментах, иначе вернуться к п. 7.

Заключение

Таким образом, предложенный метод представления контура изображения двухуровневыми аппроксимирующими многогранниками позволяет, по сравнению с существующими, определять топологию многогранников инвариантно к аффинным преобразованиям, значительно сократить количество вершин многогранника, задающего топологию контура на плоскости, уменьшить количество вершин у сегментных многогранников, классифицирующих объект в классе, определяемом многогранником первого

уровня, и существенно повысить быстродействие классификации с использованием евклидовой метрики за счёт естественного распараллеливания вычислений.

Список литературы

Гонсалес Р., Вудс Р. 2005. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. 1072 с.

Золотин К.А. 2016. Контурный анализ и его применение для распознавания объектов. *Наука XXI века*, 2: 6–9.

Кушнир О.А. 2012. Сравнение формы бинарных растровых изображений на основе скелетизации. Машинное обучение и анализ данных, М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской Академии Наук, 1(3): 128–140.

Местецкий Л.М. 2009. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: Физматлит, 288.

Нигматулин Р.Р. 2020. Компьютерная графика. КФУ ИВМ и ИГ, Казань, URL:https://repository.kpfu.ru/?p_id=232202

Сафонов А.С. 2017. Построение SIFT-дескрипторов и нахождение особых точек на изображениях. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки, вып. 2: 182–188.*

Соболев В.А., Тропкина Е.А. 2022. Нелинейные динамические системы. Самара: изд-во Самарского гос. университета, 76 с.

Титов А.И., Корсунов Н.И., Щербинина Н.В. 2025. Разбиение контура изображения графического объекта на фрагменты в задачах классификации. *Научный результат. Информационные технологии*, 10(1): 16–23. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-2.

Титов А.И., Корсунов Н.И. 2022. Метод распознавания объектов в системах технического зрения роботов. *Экономика. Информатика,* 49(4): 782–787. DOI: 10.52575/2687-0932-2022-49-4-782-787.

Хайкин С. 2006. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. испр. Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 1104 с.

References

Gonzalez R., Woods R. 2005. Digital Image Processing. Moscow: Tekhnosfera, 2005. 1072 p. (in Russian)

Zolotin K.A. 2016. Contour Analysis and Its Application in Object Recognition. *Nauka XXI Veka*, 2: 6–9. (in Russian)

Kushnir O.A. 2012. Shape Comparison of Binary Raster Images Based on Skeletonization. Machine Learning and Data Analysis, Moscow: Computing Center of the Russian Academy of Sciences, 1(3): 128–140. (in Russian)

Mestetskiy L.M. 2009. Continuous Morphology of Binary Images: Figures, Skeletons, Circulars. Moscow: Fizmatlit. 288. (in Russian)

Nigmatulin R.R. 2020. Computer Graphics. Kazan Federal University, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies, Kazan (in Russian). URL:https://repository.kpfu.ru/?p_id=232202

Safonov A.S. 2017. Construction of SIFT Descriptors and Detection of Keypoints in Images. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, iss. 2: 182–188 (in Russian).

Sobolev V.A., Tropkina E.A. 2022. Nonlinear Dynamical Systems. Samara: Samara State University Press, 76 p. (in Russian)

Titov A.I., Korsunov N.I., Shcherbinina N.V. 2025. Contour Segmentation of Graphic Object Images in Classification Problems. *Research Result. Information Technologies*, 10(1): 16–23. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-2. (in Russian)

Titov A.I., Korsunov N.I. 2022. Object Recognition Method in Robotic Vision Systems. *Economics. Information technologies*, 49(4): 782–787. DOI: 10.52575/2687-0932-2022-49-4-782-787. (in Russian)

Haykin S. 2006. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd ed. Transl. from English. Moscow: Williams Publishing House, 1104 p. (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 23.04.2025
Поступила после рецензирования 29.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received April 23, 2025
Revised May 29, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Титов Алексей Иванович, кандидат технических наук, начальник отдела информационных технологий и защиты информации, Акционерное общество «Единая транспортная компания», г. Белгород, Россия

Корсунов Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Щербинина Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет; системный аналитик ООО «Научно-производственное объединение “Технологии надежности”», г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey I. Titov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Information Technology and Information Security, Joint Stock Company "United Transport Company", Belgorod, Russia

Nikolay I. Korsunov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Natalya V. Shcherbinina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, systems analyst, Scientific and Production Association “Reliability Technologies”, Belgorod, Russia

УДК 330.46:378.14
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-391-399
EDN EUNXMF

Моделирование случайной составляющей агитационного процесса

[1] Ганичева А.В., [2] Ганичев А.В.
[1] Тверская государственная сельскохозяйственная академия
Россия, 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского, д. 7
[2] Тверской государственный технический университет,
Россия, 170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22
TGAN55@yandex.ru, alexej.ganichev@yandex.ru

Аннотация. Проблема агитации индивидуумов на совершение коллективных действий является одной из самых важных в социальных процессах. Актуальность данной проблемы возрастает с развитием общественных отношений. Целью данной статьи является разработка математической модели агитационного процесса. Новизна работы заключается в учете случайной составляющей рассматриваемого процесса. Для построения математической модели используется дифференциальное уравнение агитации. Показано решение данного уравнения в установившемся и неустановившемся режимах с учетом неслучайной и случайной составляющей агитационного процесса. Разработанный в статье метод позволяет исследовать не только процесс агитации абитуриентов для поступления в учебное заведение, но и другие задачи в социальной сфере.

Ключевые слова: модель, система, марковский случайный процесс, агитация, вероятность, абитуриент, пуассоновский поток, матрица, решение уравнения

Для цитирования: Ганичева А.В., Ганичев А.В. 2025. Моделирование случайной составляющей агитационного процесса. *Экономика. Информатика*, 52(2): 391–399. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-391-399 EDN EUNXMF

Modeling the Random Component of the Campaigning Process

[1] Antonina V. Ganicheva, [2] Alexey V. Ganichev
[1] Tver State Agricultural Academy, 7 Marshal Vasilevsky St., Tver 170904, Russia
[2] Tver State Technical University, 22 Afanasiy Nikitin Emb., Tver 170026, Russia
TGAN55@yandex.ru, alexej.ganichev@yandex.ru

Abstract. Campaigning is one of the most important issues in social processes. The relevance of this problem rises with the increase in the complexity of the tasks facing modern society. The purpose of this article is to develop a mathematical model of campaigning. The novelty of the work lies in taking into account the random component in the differential equation of the process under consideration. An additive model based on the differential equation of mobilization has been developed, taking into consideration the random component. The solution of this equation in steady and unsteady modes is shown, taking into account the nonrandom and random components of propaganda. To explain the proposed method, a specific numerical example of two universities campaigning for future applicants is considered. The method developed in the article has sufficient simplicity of implementation and does not require the use of numerical methods for solving stochastic differential equations. It allows us to explore various tasks in the social sphere (expanding content in social networks, collecting taxes, creating a reserve fund, appealing for students to study, electioneering, involving the population in eliminating the consequences of emergency situations, etc.).

Keywords: model, system, Markov random process, campaigning, probability, applicant, Poisson flow, matrix, solution of the equation

© Ганичева А.В., Ганичев А.В., 2025

For citation: Ganicheva A.V., Ganichev A.V. 2025. Modeling the Random Component of the Campaigning Process. *Economics. Information technologies*, 52(2): 391–399 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-391-399 EDN EUNXMF

Введение

Под агитацией будем понимать процесс привлечения определенных групп населения на совершение каких-либо действий. Примерами агитационных процессов являются: наружная реклама, предвыборная встреча кандидата с избирателями, работа приемной комиссии с абитуриентами для поступления в ВУЗ, привлечение жителей к благоустройству территорий и т. д.

К процессу агитации близок процесс мобилизации на совершение коллективных мероприятий. Процессы агитации и мобилизации отличаются характером проводимых мероприятий. В качестве примеров мобилизационных процессов можно назвать следующие: привлечение сил и средств на борьбу с пандемией [Adnan et al., 2023], работа с электоратом при проведении выборных кампаний [Полянский и др., 2021], активизация сторонников при организации протестных движений [Филиппов и др., 2020], вербовка новых пользователей Интернета [Lukashina, 2012], мобилизация добровольных пожарных [Srekl, 2014]. Исключительную важность в современных условиях имеют мобилизационные модели экономики [Alaberdeev, 2023] и исследование пределов социальной мобилизации [Rutherford et al., 2013], математическое моделирование изменения численности населения [Stubbs, 2012]. Новым направлением перспективных исследований является мобилизация знаний [Ziam et al.,2024].

В статье [Шинкевич, 2020] подчеркивается важность и актуальность социальной мобилизации в условиях современного общества.

Процесс агитации сложен для анализа и предсказания, поэтому для его описания и прогнозирования применяется метод математического моделирования, который, как отмечается в статье [Гельруд, Шестакова, 2022], тесно связан для систем организационного управления с принципом системного подхода.

В настоящее время наиболее часто применяются дифференциальные модели агитации населения региона (учащихся на учебу, участников голосования и т. п.) [Ганичева, 2019]. Новым направлением исследований в этой области является учет в моделях мобилизации (агитации) случайных факторов, воздействующих на данные процессы. В статье [Моисеев, 2009] рассмотрены вопросы моделирования динамики числа потребителей в условиях конкуренции, основанные на случайных процессах. При наличии случайной составляющей в моделях мобилизации (агитации) применяются стохастические дифференциальные уравнения [Магомедова, Магомедов, 2024]. Аналитически стохастические дифференциальные уравнения можно исследовать с помощью стохастических интегралов Ито и Стратоновича [Лукшин, Смирнов, 1990].

Целью данной статьи является разработка математической модели агитационного процесса с учетом случайной составляющей.

Материалы и методы исследования

Дифференциальные модели агитации имеют вид [Ганичева, 2015]:

$$x'(t)+(\alpha+\beta)x(t)-\alpha=0, \tag{1}$$

где $x(t)$ – доля мобилизованного населения в момент времени t. Известны различные методики определения коэффициентов данного уравнения α и β [Ганичева, 2018].

В общем виде:

$$dx=F(x,t)dt. \tag{2}$$

В результате решения уравнения (1) при $x(t_0)=x_0$ получаем:

$$x(t) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} + \left(x_0 - \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \right) e^{-(\alpha+\beta)(t-t_0}\ . \qquad (3)$$

Однако на мобилизационный процесс влияют случайные факторы [Магомедова, Магомедов, 2024], которые описываются для случайного процесса $X(t)$ стохастическим дифференциальным уравнением [Лукшин, Смирнов, 1990]

$$dX = X(t+dt) - X(t). \qquad (4)$$

Если dX добавить в уравнение (2), то получим:

$$dx = F(x,t)dt + dX. \qquad (5)$$

Будем считать, что X – марковский случайный процесс [Кремер, 2025].

При этом $x(t)$ будет обозначать долю сагитированных стороной II без участия случайной составляющей.

Рассмотрим описание этого процесса на основе системы уравнений Колмогорова сначала в установившемся режиме времени [Кремер, 2025].

Не нарушая общности, рассмотрим агитацию абитуриентов двумя конкурирующими учебными организациями – назовем их условно сторона I и сторона II. Пусть рассматривается группа абитуриентов, состоящая из N человек. Каждый из представителей этой группы подвергается агитационному потоку всякого рода рекламы.

Рассмотрим вариант, когда эти потоки являются пуассоновскими, а, следовательно, сам процесс – с обеих сторон – марковский.

Пусть E_k обозначает состояние системы, моделирующей объединение сторон I и II, показывающее, что в момент времени t сторона II сагитировала K абитуриентов, а сторона I – $N - K = N(1 - y(t))$ абитуриентов, где $y(t)$ – доля сагитированных стороной II при действии случайной составляющей агитационного процесса.

Размеченный граф состояний системы показан на рис. 1.

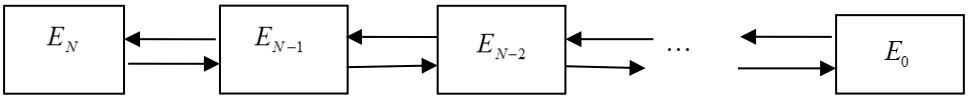


Рис. 1. Размеченный граф состояний системы
Fig. 1. Labeled graph of system states

Данный процесс относится к так называемым процессам «гибели и размножения» [Вентцель, 2022].

Переход из состояния E_k в E_{k-1} осуществляется под воздействием пуассоновского потока с эффективностью $\alpha_k^{(2)} = \lambda^{(2)} \cdot P_k^{(2)}$, переход из E_{k-1} в E_k – с эффективностью $\alpha_k^{(1)} = \lambda^{(1)} \cdot P_k^{(1)}$. Здесь $\lambda^{(1)}$ и $\lambda^{(2)}$ – плотности потоков стороны I и стороны II соответственно.

Рассматриваем упрощенный вариант, считая $\lambda^{(1)}$ одинаковой для всех состояний, аналогично и $\lambda^{(2)}$. Вероятности $P_k^{(1)}$ и $P_k^{(2)}$ будут меняться, т. к. выбрать сторонников из большого количества в период только что появившейся агитации легче, чем из оставшейся колеблющейся и отрицательно настроенной массы.

Для нахождения вероятностей можно также использовать специальную таблицу. Если респонденты сильно колеблющиеся, вероятности из таблицы можно реализовать путем умножения на соответствующие оценки респондентов сотрудниками сторон I (II) после беседы с ними [Ганичева, 2019]. Подобная таблица приведена ниже.

Вероятности состояний системы в зависимости от силы влияния агитации
Probabilities of system states depending on the strength of the propaganda influence

Сила влияния	Почти отсутствует	Очень слабое влияние	Слабое влияние	Почти среднее	Среднее
Вероятность $P_k^{(1)}(P_k^{(2)})$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Сила влияния	Почти большое	Большое	Почти сильное	Сильное	Очень сильное
Вероятность $P_k^{(1)}(P_k^{(2)})$	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9

Пусть P_k обозначает вероятность нахождения системы в состоянии E_k $(k=\overline{0,N})$. В установившемся режиме имеем систему уравнений Колмогорова:

$$\alpha_N^{(1)}\cdot P_N-\alpha_{N-1}^{(2)}\cdot P_{N-1}=0; \tag{6}$$
$$\alpha_{k+1}^{(1)}\cdot P_{k+1}-\alpha_k^{(2)}\cdot P_k-\alpha_k^{(1)}\cdot P_k+\alpha_{k-1}^{(2)}\cdot P_{k-1}=0,$$

или с учетом (6):

$$\alpha_{k-1}^{(2)}\cdot P_{k-1}-\alpha_k^{(1)}\cdot P_k=0,\ k=\overline{1,N-1}. \tag{7}$$

К этой системе добавляется нормировочное условие: $\sum_{k=1}^{N}P_k=1$.

Решая систему (7) с учетом нормировочного условия, получим вероятности нахождения системы в состояниях E_k $(k=\overline{0,N})$:

$$P_N=\left(1+\frac{\alpha_N^{(2)}}{\alpha_{N-1}^{(1)}}+\frac{\alpha_{N-1}^{(2)}}{\alpha_{N-2}^{(1)}}\cdot\frac{\alpha_N^{(2)}}{\alpha_{N-1}^{(1)}}+\ldots+\frac{\alpha_1^{(2)}\ldots\alpha_{N-1}^{(2)}\alpha_N^{(2)}}{\alpha_0^{(1)}\ldots\alpha_{N-2}^{(1)}\alpha_{N-1}^{(1)}}\right)^{-1}, \tag{8}$$

$$P_{N-1}=\frac{\alpha_N^{(2)}}{\alpha_{N-1}^{(1)}}\cdot P_N;\ P_{N-2}=\frac{\alpha_{N-1}^{(2)}\alpha_N^{(2)}}{\alpha_{N-2}^{(1)}\alpha_{N-1}^{(1)}}\cdot P_N;\ldots;\ P_0=\frac{\alpha_1^{(2)}\ldots\alpha_{N-1}^{(2)}\alpha_N^{(2)}}{\alpha_0^{(1)}\ldots\alpha_{N-2}^{(1)}\alpha_{N-1}^{(1)}}\cdot P_N. \tag{9}$$

Результаты исследования и обсуждение

Рассмотрим пример.

Два конкурирующих вуза агитируют будущих абитуриентов поступать к ним учиться. Всего будущих абитуриентов – 50 человек. При этом $\lambda^{(1)}$ = 10 мероприятий в неделю, $\lambda^{(2)}$ = 11 мероприятий в неделю. Возможны разные варианты агитации, но в конечном итоге они сводятся к двум вариантам. При первом варианте, чем больше сагитированных, тем успешнее идет агитация агитируемых. При втором варианте, чем больше сагитированных, тем хуже идет агитация остальных. Не нарушая общности будем считать, что у стороны I агитация происходит по первому варианту, а у стороны II – по второму.

Пусть $\alpha_k^{(1)}=10\left(1-\frac{1}{k}\right)$; $\alpha_{k+1}^{(2)}=11\left(1-\frac{1}{k}\right)$ при $(k=\overline{2,N})$; $\alpha_0^{(1)}=10\left(1-\frac{1}{k+2}\right)$; $\alpha_1^{(2)}=11\left(1-\frac{1}{k+2}\right)$; $\alpha_1^{(1)}=10\left(1-\frac{1}{k+1}\right)$; $\alpha_2^{(2)}=11\left(1-\frac{1}{k+1}\right)$. Найти вероятности выбора первого и второго вузов.

Воспользуемся формулами (8), (9): $P_{50}=\left(1+1{,}1+1{,}1^2+\ldots+1{,}1^{50}\right)^{-1}=0{,}0009$; $P_{49}=1{,}1\cdot 0{,}0009=0{,}01$; $P_{48}=1{,}1^2\cdot 0{,}0009=0{,}001;\ldots$; $P_{25}=1{,}1^{26}\cdot 0{,}0009=0{,}01;\ldots$; $P_0=1{,}1^{50}\cdot 0{,}0009=0{,}1$.

Таким образом, в установившемся стационарном режиме в среднем 10 % времени счетная комиссия будет находиться в состоянии S_0, т. е. когда все абитуриенты будут сагитированы стороной II. Это самый большой процент рассматриваемой ситуации противоборства агитирующих сторон. В состоянии E_{50} система будет находиться в среднем 0,09 %, т. е. когда все абитуриенты отдадут предпочтение стороне I.

Если время t невелико и рассматривается неустановившийся режим, то применяем систему дифференциальных уравнений Колмогорова [Кремер, 2025]:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_N}{dt} = \alpha_{N-1}^{(2)} \cdot P_{N-1} - \alpha_N^{(1)} \cdot P_N; \\ \dfrac{dP_k}{dt} = \alpha_{k+1}^{(1)} \cdot P_{k+1} - \alpha_k^{(2)} \cdot P_k + \alpha_{k-1}^{(2)} \cdot P_{k-1} - \alpha_k^{(1)} \cdot P_k, \quad k = \overline{1, N-1}; \\ \dfrac{dP_0}{dt} = \alpha_1^{(1)} \cdot P_1 - \alpha_0^{(2)} \cdot P_0; \end{cases} \tag{10}$$

$$\sum_{k=1}^{N} P_k = 1.$$

Во избежание громоздкости рассмотрим случай, когда $N = 3$, т. е. агитируется 3 студента. В этом случае имеет место система:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_3}{dt} = -\alpha_3^{(1)} \cdot P_3 + \alpha_2^{(2)} \cdot P_2; \\ \dfrac{dP_2}{dt} = \alpha_3^{(1)} \cdot P_3 - \left(\alpha_2^{(2)} + \alpha_2^{(1)}\right) \cdot P_2 + \alpha_1^{(2)} \cdot P_1; \\ \dfrac{dP_1}{dt} = \alpha_2^{(1)} \cdot P_2 - \left(\alpha_1^{(2)} + \alpha_1^{(1)}\right) \cdot P_1 + \alpha_0^{(2)} \cdot P_0; \\ \dfrac{dP_0}{dt} = \alpha_1^{(1)} \cdot P_1 - \alpha_0^{(2)} \cdot P_0. \end{cases} \tag{11}$$

Составим матрицу системы (11):

$$A = \begin{pmatrix} -\alpha_3^{(1)} & \alpha_2^{(2)} & 0 & 0 \\ \alpha_3^{(1)} & -\left(\alpha_2^{(2)} + \alpha_2^{(1)}\right) & \alpha_1^{(2)} & 0 \\ 0 & \alpha_2^{(1)} & -\left(\alpha_1^{(2)} + \alpha_1^{(1)}\right) & \alpha_0^{(2)} \\ 0 & 0 & \alpha_1^{(1)} & -\alpha_0^{(2)} \end{pmatrix}.$$

Составим характеристический определитель матрицы A:

$$A = \begin{vmatrix} -\alpha_3^{(1)} - \mu & \alpha_2^{(2)} & 0 & 0 \\ \alpha_3^{(1)} & -\left(\alpha_2^{(2)} + \alpha_2^{(1)}\right) - \mu & \alpha_1^{(2)} & 0 \\ 0 & \alpha_2^{(1)} & -\left(\alpha_1^{(2)} + \alpha_1^{(1)}\right) - \mu & \alpha_0^{(2)} \\ 0 & 0 & \alpha_1^{(1)} & -\alpha_0^{(2)} - \mu \end{vmatrix}.$$

Приравниваем его к нулю и найдем корни, т. е. характеристические числа матрицы. Затем для каждого характеристического числа ищем соответствующие собственные векторы.

Это уравнение четвертой степени, оно имеет 4 корня:

μ_1, μ_3, μ_3, μ_4 с собственными векторами соответственно:

$$\left(P_{11},\ P_{21},\ P_{31},\ P_{41}\right),\ \left(P_{12},\ P_{22},\ P_{32},\ P_{42}\right),\ \left(P_{13},\ P_{23},\ P_{33},\ P_{43}\right),\ \left(P_{14},\ P_{24},\ P_{34},\ P_{44}\right).$$

Тогда система имеет 4 решения:

$x_{11} = P_{11}e^{\mu_1 t};\ \ x_{21} = P_{21}e^{\mu_1 t};\ \ x_{31} = P_{31}e^{\mu_1 t};\ x_{41} = P_{41}e^{\mu_1 t}$ – первое решение;

$x_{12} = P_{12}e^{\mu_2 t};\ \ x_{22} = P_{22}e^{\mu_2 t};\ \ x_{32} = P_{32}e^{\mu_2 t};\ x_{42} = P_{42}e^{\mu_2 t}$ – второе решение;

$x_{13} = P_{13}e^{\mu_3 t};\ \ x_{23} = P_{23}e^{\mu_3 t};\ \ x_{33} = P_{33}e^{\mu_3 t};\ x_{43} = P_{43}e^{\mu_3 t}$ – третье решение;

$x_{14} = P_{14}e^{\mu_4 t};\ \ x_{24} = P_{24}e^{\mu_4 t};\ \ x_{34} = P_{34}e^{\mu_4 t};\ x_{44} = P_{44}e^{\mu_4 t}$ – четвертое решение.

Это фундаментальная система решений. Общее решение системы запишется в виде:

$$P_3(t) = \sum_{i=1}^{4} c_i x_{1i};\ \ P_2(t) = \sum_{i=1}^{4} c_i x_{2i};\ \ P_1(t) = \sum_{i=1}^{4} c_i x_{3i};\ P_0(t) = \sum_{i=1}^{4} c_i x_{4i}. \qquad (12)$$

Случаи комплексных и кратных корней подробно рассмотрены, например, в [Данко и др., 2003]. Коэффициенты c_i определяются из начальных условий.

Вернемся к решению уравнения (5). Имеем:

$$x'(t) + (\alpha + \beta)\cdot x(t) - \alpha + X'(t) = 0. \qquad (13)$$

Рассмотрим случай, когда *t* велико и рассматривается устоявшийся режим. В этом случае вероятности $P_k\ (k = \overline{0, N})$ постоянны, математическое ожидание случайного процесса $X(t)$ равно $\sum_{k=0}^{N} k \cdot P_k$. Тогда $X'(t) = 0$, и уравнение (13) имеет решение (3).

Если *t* невелико и рассматривается неустоявшийся режим, то используем аналогичные (12) формулы, но для *N* слагаемых. В этом случае в момент времени t математическое ожидание $M[X(t)]$ случайного процесса равно $\sum_{k=0}^{N} k \cdot P_k(t)$. Дисперсия случайного процесса $D[X(t)]$ равна $\sum_{k=0}^{N} k^2 \cdot P_k(t) - \left(\sum_{k=0}^{N} k \cdot P_k(t)\right)^2$.

Из неравенства Чебышева [Кремер, 2025] следует, что вероятность того, что случайная величина сколь угодно мало отличается от своего математического ожидания, достаточно велика.

Поэтому, заменив в (10) $X'(t)$ на $M[X'(t)]$, будем иметь:

$$x'(t) + (\alpha + \beta)\cdot x(t) - \alpha + M[X'(t)] = 0. \qquad (14)$$

Однако $M[X'(t)] = (M[X(t)])'$ [Вентцель, 2022], т. е. в нашем случае

$$M[X'(t)] = \left(\sum_{k=0}^{N} k \cdot P_k(t)\right)' = \left(\sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} e^{\mu_i t}\right)' = \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} e^{\mu_i t} \mu_i.$$

С учетом этого (14) примет вид:

$$x'(t) + (\alpha + \beta)\cdot x(t) - \alpha + \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} e^{\mu_i t} \mu_i = 0. \qquad (15)$$

Сначала решаем однородное уравнение:

$$x'(t) + (\alpha + \beta)\cdot x(t) = 0.$$

Отсюда находим $x(t) = c_i(t) e^{-(\alpha+\beta)t}$.

Продифференцируем это равенство и подставим $x(t)$ и $x'(t)$ в уравнение (15), получим:

$$c'(t) = \alpha e^{-(\alpha+\beta)t} - \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} e^{(\alpha+\beta+\mu_i)t} \mu_i;$$

$$c(t) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} e^{-(\alpha+\beta)t} - \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} \frac{\mu_i}{\alpha+\beta+\mu_i} e^{(\alpha+\beta+\mu_i)t}. \qquad (16)$$

Пусть в начальный момент времени t_0 $x(t_0) = x_0$, тогда из (16) находим C:

$$c = \left(x_0 - \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \right) e^{(\alpha+\beta)t} + \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} \frac{\mu_i}{\alpha+\beta+\mu_i} e^{(\alpha+\beta+\mu_i)t_0} . \quad (17)$$

Итак, общее решение уравнения (5) с учетом неслучайной и случайной составляющей агитационного процесса в неустановившемся режиме:

$$x(t) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} - \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} \frac{\mu_i}{\alpha+\beta+\mu_i} e^{\mu_i t} + \left(x_0 - \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \right) e^{(\alpha+\beta)(t_0-t)} +$$

$$+ \sum_{k=0}^{N} k \cdot \sum_{i=1}^{N+1} c_i R_{ki} \frac{\mu_i}{\alpha+\beta+\mu_i} e^{\mu_i (t_0-t)} e^{(\alpha+\beta)(t_0-t)} . \quad (18)$$

Данное уравнение позволяет делать прогнозы развития агитационного процесса.

Заключение

В данном исследовании разработана новая модель мобилизации (агитации). Новизна заключается в учете в дифференциальном уравнении мобилизации случайной составляющей, обусловленной влиянием множества трудно формализуемых факторов. Разработана модель на основе дифференциального уравнения мобилизации с учетом случайной составляющей. Показано решение данного уравнения в установившемся и неустановившемся режимах с учетом неслучайной и случайной составляющей агитационного процесса.

Разработанный метод позволит исследовать процессы социальной мобилизации и прогнозировать их результаты и последствия.

Предлагаемый в статье метод позволяет исследовать различные процессы мобилизации (агитации) в социальной сфере (организация систем маркетинга и рекламы, привлечение абитуриентов в учебные заведения, анализ поведения пользователей в социальных сетях, активизация сбора налоговых платежей, создание резервных фондов, привлечение учащихся к качественному обучению, политическая агитация на выборах и организация голосования, привлечение населения на ликвидацию чрезвычайных ситуаций и т. д).

Список литературы

Вентцель Е.С. 2022. Теория вероятностей. RUGRAM, 576 с.

Ганичева А.В. 2015. Математическая модель оптимального управления резервными средствами в учебном процессе. *В мире научных открытий*, 12-3 (72): 953–964.

Ганичева А.В. 2018. Модель мобилизации налоговых платежей. *Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса*, 2 (43): 98–104.

Ганичева А.В. 2019. Математическая модель профориентационной работы. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*, 4 (60): 14–27.

Гельруд Я.Д., Шестакова Л.И. 2022. Основы математического моделирования в политической науке. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*, 1: 116–124.

Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. 2003. Высшая математика в упражнениях и задачах: Учеб. пособие для студентов втузов. В 2-х ч. Ч. II. Москва: «ОНИКС 21 век»: «Мир и Образование», 418 с.

Кремер Н.Ш. 2025. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник и практикум для вузов. Москва: Юрайт, 538 с.

Логинов К.О. 2022. Численное решение задачи фильтрации оценок информационного воздействия на электорат. *Информатика и автоматизация*, 21 (3): 624–652.

Лукшин А.В., Смирнов С.Н. 1990. Численные методы решения стохастических дифференциальных уравнений. *Математическое моделирование*, 2 (11): 108–121.

Магомедова Е.С., Магомедов Р.И. 2024. Стохастическая модель общественно-политической мобилизации. Актуальные проблемы математики и информационных технологий: материалы Всероссийской конференции. Махачкала: Издательство ДГУ: 87–92.

Моисеев С.И. 2009. Моделирование динамики числа потребителей в условиях конкуренции, основанное на случайных процессах. *Конкурентоспособность. Инновации. Финансы*, 1 (1): 66–68.

Полянский И.С., Полянская И.В., Логинов К.О. 2021. Алгоритмические решения в задаче оценки информационного воздействия на электорат при проведении выборных кампаний. *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*, 24 (4): 72–80.

Филиппов И., Юрескул Э., Петров А. 2020. Мобилизация протеста онлайн: построение вычислительной модели. Управление развитием крупномасштабных систем: материалы Международной конференции (MLSD). Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН: 1889–1895.

Шинкевич В.Е. 2020. Актуальность социальной мобилизации в условиях современного общества. *Научный компонент*, 1: 79–89.

Adnan A., Arifin A.H., Aiyub Yahya A. 2023. Mix Mobilization Model as A New Marketing Strategy in the Pandemic Era, 06 (04): 2398–2405.

Alaberdeev R.R. 2023. On the mobilization model of the economy. *Public Administration*. 2 (142): 75–79.

Lukashina Y. 2012. Web-Based Social Movements: Mathematical Model of Mobilization. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=2089980 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2089980.

Rutherford A., Cebrian M., Dsouza S. et al. 2013. Limits of social mobilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 110 (16): 6281–6286.

Srekl J. 2014. Computational Model of Successful Mobilization of Voluntary Firefighters. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 4: 42-48.

Stubbs J. 2012. The mathematical modelling of population change. *The Mathematical Gazette*. 96 (536): 243–250.

Ziam S., Lanoue S., McSween-Cadieux E. et al. 2024. A scoping review of theories, models and frameworks used or proposed to evaluate knowledge mobilization strategies. *Health Research Policy and Systems*, 22 (8): 1–18.

References

Venttsel' E.S. 2022. Teoriya veroyatnostey [Probability theory]. RUGRAM, 576 p.

Ganicheva A.V. 2015. Mathematical model of optimum control of reserve means in educational process. *In the World of Scientific Discoveries*, 12-3 (72): 953–964.

Ganicheva A.V. 2018. Model' mobilizatsii nalogovykh platezhey [The model of tax payment mobilization]. *Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa*, 2 (43): 98–104.

Ganicheva A.V. 2019. Matematicheskaya model' proforientatsionnoy raboty [Mathematical model of career guidance work]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 4 (60): 14–27.

Gel'rud Ya.D., Shestakova L.I. 2022. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya v politicheskoy nauke [Fundamentals of mathematical modeling in political science]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 1: 116–124.

Danko P.E., Popov A.G., Kozhevnikova T.Ya. 2003. Vysshaya matematika v uprazhneniyakh i zadachakh: Ucheb. posobie dlya studentov vtuzov [Higher mathematics in exercises and tasks: A textbook for university students.]. V 2-kh ch. Ch. II. Moskva: «ONIKS 21 vek»: «Mir i Obrazovanie», 418 p.

Kremer N.Sh. 2025. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnik i praktikum dlya vuzov [Probability theory and mathematical statistics: textbook and practical course for universities]. Moskva: Yurayt, 538 p.

Loginov K.O. 2022. Chislennoe reshenie zadachi fil'tratsii otsenok informatsionnogo vozdeystviya na elektorat [Numerical solution of the problem of filtering estimates of information impact on the electorate]. *Informatika i avtomatizatsiya*, 21 (3): 624–652.

Lukshin A.V., Smirnov S.N. 1990. Chislennye metody resheniya stokhasticheskikh differentsial'nykh uravneniy [Numerical methods for solving stochastic differential equations]. *Matematicheskoe modelirovanie*, 2 (11): 108–121.

Magomedova E.S., Magomedov R.I. 2024. Stokhasticheskaya model' obshchestvenno-politicheskoy mobilizatsii [Stochastic model of socio-political mobilization]. Aktual'nye problemy matematiki i informatsionnykh tekhnologiy: materialy Vserossiyskoy konferentsii. Makhachkala: Izdatel'stvo DGU: 87–92.

Moiseev S.I. 2009. Modelirovanie dinamiki chisla potrebiteley v usloviyakh konkurentsii, osnovannoe na sluchaynykh protsessakh [Modeling the dynamics of the number of consumers in a competitive environment based on random processes]. *Konkurentosposobnost'. Innovatsii. Finansy*, 1 (1): 66–68.

Polyanskiy I.S., Polyanskaya I.V., Loginov K.O. 2021. Algoritmicheskie resheniya v zadache otsenki informatsionnogo vozdeystviya na elektorat pri provedenii vybornykh kampaniy [Algorithmic solutions to the problem of assessing the information impact on the electorate during election campaigns]. *Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy*, 24 (4): 72–80.

Filippov I., Yureskul E., Petrov A. 2020. Mobilizatsiya protesta onlayn: postroenie vychislitel'noy modeli [Online Protest Mobilization: Building a computational model]. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem: materialy Mezhdunarodnoy konferentsii (MLSD). Moskva: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN: 1889–1895.

Shinkevich V.E. 2020. Aktual'nost' sotsial'noy mobilizatsii v usloviyakh sovremennogo obshchestva [The relevance of social mobilization in modern society]. *Nauchnyy komponent*, 1: 79–89.

Adnan A., Arifin A.H., Aiyub Yahya A. 2023. Mix Mobilization Model as A New Marketing Strategy in the Pandemic Era, 06 (04): 2398–2405.

Alaberdeev R.R. 2023. On the mobilization model of the economy. *Public Administration*. 2 (142): 75–79.

Lukashina Y. 2012. Web-Based Social Movements: Mathematical Model of Mobilization. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=2089980 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2089980.

Rutherford A., Cebrian M., Dsouza S. et al. 2013. Limits of social mobilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 110 (16): 6281–6286.

Srekl J. 2014. Computational Model of Successful Mobilization of Voluntary Firefighters. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 4: 42–48.

Stubbs J. 2012. The mathematical modelling of population change. *The Mathematical Gazette*. 96 (536): 243–250.

Ziam S., Lanoue S., McSween-Cadieux E. et al. 2024. A scoping review of theories, models and frameworks used or proposed to evaluate knowledge mobilization strategies. *Health Research Policy and Systems*, 22 (8): 1–18.

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 29.04.2025
Поступила после рецензирования 29.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received April 29, 2025
Revised May 29, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ганичева Антонина Валериановна, кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физико-математических дисциплин и информационных технологий, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, г. Тверь, Россия

Ганичев Алексей Валерианович, старший преподаватель кафедры информатики и прикладной математики, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Antonina V. Ganicheva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department Physical and Mathematical Disciplines and Information Technology, Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia

Alexey V. Ganichev, Senior lecturer of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Tver State Technical University, Tver, Russia

УДК 004.85
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-400-412
EDN QBSFZG

Метод обработки изображений магнитно-резонансной томографии на основе линейной интерполяции и алгоритма светлячков

[1] Аль-Шамки А.А.О., [2] Аль Жанзир З.М.
[1] Технический университет Аль-Фурат Аль-Аусат, Ирак, 61002, г. Дивания, ул. Жилой район
[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Ameerru88@gmail.com, 689419@bsuedu.ru

Аннотация. В статье представлен метод обработки изображений в оттенках серого, который базируется на совместном применении линейной интерполяции и алгоритма светлячков. Данный метод разработан для повышения качества снимков магнитно-резонансной томографии (МРТ), используемых для нейросетевого диагностирования онкологических заболеваний головного мозга. Представлены результаты вычислительных экспериментов, которые показали, что обработка изображений предложенным методом позволяет повысить их качество. Выполнено оценивание пикового отношения сигнала к шуму, контрастности и яркости изображений, обработанных предложенным методом и распространенным методом выравнивания гистограммы. Проведены сравнительные эксперименты по нейросетевому диагностированию видов опухолей мозга на основе МРТ-изображений, обработанных методом выравнивания гистограммы и предложенным методом. В результате установлено, что применение МРТ-изображений, обработанных предложенным методом, дает возможность повысить точность постановки диагноза.

Ключевые слова: обработка изображений, линейная интерполяция, алгоритм светлячков, сверточная нейронная сеть, выравнивание гистограммы, повышение качества МРТ-изображений

Для цитирования: Аль-Шамки А.А.О., Аль Жанзир З.М. 2025. Метод обработки изображений магнитно-резонансной томографии на основе линейной интерполяции и алгоритма светлячков. *Экономика. Информатика*, 52(2): 400–412. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-400-412 EDN QBSFZG

Magnetic Resonance Imaging Processing Method Based on Linear Interpolation and Firefly Algorithm

[1] Ameer A.O. Al-Shamkhee, [2] Zualfekar M. Al Janzeer
[1] Al-Furat Al-Awsat Technical University, Residential area St, Diwaniya 61002, Iraq
[2] Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
Ameerru88@gmail.com, 689419@bsuedu.ru

Abstract. The study is devoted to solving a pressing scientific problem, which consists in developing a method for improving the quality of magnetic resonance imaging (MRI) images taken to diagnose oncological diseases of the brain. In this case, the capabilities of neural network classifiers can be used to make diagnoses based on MRI images. One of the common methods traditionally used to solve the problem of improving image quality is the histogram equalization method. However, the analysis showed that images processed by this method are characterized by excessively high contrast and brightness, which can lead to a decrease in the accuracy of diagnosing brain tumors based on them. The authors propose a method for processing grayscale images, which is based on the combined use of linear interpolation and the firefly algorithm. To implement the proposed

© Аль-Шамки А.А.О., Аль Жанзир З.М., 2025

method for processing MRI images, an appropriate algorithm has been developed. The peak signal-to-noise ratio, contrast and brightness of images processed by the proposed method have been estimated. Experimental studies have shown that image processing by the proposed method can improve their quality. The use of MRI images processed by the proposed method makes it possible to increase the accuracy of neural network diagnostics of oncological diseases of the brain by 30 % compared to the use of images processed by the histogram equalization method.

Keywords: image processing, linear interpolation, firefly algorithm, convolutional neural network, histogram equalization, MRI image enhancement

For citation: Al-Shamkhee A.A.O., Al Janzeer Z.M. 2025. Magnetic Resonance Imaging Processing Method Based on Linear Interpolation and Firefly Algorithm. *Economics. Information technologies*, 52(2): 400–412 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-400-412 EDN QBSFZG

Введение

В настоящее время цифровые изображения магнитно-резонансной томографии (МРТ) используются в медицине для выявления онкологических заболеваний головного мозга. При этом в целях повышения точности диагностирования применяются различные информационные технологии поддержки принятия решений, обработки, классификации и анализа данных [Gonzalez, Woods, 2018; Польщиков и др., 2020; Аль Жанзир 2025.]. Для поддержки принятия решений в различных сферах активно используются средства искусственного интеллекта [Pannu, 2015; Польщиков и др., 2019], в частности, искусственные нейронные сети [Mahdi et al., 2021; Polshchykov et al., 2021; Velikanova et al., 2021; Махди и др., 2022; Polshchykov, Velikanova, Igityan, 2022]. Нейросетевые технологии всё чаще применяются для медицинской диагностики. Так, для классификации типов опухолей головного мозга создаются различные модели сверточных нейронных сетей [Badža, Barjaktarović, 2020; Musallam, Sherif, Hussein, 2022; Gómez-Guzmán, 2023].

Чтобы обеспечить необходимую точность нейросетевого диагностирования, требуется повысить качество снимков МРТ на основе обработки этих цифровых изображений. Они представляют собой наборы пикселей в оттенках серого. Каждый пиксель кодируется определенным значением от 0 (самый темный) до 255 (самый светлый). Одним из наиболее распространенных методов повышения качества таких изображений является метод выравнивания гистограммы [Singh, Choubey, 2021]. Изображения, обработанные этим методом, обладают высокой контрастностью и яркостью. Однако, как показывают исследования, использование МРТ-снимков, обработанных с помощью этого метода, не всегда позволяет нейронным сетям точно классифицировать злокачественные образования [Ясир, Аль Жанзир, 2025]. В связи с этим требуется решение актуальной научно-прикладной задачи, состоящей в разработке нового метода повышения качества изображений, используемых для нейросетевого диагностирования онкологических заболеваний головного мозга.

Предлагаемый метод

В целях повышения качества МРТ-снимков головного мозга предлагается метод обработки изображений, основанный на совместном использовании линейной интерполяции [Pan, Yang, Tang, 2012] и алгоритма светлячков [Pour, Zadeh, 2023].

В соответствии с предлагаемым методом значение пикселя с координатами (x; y) в обработанном МРТ-изображении вычисляется по формуле линейной интерполяции:

$$OUT_{xy} = OUTMIN + \frac{IN_{xy} - INMIN}{INMAX - INMIN} \cdot \left(OUTMAX - OUTMIN\right), \quad (1)$$

где IN_{xy} – значение пикселя с координатами (x; y) в исходном МРТ-изображении; *INMIN* – минимальное значение пикселя в исходном МРТ-изображении; *INMAX* – максимальное значение пикселя в исходном МРТ-изображении; *OUTMIN* – минимальное значение пикселя в обработанном МРТ-изображении; *OUTMAX* – максимальное значение пикселя в обработанном МРТ-изображении.

Неизвестные значения *OUTMIN* и *OUTMAX* для каждого пикселя предлагается подбирать на основе решения оптимизационной задачи с помощью алгоритма светлячков. В соответствии с указанным алгоритмом для каждого светлячка в рое выполняется поиск другого наиболее привлекательного светлячка [Kumar, Kumar, 2021]. Рой насчитывает F светлячков. Величина привлекательности светлячка номер i для светлячка номер j оценивается по формуле:

$$\beta_{ij} = \frac{B_j}{1+\gamma \cdot r_{ij}^2}, \tag{2}$$

где B_j – интенсивность светоизлучения светлячка номер j; γ – коэффициент прозрачности среды; r_{ij} – евклидово расстояние между светлячками номер i и номер j.

Значение евклидова расстояния между светлячками номер i и номер j в двухмерном пространстве можно вычислить с помощью выражения:

$$r_{ij} = \sqrt{(OUTMIN_i - OUTMIN_j)^2 + (OUTMAX_i - OUTMAX_j)^2}. \tag{3}$$

Далее светлячки перемещаются к найденным наиболее привлекательным для себя светлячкам. Пусть на итерации t светлячок номер i, перемещался к светлячку номер j. Тогда обновленные координаты светлячка номер i могут быть вычислены по формулам:

$$OUTMIN_i(t) = OUTMIN_i(t-1) + e^{-\gamma \cdot r_{ij}^2(t-1)} \cdot \left[OUTMIN_j(t-1) - OUTMIN_i(t-1)\right] + \alpha\varepsilon_i, \tag{4}$$

$$OUTMAX_i(t) = OUTMAX_i(t-1) + e^{-\gamma \cdot r_{ij}^2(t-1)} \cdot \left[OUTMAX_j(t-1) - OUTMAX_i(t-1)\right] + \alpha\varepsilon_i, \tag{5}$$

где α – коэффициент рандомизации; ε_i – случайная величина, имеющая равномерное распределение в пределах (–0,5; 0,5).

Светлячок, для которого отсутствуют светлячки, имеющую более высокую привлекательность, изменяет свои координаты в случайном порядке. Затем с использованием координат каждого светлячка после перемещения, т. е. значений $OUTMIN_i$ и $OUTMAX_i$, по формуле (1) вычисляются значения величины OUT_{xy}. Максимизация этой величины является критерием оптимизации:

$$OUT_{xy} \to \max. \tag{6}$$

Итерационные вычисления прекращаются, когда будет достигнуто максимальное значение OUT_{xy}. Координаты светлячка, при которых будет выполнено условие (6), станут искомыми значениями *OUTMIN* и *OUTMAX* в формуле (1). С их помощью в обработанном изображении получается результирующее значение пикселя с координатами (x; y). Окончательная обработка МРТ-изображения будет произведена тогда, когда в аналогичном порядке будут вычислены значения каждого пикселя.

Разработка алгоритма

Для реализации предложенного метода обработки МРТ-изображений разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 1. Алгоритм заключается в выполнении следующих шагов.

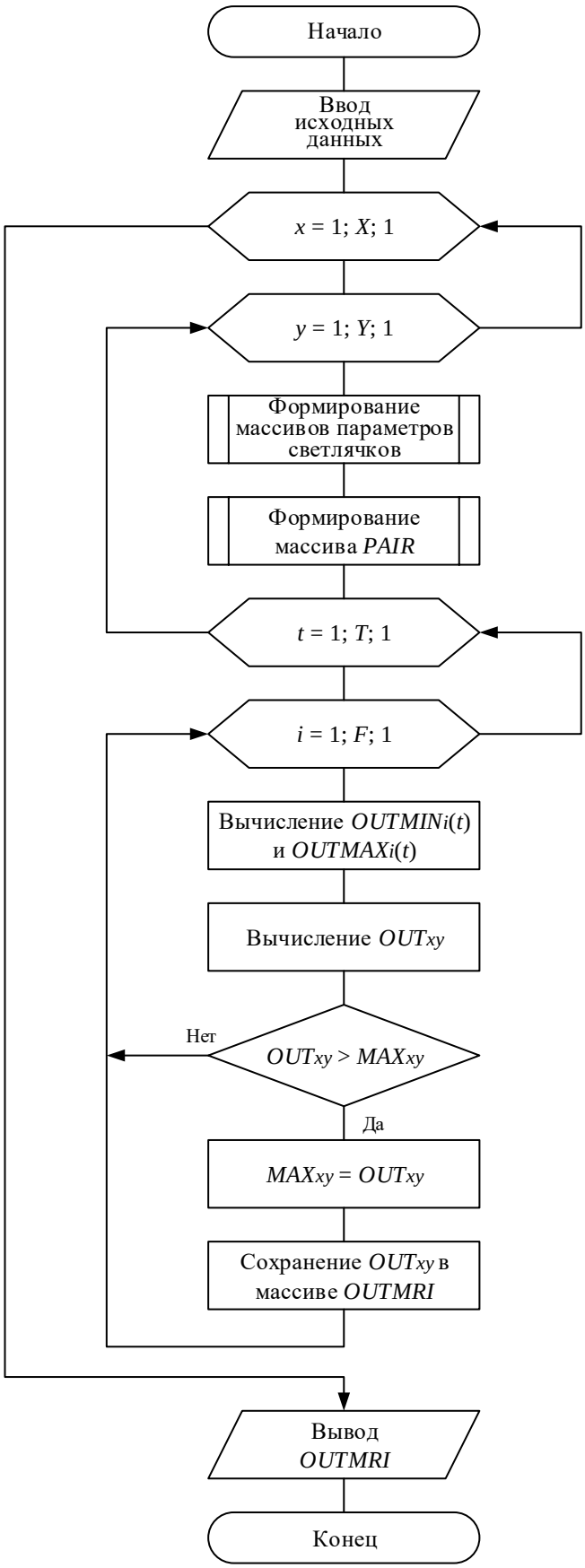


Рис. 1. Блок-схема алгоритма, реализующего предложенный метод обработки МРТ-изображений
Fig. 1. Block diagram of the algorithm implementing the proposed method of processing MRI images

Шаг 1. Начало алгоритма.

Шаг 2. Ввод исходных данных: α; γ; F; $x = 0$; $y = 0$; начального номера $t = 0$ итерации алгоритма светлячков; конечного числа T итераций алгоритма светлячков; элементы $\{IN_{1,1}; IN_{1,2}; ...; IN_{xy}; ...; IN_{XY}\}$ массива значений пикселей исходного МРТ-изображения, где X – число пикселей по горизонтали, Y – число пикселей по вертикали.

Начальные значения пикселей $\{OUT_{1,1}; OUT_{1,2}; ...; OUT_{xy}; ...; OUT_{XY}\}$ в массиве элементов обработанного МРТ-изображения *OUTMRI* приравниваются к нулю. Элементы массива максимальных значений пикселей $\{MAX_{1,1}; MAX_{1,2}; ...; MAX_{xy}, ..., MAX_{XY}\}$, получаемых в ходе линейной интерполяции, приравниваются к 0.

Шаг 3. Текущее значение x увеличивается на 1. Если x становится равным X, то осуществляется переход к шагу 15. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 4.

Шаг 4. Текущее значение y увеличивается на 1. Если y становится равным Y, то выполнение алгоритма возвращается к шагу 3. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 5.

Шаг 5. Выполняется процедура формирования параметров светлячков. Осуществляется формирование: $\{OUTMIN_1; OUTMIN_2; ...; OUTMIN_i; ...; OUTMIN_F\}$ – массива случайных значений первой координаты светлячков; $\{OUTMAX_1; OUTMAX_2; ...; OUTMAX_i; ...; OUTMAX_F\}$ – массива случайных значений второй координаты светлячков; $\{B_1; B_2; ...; B_i; ...; B_F\}$ – массива случайных значений интенсивности светоизлучения светлячков.

Шаг 6. Выполняется процедура формирования массива пар светлячков $\{PAIR_1; PAIR_2; ...; PAIR_i; ...; PAIR_F\}$, где $PAIR_i$ – номер наиболее привлекательного светлячка для светлячка номер i. Для вычисления значений привлекательности светлячков используются выражения (2) и (3).

Шаг 7. Текущее значение t увеличивается на 1. Если t становится равным T, то выполнение алгоритма возвращается к шагу 4. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 8.

Шаг 8. Значение номера светлячка устанавливается $i = 0$.

Шаг 9. Текущее значение i увеличивается на 1. Если i становится равным F, то выполнение алгоритма возвращается к шагу 7. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 10.

Шаг 10. Вычисляются значения $OUTMIN_i(t)$ и $OUTMAX_i(t)$, т. е. координаты светлячка номер i после перемещения к светлячку своей пары, с использованием выражений (4) и (5).

Шаг 11. Вычисляется величина OUT_{xy} – значение пикселя с координатами (x; y), получаемое в результате преобразования по формуле (1).

Шаг 12. Проверяется выполнение условия: $OUT_{xy} > MAX_{xy}$. Если данное условие не выполняется, то осуществляется возврат к шагу 9. В противном случае алгоритм переходит к шагу 13.

Шаг 13. Элементу MAX_{xy} присваивается значение OUT_{xy}.

Шаг 14. Элементу с индексом (x; y) в массиве *OUTMRI* присваивается значение OUT_{xy}. Выполнение алгоритма возвращается к шагу 9.

Шаг 15. Вывод обработанного МРТ-изображения в виде массива значений пикселей *OUTMRI*.

Шаг 16. Конец алгоритма.

Результаты вычислительных экспериментов

Выполнены вычислительные эксперименты по оцениванию и сопоставлению качества обработки МРТ-изображений с помощью метода выравнивания гистограмм и предлагаемого метода, основанного на применении линейной интерполяции и алгоритма светлячков. На рис. 2 показаны примеры исходных и обработанных МРТ-изображений, используемых для диагностирования онкологических заболеваний головного мозга.

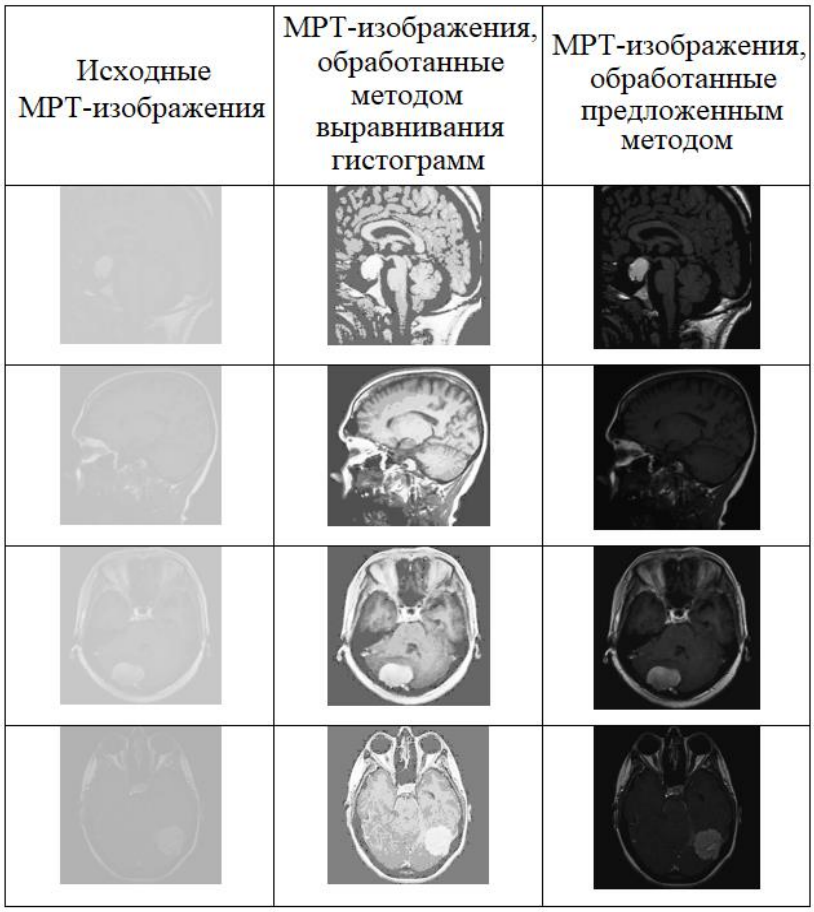


Рис. 2. Примеры исходных и обработанных МРТ-изображений
Fig. 2. Examples of raw and processed MRI images

Для оценивания качества МРТ-изображения может быть использован показатель пикового отношения сигнала к шуму (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) [Sethi, Bharti, Prakash, 2022]. Чем меньше «зашумленность» изображения, тем лучше его качество и выше показатель *PSNR*. Значение этого показателя можно оценить по формуле:

$$PSNR = 10 \cdot \lg\left(\frac{255^2}{MSE}\right), \tag{7}$$

где *MSE* – среднеквадратическая ошибка.

Величина *MSE*, которая характеризует отклонение между значениями пикселей исходного (зашумленного) изображения и обработанного (качественного) изображения, вычисляется по формуле:

$$MSE = \frac{1}{X \cdot Y}\sum_{x=1}^{X}\sum_{y=1}^{Y}\left[IN_{xy} - OUT_{xy}\right]^2. \tag{8}$$

Проведены вычислительные эксперименты для оценивания качества набора МРТ-изображений по показателю *PSNR*. В табл. 1 во втором столбце предоставлены значения этого показателя для изображений, обработанных методом выравнивания гистограмм. В третьем столбце этой же таблицы показаны результаты оценивания значений *PSNR* для изображений, обработанных предложенным методом.

Таблица 1
Table 1

Результаты оценивания показателя *PSNR*
PSNR Evaluation Results

Номер изображения	Значение *PSNR*	
	метод выравнивания гистограммы	предлагаемый метод
1	64,3	127,6
2	44,3	108,1
3	97,1	137,0
4	57,8	93,7
5	100,2	143,4
6	90,1	148,3
7	73,0	93,7
8	101,6	79,01
9	68,1	98,2
10	110,8	86,4

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что для 80 % изображений, обработанных предложенным методом, значения показателя *PSNR* существенно выше, чем для изображений, обработанных методом выравнивания гистограмм.

В качестве второй величины, характеризующей качество МРТ-изображения с позиции его приспособленности к диагностированию онкологических заболеваний головного мозга, можно использовать контрастность изображения, для оценивания которой используется формула Майкельсона. Величину контрастности исходного МРТ-изображения можно оценить с помощью выражения:

$$CST = \frac{INMAX - INMIN}{INMAX + INMIN}. \quad (9)$$

Величину контрастности обработанного МРТ-изображения можно оценить по формуле:

$$CST = \frac{OUTMAX - OUTMIN}{OUTMAX + OUTMIN}. \quad (10)$$

Известны критерии классификации качества изображений с учетом значений его контрастности, представленные в табл. 2 [Gonzalez, Woods, 2018].

Таблица 2
Table 2

Известные критерии классификации качества изображений с учетом их контрастности
Well-known criteria for classifying image quality based on their contrast

Контрастность	Описание
$CST < 0{,}4$	Низкое качество изображения, нечеткие детали
$0{,}4 \le CST \le 0{,}8$	Высокое качество изображения, повышенная четкость
$CST > 0{,}8$	Среднее качество изображения, не видны некоторые мелкие детали

Исследования показали, что для диагностирования онкологических заболеваний головного мозга важно, чтобы в МРТ-изображении четко выделялись не все детали, а, прежде всего, область опухоли. Эта область, как правило, не относится к очень мелким деталям, поэтому наилучших результатов при её обнаружении можно добиться при следующей контрастности МРТ-изображения:

$$0{,}7 < CST \leq 0{,}9. \quad (11)$$

В ходе вычислительных экспериментов проведено оценивание контрастности набора МРТ-изображений, результаты которого представлены в виде диаграммы на рис. 3.

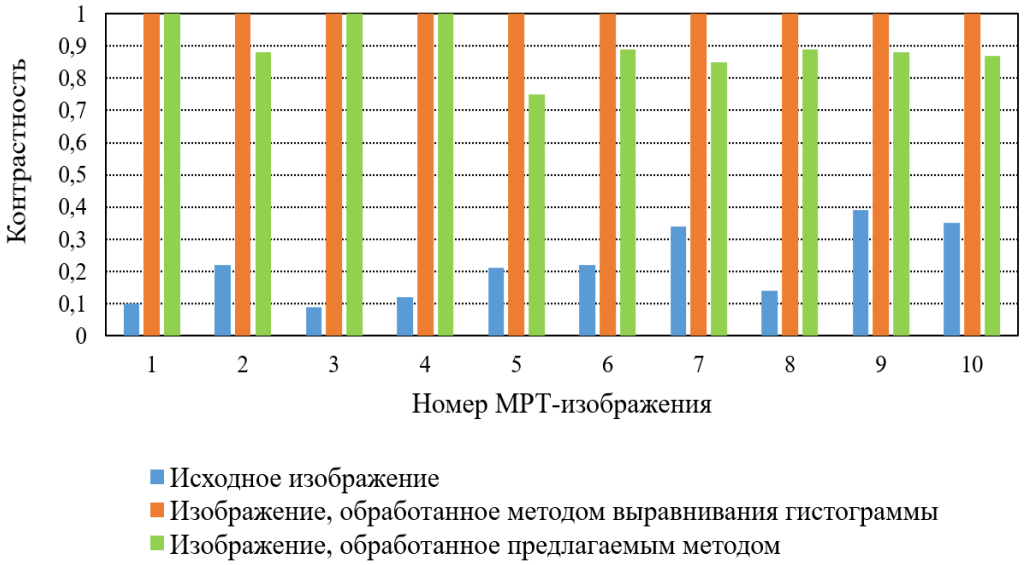


Рис. 3. Результаты оценивания яркости МРТ-изображений
Fig. 3. Results of MRI image brightness evaluation

Анализ вышеуказанной диаграммы показывает, что критерию (11) не соответствуют исходные изображения и изображения, обработанные методом выравнивания гистограммы. В отличие от них, данный критерий контрастности выполнен для 70 % изображений, обработанных предложенным методом.

Для оценивания качества МРТ-изображений может быть использована характеристика их яркости. Яркость исходного изображения можно оценить по формуле:

$$B = \frac{\frac{1}{X \cdot Y} \sum_{x=1}^{X} \sum_{y=1}^{Y} IN_{xy}}{INMAX}. \quad (12)$$

Оценивание яркости обработанного изображения можно выполнить с помощью следующего выражения:

$$B = \frac{\frac{1}{X \cdot Y} \sum_{x=1}^{X} \sum_{y=1}^{Y} OUT_{xy}}{OUTMAX}. \quad (13)$$

Традиционно для классификации качества изображений с учетом их яркости используются критерии, представленные в табл. 3.

Проведенные исследования позволили уточнить данные, представленные в табл. 3, и выявить пределы значений яркости МРТ-изображений, при которых наблюдается высокая точность диагностирования онкологических заболеваний головного мозга:

$$25 < B \leq 75. \quad (14)$$

Выполнены вычислительные эксперименты по оцениванию яркости набора МРТ-изображений, результаты которых представлены в виде диаграммы на рис. 4.

Таблица 3
Table 3

Известные критерии классификации качества изображений с учетом их яркости
Well-known criteria for classifying image quality based on their brightness

Яркость	Описание
$0 \le B < 150$	Приемлемое качество изображения, видна детализация
$150 \le B \le 200$	Среднее качество изображения, возможно частичная потеря деталей
$B > 200$	Низкое качество изображения, потеря детализации

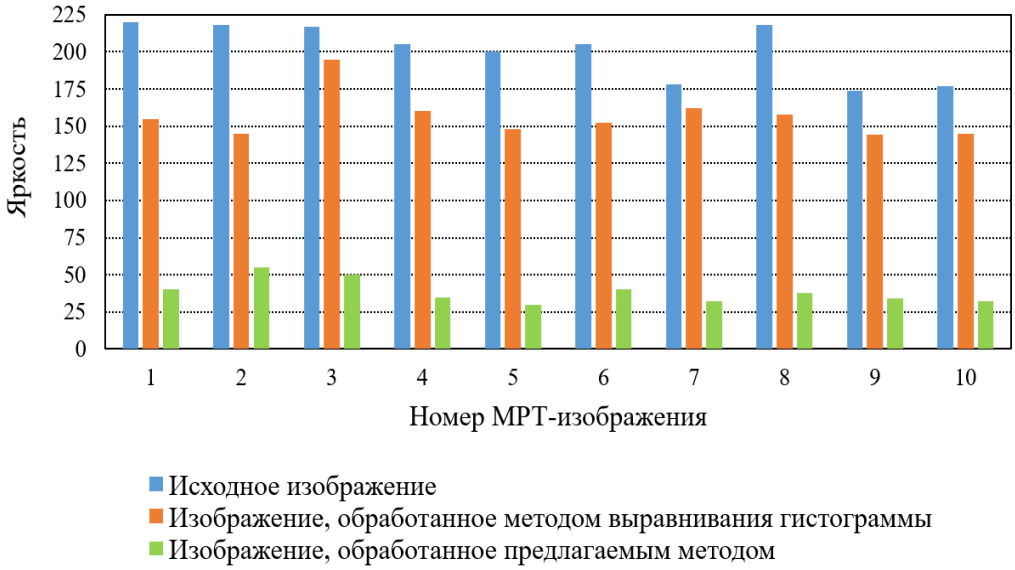


Рис. 4. Результаты оценивания яркости МРТ-изображений
Fig. 4. Results of MRI image brightness evaluation

Анализ вышеуказанной диаграммы показывает, что исходные изображения и изображения, обработанные методом выравнивания гистограммы, не соответствуют критерию (14). Однако, в отличие от них, данный критерий яркости выполняется для всех изображений, обработанных предложенным методом.

Итак, результаты вычислительных экспериментов по оцениванию пикового отношения сигнала к шуму, контрастности и яркости позволяют утверждать, что обработка МРТ-изображений предложенным методом дает возможность на их основе повысить точность постановки диагноза онкологических заболеваний головного мозга. Для проверки справедливости такого вывода проведено диагностирование этих заболеваний с помощью модели сверточной нейронной сети (Convolutional Neural Networks, CNN). В ходе тестирования использовалась CNN-нейросеть, созданная с помощью языка программирования Python и библиотеки глубокого обучения с открытым исходным кодом Keras. Модель включает 8 скрытых слоев. Для настройки нейросети использовалась обучающая выборка, содержащая данные 2627 изображений онкологических заболеваний головного мозга [Brain tumors, 2025]. Обучение модели выполнялось в течение 25 циклов.

В экспериментальном исследовании использовались 4 снимка МРТ с глиомой, 2 снимка с менингиомой и 4 снимка с опухолью гипофиза. Эти исходные МРТ-изображения были обработаны методом выравнивания гистограммы. Затем вектор значений пикселей каждого

обработанного изображения подавался на вход нейросетевой модели, с помощью которой решалась классификационная задача для диагностирования онкологического заболевания. Полученные результаты диагностирования представлены на рис. 5.

Рис. 5. Результаты нейросетевого диагностирования заболеваний по МРТ-изображениям, обработанным методом выравнивания гистограммы
Fig. 5. Results of neural network diagnostics of diseases based on MRI images processed by the histogram equalization method

Анализ этих результатов показывает, что с помощью нейросетевой модели по МРТ-снимкам правильно диагностированы 1 глиома и 2 менингиомы. Заболевания по остальным 7 снимкам были классифицированы некорректно, поэтому точность диагностирования составила 30 %.

Затем исходные МРТ-изображения были обработаны предложенным методом совместного использования линейной интерполяции и алгоритма светлячков. Результаты нейросетевой диагностики по таким обработанным изображениям показаны на рис. 6.

Рис. 6. Результаты нейросетевого диагностирования заболеваний по МРТ-изображениям, обработанным предложенным методом
Fig. 6. Results of neural network diagnostics of diseases based on MRI images processed by the proposed method

Видно, что в этом случае 3 раза была правильно обнаружена глиома и столько же раз опухоль гипофиза. Результирующая точность диагностирования составила 60 %.

Заключение

Таким образом, представленное исследование посвящено решению актуальной научной задачи, состоящей в разработке метода повышения качества МРТ-изображений, сделанных для диагностирования онкологических заболеваний головного мозга. При этом для постановки диагнозов по снимкам МРТ могут использоваться возможности нейросетевых классификаторов. Одним из распространенных методов, с помощью которых традиционно решается задача повышения качества изображений, является метод выравнивания гистограммы. Однако анализ показал, что обработанные этим методом изображения отличаются чрезмерно высокой контрастностью и яркостью, что может привести к снижению точности диагностирования опухолей мозга на их основе.

Авторами предложен метод обработки изображений в оттенках серого, который базируется на совместном применении линейной интерполяции и алгоритма светлячков. Алгоритм светлячков относится к популяционным (биоинспирированным) алгоритмам, с помощью которого реализуется возможность оптимизировать выбор минимальных и максимальных значений пикселей, необходимых для вычисления интерполированных величин в массиве обработанного изображения. Для реализации предложенного метода обработки МРТ-изображений разработан соответствующий алгоритм.

Экспериментальные исследования показали, что обработка изображений предложенным методом позволяет повысить их качество. Использование МРТ-снимков, обработанных предложенным методом, дает возможность на 30 % увеличить точность нейросетевого диагностирования онкологических заболеваний головного мозга по сравнению с использованием изображений, обработанных методом выравнивания гистограммы.

Список литературы

Аль Жанзир З.М. 2025. Улучшение изображений в оттенках серого путем разработки линейной интерполяции с использованием алгоритма Firefly. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*, 3: 16–20.

Махди Т.Н., Игитян Е.В., Польщиков К.А., Корсунов Н.И. 2022. Оценивание эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода с нейросетевой настройкой. *Экономика. Информатика*, 49(2): 356–374. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-356-374.

Польщиков К.А., Лазарев С.А., Константинов И.С., Польщикова О.Н., Свойкина Л.Ф., Игитян Е.В., Балакшин М.С. 2020. Модель для оценки эффективности выполнения робототехнической системой коммуникативных функций. *СТИН*, 6: 4–7.

Польщиков К.А., Польщикова О.Н., Игитян Е.В., Балакшин М.С. 2019. Алгоритм поддержки принятия решений по выбору средств обработки больших массивов естественно-языковых данных. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*, 46(3): 553–562. DOI: 10.18413/2411-3808-2019-46-3-553-562.

Ясир М.Дж., Аль Жанзир З.М. 2025. Распознавание и классификация МРТ-изображений головного мозга с использованием нейронных сетей. *Научный результат. Информационные технологии*, 10(1): 77–85. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-8.

Badža M.M., Barjaktarović M.Č. 2020. Classification of Brain Tumors from MRI Images Using a Convolutional Neural Network. *Applied Sciences*, 10(6): 1999.

Brain tumors. 2025. Kaggle. URL: https://www.kaggle.com/datasets/thomasdubail/brain-tumors-256x256 (accessed: 12.05.2025).

Gómez-Guzmán M.A., Jiménez-Beristaín L., García-Guerrero E.E., López-Bonilla O.R., Tamayo-Perez U.J., Esqueda-Elizondo J.J., Palomino-Vizcaino K., Inzunza-González E. 2023. Classifying Brain Tumors on Magnetic Resonance Imaging by Using Convolutional Neural Networks. *Electronics*, 12(4): 955.

Gonzalez R. C., Woods R. E. 2018. Digital Image Processing. New York. Pearson. 1019 p.

Kumar V., Kumar D. 2021. A Systematic Review on Firefly Algorithm: Past, Present, and Future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28: 3269–3291.

Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4): 1138–1145. DOI: 10.21533/pen.v10i1.2584.

Musallam A.S., Sherif A.S., Hussein M.K. 2022. A New Convolutional Neural Network Architecture for Automatic Detection of Brain Tumors in Magnetic Resonance Imaging Images. *IEEE Access*, 10: 2775–2782.

Pan M.-S., Yang X.-L., Tang, J.-T. 2012. Research on Interpolation Methods in Medical Image Processing. *Journal of Medical Systems*, 36: 777–807.

Pannu A. 2015. Artificial Intelligence and its Application in Different Areas. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 4(10): 79–84.

Polshchykov K.A., Velikanova A.S., Igityan E.V. 2022. Neural network natural language processing tools for identifying personal priorities in the project performer's selection in the field of smart agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1069(1): 012012.

Polshchykov K., Lazarev S., Kiselev V., Shabeeb A.H.T. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoecological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.

Pour E.S., Zadeh Z.B. 2023. Brain Tumor Detection from MRI Images based on Cellular Neural Network and Firefly Algorithm. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 11 (6): 609–618.

Sethi D., Bharti S., Prakash C. 2022. A comprehensive survey on gait analysis: History, parameters, approaches, pose estimation, and future work. *Artificial Intelligence in Medicine*, 129: 102314. DOI: 10.1016/j.artmed.2022.102314.

Singh U., Choubey M.K. 2021. A Review: Image Enhancement on MRI Images. 2021 5th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON), Mathura: 1–6.

Velikanova A.S., Polshchykov K.A., Likhosherstov R.V., Polshchykova A.K. 2021. The use of virtual reality and fuzzy neural network tools to identify the focus on achieving project results. Journal of Physics: Conference Series, 2060: 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/2060/1/012017.

References

Al Janzeer Z.M. 2025. Enhancing Grayscale Images by Developing Linear Interpolation Using Firefly Algorithm. *Modern Science: Current Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 3: 16–20. (in Russian).

Mahdi T.N., Igityan E.V., Polshchikov K.A., Korsunov N.I. 2022. Evaluation of the Dialogue System Efficiency Based on the Application of Fuzzy Inference with Neural Network Settings. *Economics. Information technologies*, 49(2): 356–374 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2022-49-2-356-374.

Pol'shhikov K.A., Lazarev S.A., Konstantinov I.S., Pol'shhikova O.N., Svojkina L.F., Igitjan E.V., Balakshin M.S. 2020. Model' dlja ocenki jeffektivnosti vypolnenija robototehnicheskoj sistemoj kommunikativnyh funkcij. *STIN*, 6: 4–7. (in Russian).

Polshchikov K.A., Polshchikova O.N., Igityan E.V., Balakshin M.S. 2019. The algorithm of decision support in the choice of means of processing large amounts of natural language data. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*, 46 (3): 553–562 (in Russian). DOI: 10.18413/2411-3808-2019-46-3-553-562.

Yaser M.J., Al Janzeer Z.M. 2025. Recognition and classification of MRI images of the brain using the neural networks. *Research result. Information technologies*, 10(1): 77–85. (in Russian). DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-1-0-8.

Badža M.M., Barjaktarović M.Č. 2020. Classification of Brain Tumors from MRI Images Using a Convolutional Neural Network. *Applied Sciences*, 10(6): 1999.

Brain tumors. 2025. Kaggle. URL: https://www.kaggle.com/datasets/thomasdubail/brain-tumors-256x256 (accessed: 12.05.2025).

Gómez-Guzmán M.A., Jiménez-Beristaín L., García-Guerrero E.E., López-Bonilla O.R., Tamayo-Perez U.J., Esqueda-Elizondo J.J., Palomino-Vizcaino K., Inzunza-González E. 2023. Classifying Brain Tumors on Magnetic Resonance Imaging by Using Convolutional Neural Networks. *Electronics*, 12(4): 955.

Gonzalez R.C., Woods R.E. 2018. Digital Image Processing. New York. Pearson. 1019 p.

Kumar V., Kumar D. 2021. A Systematic Review on Firefly Algorithm: Past, Present, and Future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28: 3269–3291.

Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4): 1138–1145. DOI: 10.21533/pen.v10i1.2584.

Musallam A.S., Sherif A.S., Hussein M.K. 2022. A New Convolutional Neural Network Architecture for Automatic Detection of Brain Tumors in Magnetic Resonance Imaging Images. *IEEE Access*, 10: 2775–2782.

Pan M.-S., Yang X.-L., Tang, J.-T. 2012. Research on Interpolation Methods in Medical Image Processing. *Journal of Medical Systems*, 36: 777–807.

Pannu A. 2015. Artificial Intelligence and its Application in Different Areas. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 4(10): 79–84.

Polshchykov K.A., Velikanova A.S., Igityan E.V. 2022. Neural network natural language processing tools for identifying personal priorities in the project performer's selection in the field of smart agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1069(1): 012012.

Polshchykov K., Lazarev S., Kiselev V., Shabeeb A.H.T. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoecological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.

Pour E.S., Zadeh Z.B. 2023. Brain Tumor Detection from MRI Images based on Cellular Neural Network and Firefly Algorithm. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 11 (6): 609–618.

Sethi D., Bharti S., Prakash C. 2022. A comprehensive survey on gait analysis: History, parameters, approaches, pose estimation, and future work. *Artificial Intelligence in Medicine*, 129: 102314. DOI: 10.1016/j.artmed.2022.102314.

Singh U., Choubey M.K. 2021. A Review: Image Enhancement on MRI Images. 2021 5th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON), Mathura: 1–6.

Velikanova A.S., Polshchykov K.A., Likhosherstov R.V., Polshchykova A.K. 2021. The use of virtual reality and fuzzy neural network tools to identify the focus on achieving project results. Journal of Physics: Conference Series, 2060: 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/2060/1/012017.

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 02.04.2025
Поступила после рецензирования 29.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received April 2, 2025
Revised May 29, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аль-Шамки Амир Абдулкадим Оуду, кандидат технических наук, лектор Технического университета Аль-Фурат Аль-Аусат, г. Дивания, Ирак

Аль Жанзир Зуалфекар Муниф, аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ameer A.O. Al-Shamkhee, Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Al-Furat Al-Awsat Technical University, Diwaniya, Iraq

Zualfekar M. Al Janzeer, Postgraduate Student of Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.396.96
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-413-420
EDN QSEFSL

Моделирование сигнальных откликов от БПЛА при использовании доплеровской РЛС и их спектральный анализ

[1] Колесников Ю.Д., [2] Заливин А.Н., [3] Александров А.В., [2] Федорова Н.В.
[1] ООО «АйТи Бизнес Консалтинг», Россия, 196158, г. Санкт-Петербург
[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
[3] Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, д. 116а
1146325@bsuedu.ru, zalivin@bsuedu.ru, aleksandrov_vitaliy@mail.ru, fedorova_n@bsuedu.ru

Аннотация. В статье представлено детальное математическое описание алгоритмов моделирования микродоплеровских сигнальных откликов, возникающих при движении беспилотных летательных аппаратов, а также методов их спектрального анализа, реализованных в среде MATLAB. Рассмотрены основы генерации радиолокационных сигналов с применением частотной манипуляции, позволяющей эффективно выделять микродоплеровские компоненты. Особое внимание уделено современным методам спектральной обработки, включая быстрое преобразование Фурье, квадратично-взвешенное преобразование Фурье, преобразование Гильберта – Хуанга, кепстральный анализ, вейвлет-преобразование и распределение Вигнера – Вилле. Проведен сравнительный анализ этих методов, выделены их ключевые преимущества и недостатки применительно к обработке микродоплеровских сигнатур беспилотных летательных аппаратов. Результаты исследования могут быть использованы для повышения точности идентификации и классификации движущихся объектов в радиолокационных системах.

Ключевые слова: микродоплеровский сигнал, радиолокация, спектральный анализ, БПФ, КВПФ, Гильберт – Хуанг, кепстр, вейвлет, Вигнер – Вилле

Для цитирования: Колесников Ю.Д., Заливин А.Н., Александров А.В., Федорова Н.В. 2025. Моделирование сигнальных откликов от БПЛА при использовании доплеровской РЛС и их спектральный анализ. *Экономика. Информатика*, 52(2): 413–420. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-413-420 EDN QSEFSL

Modeling of Signal Responses from UAVS Using Doppler Radar and their Spectral Analysis

[1] Yuri D. Kolesnikov, [2] Alexander N. Zalivin, [3] Vitaly V. Alexandrov, [2] Nadezhda V. Fedorova
[1] I.T. Business Consulting LLC, St. Petersburg 196158, Russia
[2] Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
[3] Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
116a Sadovaya St., Belgorod 308023, Russia
1146325@bsuedu.ru, zalivin@bsuedu.ru, aleksandrov_vitaliy@mail.ru, fedorova_n@bsuedu.ru

Abstract. The article provides a detailed mathematical description of algorithms for modeling Microdopler signal responses that occur during the movement of unmanned aerial vehicles, as well as methods for their spectral analysis implemented in the MATLAB environment. The basics of radar signal generation using frequency manipulation, which makes it possible to effectively isolate Microdopler components, are considered. Special attention is paid to modern spectral processing methods, including the fast Fourier

© Колесников Ю.Д., Заливин А.Н., Александров А.В., Федорова Н.В., 2025

transform, the quadratically weighted Fourier transform, the Hilbert-Huang transform, cepstral analysis, the wavelet transform, and the Wigner-Ville distribution. A comparative analysis of these methods is carried out, their key advantages and disadvantages are highlighted in relation to the processing of Microdopler signatures of unmanned aerial vehicles. The results of the study can be used to improve the accuracy of identification and classification of moving objects in radar systems.

Keywords: micro-Doppler signal, radar, spectral analysis, FFT, STFT, Hilbert-Huang, cepstrum, wavelet, Wigner-Ville

For citation: Kolesnikov Y.D., Zalivin A.N., Alexandrov A.V., Fedorova N.V. 2025. Modeling of Signal Responses from UAVs Using Doppler Radar and their Spectral Analysis. *Economics. Information technologies*, 52(2): 413–420 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-413-420 EDN QSEFSL

Введение

Радиолокационные системы широко применяются для обнаружения и классификации движущихся объектов, таких как беспилотные летательные аппараты (БПЛА), за счет анализа доплеровских и микродоплеровских эффектов в отраженных сигналах. Микродоплеровские сигнатуры возникают из-за вращения лопастей дрона [Joint Task Force on Cybersecurity…, 2018] и предоставляют важную информацию для идентификации цели. Представленный код MATLAB моделирует радиолокационный сигнал от квадрокоптера и применяет различные методы спектрального анализа для выделения микродоплеровских особенностей [Asghar, Luxton-Reilly, 2020]. В данной статье описываются математические основы моделирования сигналов и методов анализа, а также оцениваются их преимущества и ограничения.

Модель радиолокационного сигнала

Радар работает на несущей частоте $f_c = 24{,}125$ ГГц, с длиной волны $\lambda = \frac{c}{f_c}$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Используется частотная манипуляция (FSK) с двумя частотами [Bishop, Miloslavskaya, Theocharidou, 2015; Dawson, Wang, William, 2018]:

$$f_{cA} = f_c - \frac{\Delta f}{2}, f_c = f_c - \frac{\Delta f}{2}, \quad (1)$$

где $\Delta f = 1$МГц.

Мощность передатчика составляет $P_t = 10$мВт, а коэффициент усиления антенны

$$G = 10^{G_{dB}/11}, \text{ где } G_{dB} = 20\text{дБ}.$$

Положение дрона в трехмерной системе координат задается как:

$$r(t) = [x(t), y(t), z(t)] = [x_0 + V_x t, y_0 + V_y t, z_0 + V_z t], \quad (2)$$

где V_x, V_y, V_z – компоненты скорости дрона.

Радиальное расстояние до радара:

$$R(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2}. \quad (3)$$

Диаграмма направленности антенны моделируется гауссовой функцией [Endicott-Popovsky, Popovsky, 2014; Cabaj et al., 2018]:

$$G_{ant}(t) = exp\left(-\frac{\phi(t)^2}{2\sigma_{az}^2}\right) exp\left(-\frac{\psi(t)^2}{2\sigma_{el}^2}\right), \quad (4)$$

где $\phi(t)$и $\psi(t)$ – азимутный и угол места, выражаются как:

$$\phi(t) = tan^{-1}\left(\frac{y(t)}{x(t)}\right), \psi(t) = tan^{-1}\left(\frac{z(t)}{\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}}\right). \quad (5)$$

Моделирование микродоплеровского эффекта

В качестве модели сигнала имитируется модель движения БПЛА, оснащенного четырьмя роторами с двумя лопастями на каждом роторе. Длинна лопасти составляет $l = 0{,}1$ м. с частотой вращения $RPM = 800$ об/мин. Угловая скорость лопасти выражается как:

$$\omega = RPM\frac{2\pi}{60}. \quad (6)$$

Скорость на конце лопасти выражается как:

$$V_r = \omega l.$$

Микродоплеровский сдвиг частоты для лопасти:

$$f_d = \frac{2V_r sin(\theta_i(t))\cos(\theta(t))}{\lambda}, \quad (7)$$

где $\theta_i(t) = \omega t + \phi_i$, $\theta(t) = cos^{-1}\left(\frac{VR}{|V||R|}\right)$ [Joint Task Force on Cybersecurity…, 2018; Asghar, Luxton-Reilly, 2020].

Амплитуда сигнала от каждой лопасти:

$$A_{blade} = \sqrt{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_{blade}}{(4\pi)^3 R(t)^4} G_{ant}(t)}, \quad (8)$$

где σ_{blade} – эффективная площадь рассеивания (ЭПР) лопасти.

Мгновенная фаза сигнала определяется как:

$$\phi(t) = \phi(t - \Delta t) + \frac{4\pi}{\lambda} V_{radial}(t)\Delta t, \quad (9)$$

где V_{radial} – микродоплеровский вклад лопасти в радиальную скорость дрона.

Итоговый сигнал представляет из себя сумму вкладов всех лопастей и тела с добавлением гауссова шума (при необходимости).

FSK и обработка I/Q сигналов

Сигналы FSK моделируются для двух частот с переключением на частоте:

$$f_{switch} = \frac{c}{2R_{max}\Delta f}. \quad (10)$$

I/Q сигналы формируются для двух приемников, разнесенных на $d = \lambda/2$, с фазовым сдвигом:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi d sin(\theta_{target})}{\lambda}, \quad (11)$$

где $\theta_{target} = 10^o$

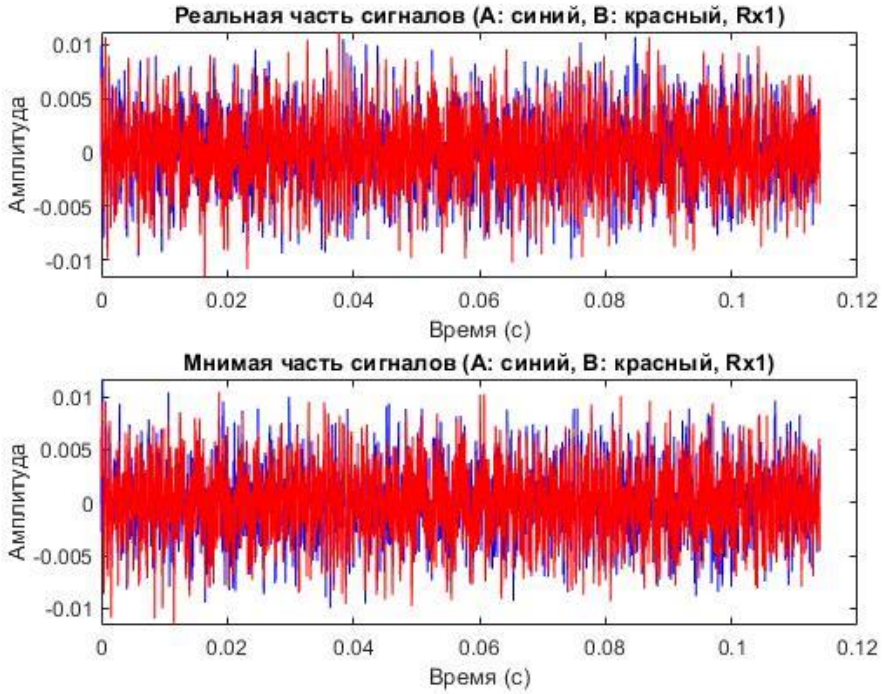


Рис. 1. Комплексное представление сигнала
Fig. 1. Complex representation of the signal

Сигналы смешиваются с гетеродинной частотой f_{het} для сдвига всех частот в спектре в положительную область:

$$f_{het} = \left|\frac{2V_{drone,radial}}{\lambda} - f_{d,blade,\max}\right|, \quad (12)$$

где $V_{drone,radial}$ – максимальная скорость БПЛА, $f_{d,blade,\max}$ – максимальная доплеровская частота движения лопасти.

Методы спектрального анализа

Быстрое преобразование Фурье вычисляется как [Chen, Maynard, Ahma, 2013, Dawson, Wang, William, 2018]:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\frac{2\pi kn}{N}}, \quad (13)$$

где N — длина сигнала, а kсоответствует частотным бинам $f_k = \frac{kF_s}{N}$. Амплитудный спектр нормируется как $\frac{|X[k]|}{N}$.

Преимущества: высокая вычислительная эффективность $O = \frac{N}{logN}$, простота интерпретации.

Недостатки: не учитывает нестационарность сигнала, ограниченное частотное разрешение.

Кратковременное преобразование Фурье [Белов, Хорев, 2015] вычисляется как:

$$S[t,f] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]\omega[n-m] e^{-j\frac{2\pi kn}{N}}, \quad (14)$$

где $\omega[n-m]$ – окно Хэмминга (48 отсчетов), перекрытие – 90 %.

Преимущества: учет изменений во времени, простота реализации [Белов, Лось, Малюк, 2018].

Недостатки: фиксированный размер окна ограничивает разрешение по времени и частоте.

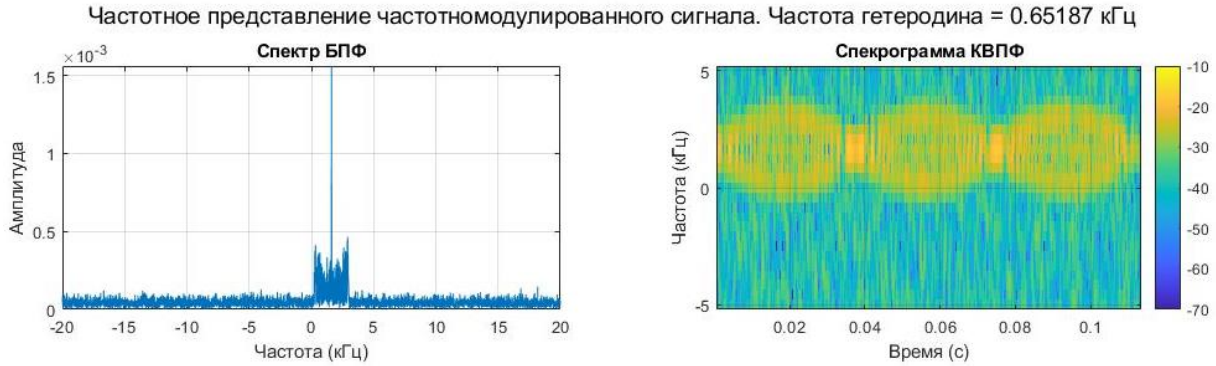


Рис. 2. Частотное представление сигнала
Fig. 2. Frequency representation of the signal

Преобразование Гильберта – Хуанга (HHT) включает эмпирическую модовую декомпозицию (EMD) для разложения сигнала на внутренние модовые функции (IMF):

$$x(t) = \sum_{i=1}^{M} c_i(t) + r(t), \quad (15)$$

Для каждой IMF применяется преобразование Гильберта:

$$H[c_i(t)] = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{c_i(\tau)}{t-\tau} d\tau. \quad (16)$$

что дает аналитический сигнал $z_i(t) = c_i(t) + jH[c_i(t)]$, из которого извлекаются амплитуда $a_i(t) = |z_i(t)|$ и частота $f_i(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{d}{dt}\arg(z_i(t))$.

Преимущества: адаптивность к нестационарным сигналам, высокое разрешение.

Недостатки: высокая вычислительная сложность, чувствительность к шуму.

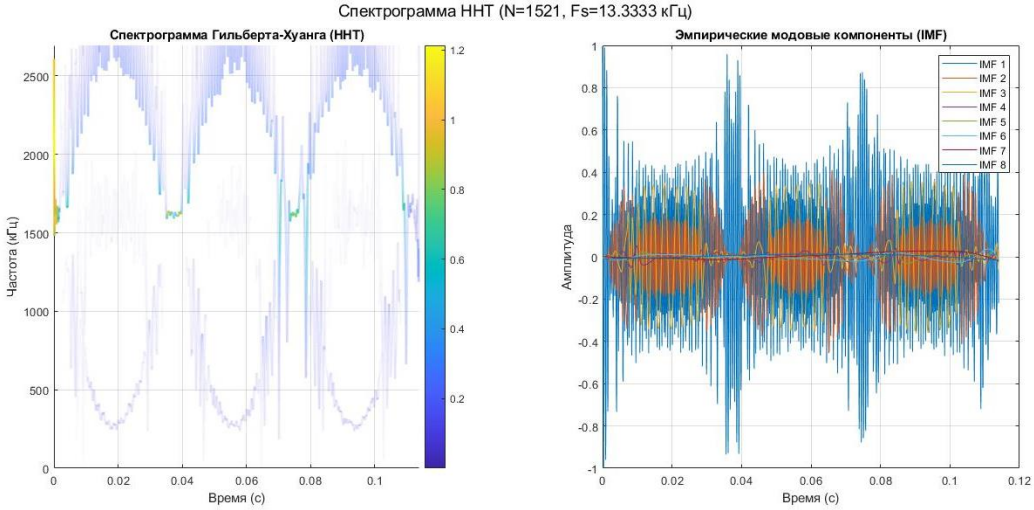


Рис. 3. Спектрограмма Гильберта – Хуанга
Fig. 3. The Hilbert-Huang spectrogram

Кепстральный анализ

Кепстр вычисляется как [Белов и др., 2020]:

$$c[n] = F^{-1}\{log(|F\{x[n]\}| + \epsilon)\}. \quad (17)$$

Используется скользящее окно (150 отсчетов, перекрытие 30 отсчетов).
Преимущества: эффективность для выявления периодичностей.
Недостатки: ограниченная применимость для микродоплеровских сигналов.

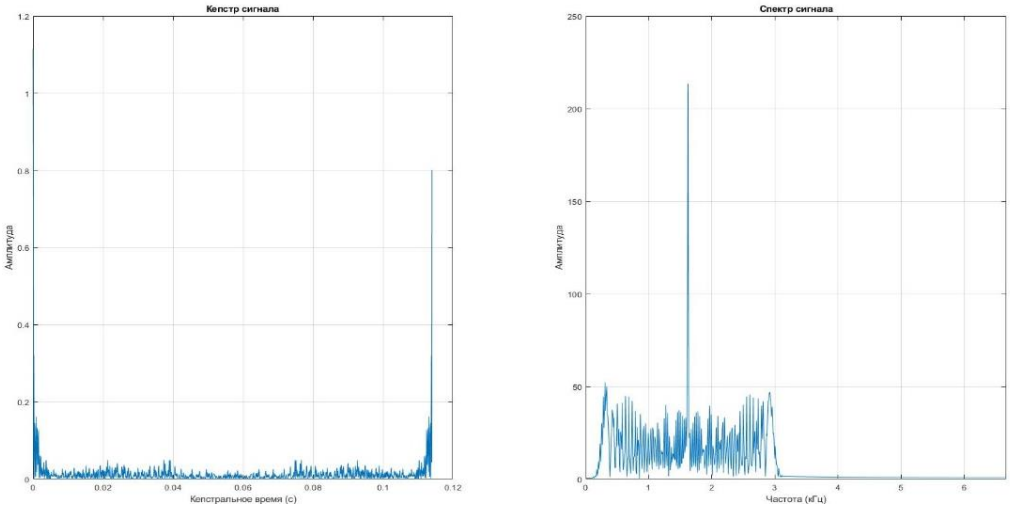


Рис. 4. Кепстральное представление сигнала
Fig. 4. Cepstral representation of the signal

Вейвлет-преобразование (CWT и DWT)

Непрерывное вейвлет-преобразование (CWT) [Chen, Maynard, Ahma, 2013; Henry, 2017]:

$$\mathrm{W}(s,\tau) = \frac{1}{\sqrt{s}}\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right)dt, \quad (18)$$

где, ψ – вейвлет-функция.

Дискретное вейвлет-преобразование (DWT) разлагает сигнал на коэффициенты с использованием вейвлета Добеши и разложением на 6 уровней [Chen, Maynard, Ahma, 2013; Henry, 2017]

$$a_j[k] = \sum_n x[n]\phi_{j,k}[n], \;\; d_j[k] = \sum_n x[n]\psi_{j,k}[n], \tag{19}$$

где $a_j[k]$ – коэффициенты аппроксимации (низкочастотные компоненты), $d_j[k]$ – коэффициенты детализации (высокочастотные компоненты), $\phi_{j,k}[n]$ – масштабирующая функция, $\psi_{j,k}[n]$ – вейвлет-функция, j – уровень разложения, k – индекс сдвига.

Преимущества: гибкое разрешение (CWT), эффективность при небольшом количестве доминирующих частот (DWT).

Недостатки: высокая вычислительная сложность (CWT), фиксированные частотные полосы (DWT).

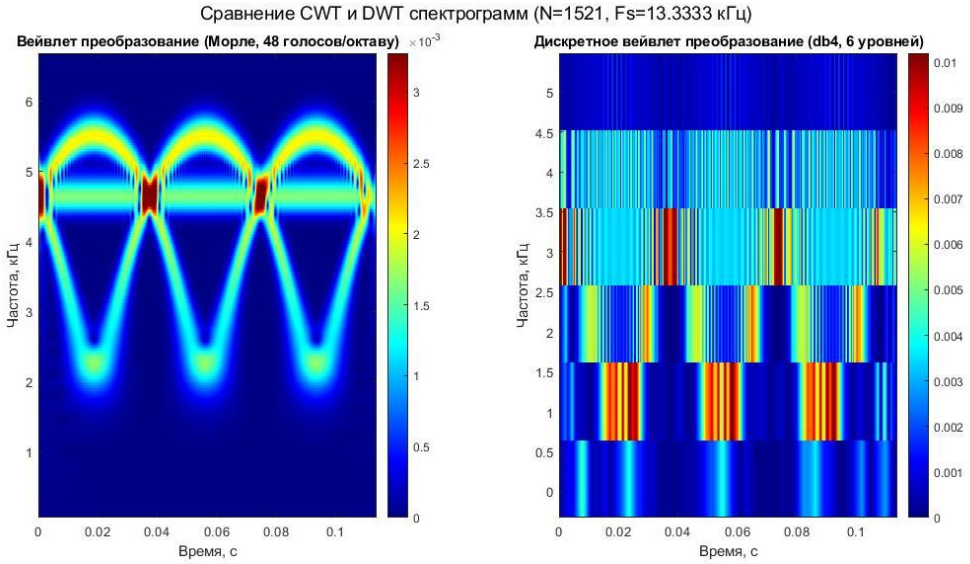


Рис. 5. Спектрограммы непрерывного и дискретного вейвлет преобразования
Fig. 5. Spectrograms of continuous and discrete wavelet transformations

Распределение Вигнера – Вилле (WVD)

WVD определяется как:

$$W(t,f) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t+\frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t-\frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau, \tag{20}$$

где $x(t)$ – анализируемый сигнал, $x^*(t)$ – комплексное сопряжение сигнала, τ – временной сдвиг.

Сглаженная версия использует окна Ханна и Кайзера, определяемые как произведение $h(t)$:

$$W(t,f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) x\left(t+\frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t-\frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau. \tag{21}$$

Преимущества: высокое разрешение во времени и частоте.

Недостатки: помехи от перекрестных членов, высокая вычислительная сложность.

Для нестационарного микродоплеровского сигнала КВПФ и ННТ эффективно визуализируют динамику частот, CWT обеспечивает гибкость, а WVD – высокое разрешение, но требует подавления перекрестных членов. БПФ подходит для базового анализа, а кепстральный анализ менее применим.

Выводы и заключение

Каждый из рассмотренных методов спектрального анализа имеет свои сильные и слабые стороны, что делает их применимыми в различных сценариях радиолокационного анализа. Преобразование Фурье является базовым и эффективным для стационарных сигналов, в то время как вейвлет-преобразование и преобразование Гильберта – Хуанга лучше подходят для

нестационарных сигналов. Кепстральный анализ полезен для разделения компонентов сигнала, а преобразование Вигнера – Вилле обеспечивает высокое разрешение, но требует осторожности из-за кросс-термов. Выбор метода зависит от конкретной задачи, характеристик сигнала и доступных вычислительных ресурсов.

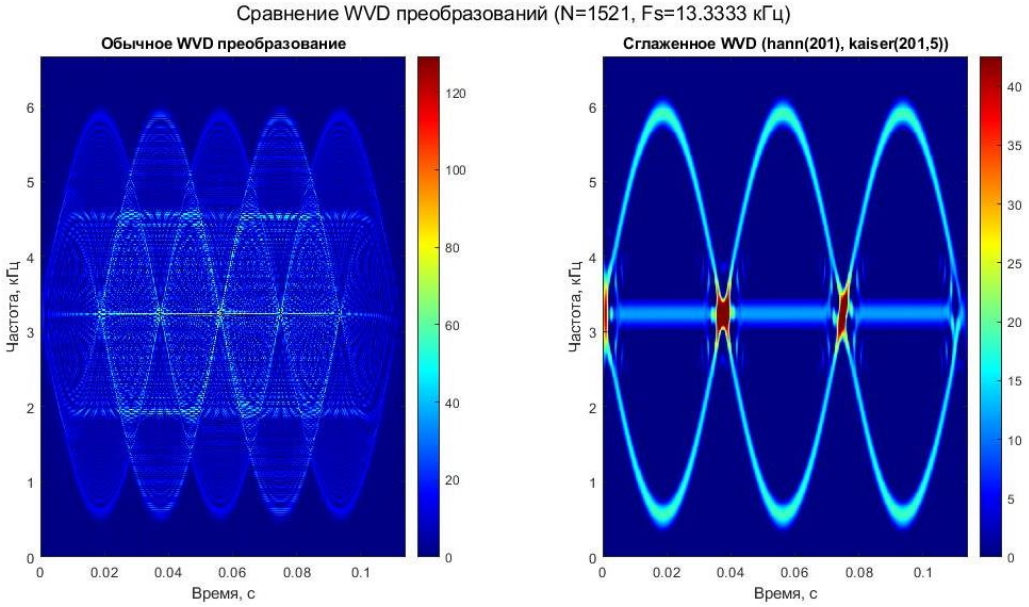


Рис. 6. Спектрограммы классического и сглаженного преобразования Вигнера – Вилле
Fig. 6. Spectrograms of the classical and smoothed Wigner-Ville transformations

Список литературы

Вишвакарма С., Рам С.С. 2018. Изучение словаря с низкой вычислительной сложностью для классификации микродопплеров человека на нескольких несущих частотах. *IEEE Access,* 6: 29793–29805.

Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. 2020. Статистическая радиотехника: Примеры и задачи. М.: Горячая линия – Телеком, 640 с.

Марпл-мл. С.Л. 2020. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 584 с.

Радзиевский В.Г., Сиверс А.П. 2020. Теория и техника радиолокационных измерений. М.: Радиотехника, 320 с.

Сергиенко А.Б. 2021. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 1024 с.

Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М. 2019. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 784 с.

Степанов О.А. 2019. Обработка радиолокационных сигналов на фоне помех. М.: Радиотехника, 488 с.

Тихонов В.И., Харисов В.Н. 2018. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 608 с.

Чен В. 2021. Микродоплеровский эффект в радиолокации. М.: Техносфера, 424 с.

Чен Х., Хуан Ю., Гуан Дж., Хэ Ю. 2017. Обнаружение и извлечение радиолокационного микродоплеровского сигнала с помощью кратковременного дробного преобразования Фурье. Международная конференция по радиолокационным системам (Radar 2017). Международный технологический университет, 4: 1–4.

Эрол Б., Амин М.Г., Гурбуз С.З. 2018. Автоматическое проектирование цепстральных объектов с частотным искажением данных для классификации микродопплеров. *Труды IEEE по аэрокосмическим и электронным системам*, 4: 1724–1738.

References

Vishwakarma S., Ram S.S. 2018. Learning a Low-Computational Complexity Dictionary for Classifying Human Micro-Dopplers at Multiple Carrier Frequencies. *IEEE Access,* 6: 29793–29805 (in Russian).

Goryainov V.T., Zhuravlev A.G., Tikhonov V.I. 2020. Statistical Radio Engineering: Examples and Problems. Moscow: Goryachaya Liniya – Telecom, 640 p (in Russian).

Marple Jr. S.L. 2020. Digital Spectral Analysis and Its Applications. Moscow: Mir, 584 p (in Russian).
Radzievskiy V.G., Sivers A.P. 2020. Theory and Technology of Radar Measurements. Moscow: Radio Engineering, 320 p (in Russian).
Sergienko A.B. 2021. Digital Signal Processing. St. Petersburg: Piter, 1024 p (in Russian).
Solonin AI, Ulakhovich DA, Arbuzov SM 2019. Algorithms and processors for digital signal processing. SPb.: BHV-Petersburg, 784 p (in Russian).
Stepanov OA 2019. Processing radar signals against the background of interference. Moscow: Radio Engineering, 488 p (in Russian).
Tikhonov V.I., Kharisov V.N. 2018. Statistical analysis and synthesis of radio engineering devices and systems. Moscow: Radio and Communications, 608 p (in Russian).
Chen W. 2021. Micro-Doppler effect in radar. Moscow: Technosfera, 424 p (in Russian).
Chen H., Huang Y., Guan J., He Y. 2017. Detection and extraction of radar micro-Doppler signal using short-term fractional Fourier transform. International Conference on Radar Systems (Radar 2017). International University of Technology, 4: 1–4 (in Russian).
Erol B., Amin M.G., Gurbuz S.Z. 2018. Automatic Design of Zeptral Objects with Frequency Distortion Data for Micro-Doppler Classification. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 4: 1724–1738 (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 17.04.2025
Поступила после рецензирования 25.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received April 17, 2025
Revised May 25, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колесников Юрий Дмитриевич, ведущий специалист, ООО «АйТи Бизнес Консалтинг», г. Санкт-Петербург, Россия

Заливин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Александров Виталий Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Федорова Надежда Владимировна, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri D. Kolesnikov, Leading specialist, I.T. Business Consulting LLC, St. Petersburg, Russia

Alexander N. Zalivin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Vitaly V. Alexandrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Security, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Nadezhda V. Fedorova, Senior Lecturer at the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.94
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-421-432
EDN SAOIYT

Метод системного моделирования организационно-деловых процессов

[1] Бобышев П.П., [2] Жихарев А.Г., [2] Гапицонов И.Ю., [3] Кузнецов А.В.
[1] ПАО «Ростелеком», Россия, 119415, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 41
[2] Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
[3] Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина
Россия, 308024, г. Белгород, ул. Горького, д. 71
zhikharev@bsuedu.ru

Аннотация. Современный опыт решения задач цифровизации организационно-деловых процессов свидетельствует о том, что не всегда подобные проекты приводят к запланированным положительным эффектам от автоматизации, выражающимся в упрощении отдельных процессов, ускорении отдельных операций и т. п. В работе авторы проводят анализ проблем автоматизации организационно-деловых процессов. Показано, что причины недостижения показателей эффективности проектов цифровизации связаны с недостаточным уровнем информационно-аналитического обеспечения процессов цифровой трансформации. Информационно-аналитическое обеспечение процедур автоматизации формируется за счет используемых методов и технологий моделирования процессов, поддающихся автоматизации. Авторы показывают, что существующие методы моделирования организационно-деловых процессов не всегда позволяют учесть все аспекты автоматизируемых процессов, что приводит к неэффективным решениям в процессе автоматизации. В работе предлагается новый метод графоаналитического моделирования организационно-деловых процессов, основанный на системно-объектном подходе. С целью его разработки авторы вводят алфавит графических символов, предназначенных для построения системно-объектных диаграмм автоматизируемой деятельности. С использованием положений теории системно-объектного моделирования и графического алфавита описания автоматизируемых процессов разработан алгоритм построения системной компьютерной графоаналитической модели организационно-деловых процессов в состоянии «как есть».

Ключевые слова: метод моделирования, системно-объектный подход, графоаналитическая модель, цифровая трансформация процессов, цифровизация, автоматизация, бизнес-процесс, организационно-деловой процесс

Для цитирования: Бобышев П.П., Жихарев А.Г., Гапицонов И.Ю., Кузнецов А.В. 2025. Метод системного моделирования организационно-деловых процессов. *Экономика. Информатика*, 52(2): 421–432. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-421-432 EDN SAOIYT

© Бобышев П.П., Жихарев А.Г., Гапицонов И.Ю., Кузнецов А.В., 2025

Method of System Modeling of Organizational and Business Processes

[1] Petr P. Bobyshev, [2] Aleksandr G. Zhikharev,
[2] Illarion Yu. Gapitsonov, [3] Andrey V. Kuznetsov
[1] PJSC Rostelecom, 41 Vernadsky Ave., Moscow 119415, Russia
[2] Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
[3] Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin
71 Gorky St., Belgorod 308024, Russia
zhikharev@bsuedu.ru

Abstract. Modern experience in solving problems of digitalization of organizational and business processes indicates that such projects do not always lead to the planned positive effects of automation, expressed in simplification of individual processes, acceleration of individual operations, etc. In the work, the authors analyze the problems of automation of organizational and business processes. It is shown that the reasons for not achieving the performance indicators of digitalization projects are associated with an insufficient level of information and analytical support for digital transformation processes. Information and analytical support for automation procedures is formed through the methods and technologies used for modeling processes that can be automated. The authors show that existing methods for modeling organizational and business processes do not always allow taking into account all aspects of the automated processes, which leads to ineffective solutions in the automation process. The paper proposes a new method of graph-analytical modeling of organizational and business processes based on the system-object approach. For the purpose of its development, the authors introduce an alphabet of graphic symbols intended for the construction of system-object diagrams of the automated activity. Using the provisions of the system-object modeling theory and the graphic alphabet for describing the automated processes, an algorithm for constructing a system computer graphic-analytical model of organizational and business processes in the "as is" state has been developed.

Keywords: modeling method, system-object approach, graph-analytical model, digital transformation of processes, digitalization, automation, business process, organizational and business process

For citation: Bobyshev P.P., Zhikharev A.G., Gapitsonov I.Yu., Kuznetsov A.V. 2025. Method of System Modeling of Organizational and Business Processes. *Economics. Information technologies*, 52(2): 421–432. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-421-432 EDN SAOIYT

Введение

Сегодня любая организационная система использует в своей деятельности средства автоматизации [Fitzgerald, 2013]. Это связано с тем, что автоматизация предполагает повышение эффективности автоматизируемой деятельности за счет сокращения времени выполнения определенных операций, упрощения получения доступа к оперативной информации для лиц, принимающих решения и т. п. Зачастую проекты, направленные на частичную или полную автоматизацию деятельности организационной системы, не приводят к желаемым результатам в виде повышения эффективности автоматизируемых процессов [Davenport, 2018]. Анализируя работы [Джестон, 2015], можно сделать выводы, что проблемы в области реализации проектов по цифровой трансформации связаны с отсутствием четких стратегий и понимания целей автоматизации, некорректным подбором используемых технологий автоматизации. Необходимо отметить, что для формирования четких целей автоматизации, достижение которых можно выразить в числовом виде, а также стратегий достижения этих целей лицу, принимающему решения, необходимы инструментарии, обеспечивающие качественное информационно-аналитическое обеспечение таких процедур. Существующие подходы и инструменты не всегда позволяют обеспечить понятный и невариативный способ построения моделей автоматизируемой деятельности в состоянии «как есть» [Михеев, 2019].

Моделирование как способ отображения реальной действительности используется при проведении автоматизации процессов на нескольких этапах. Первый этап связан с построением модели деятельности организационно системы в состоянии «как есть» [Дигилина, 2019]. Здесь отражаются те процессы, которые в будущем будут автоматизированы. На данном этапе важными компонентами деятельности являются следующие:

- Структура деятельности – в процессной логике это процессы и подпроцессы, взаимосвязи между ними. Эти параметры необходимы для разработки соответствующих формальных алгоритмов, отображающих процесс в цифровой вид. Здесь должны быть четко определены границы процесса и его основные этапы. (пример – преобразование этапов процесса в блок-схему алгоритма) [Игольникова, 2019].
- Ресурсы и результаты функционирования процессов. В случае автоматизации таких процессов ресурсы рассматриваются как входные данные программного модуля, результаты функционирования – как выходы.
- Функции процесса описывают конкретные действия, благодаря которым преобразуются ресурсы процесса в результаты деятельности.
- Участники процесса и их роли: владелец процесса, исполнитель процесса, контроль и управление, анализ качества, автоматизированные системы, механизмы. Перечисленные участники процесса непосредственно реализуют функции процесса. В терминологии системно-объектного подхода такие элементы представляют собой объектные характеристики. В контексте автоматизации процесса учет таких элементов необходим для формирования функционала для соответствующих акторов автоматизированной системы, разграничения прав доступа. В случае, если возможно полностью автоматизировать воздействие конкретного участника на процесс, для таких объектов разрабатываются программные агенты, реализующие заданный функционал.

Второй этап, когда используется метод моделирования, связан с преобразованием или оптимизацией моделей в состоянии «как есть» [Алиева, 2020]. Для оптимизации моделей процессов необходимо наличие определенных правил преобразования моделей и способов их оптимизации. На данном этапе важно максимально исключить субъективный фактор и унифицировать данную процедуру. Реализовать подобную унификацию и автоматизацию возможно при наличии формального языка описания моделей деятельности. Причем такой формальный аппарат должен также учитывать все описанные выше элементы автоматизируемого процесса.

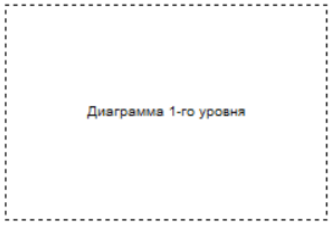
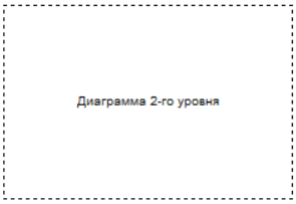
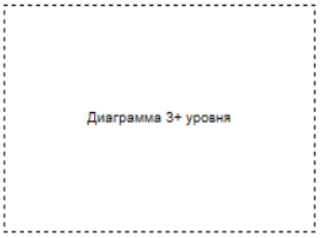
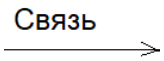
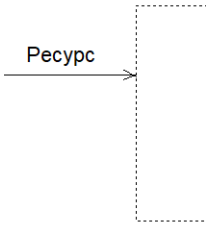
Третий этап связан с разработкой моделей деятельности в состоянии «как-будет» с учетом автоматизации этой деятельности. На данном этапе важным аспектом является наличие встроенных инструментариев, регламентирующих процесс преобразования модели системы из состояния «до автоматизации» в состояние «после автоматизации» [Davenport, 2018].

Алфавит графических символов, предназначенных для построения системно-объектных диаграмм автоматизируемой деятельности

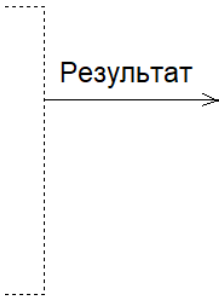
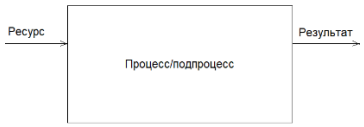
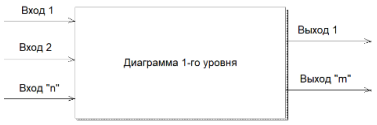
Рассмотрим подробнее теорию системно-объектного моделирования, которая, по мнению автора, обеспечивает описанные выше возможности [Зимовец, 2024]. В рамках теории системно-объектного моделирования разработана графическая нотация «Узел-Функция-Объект» [Жихарев, 2021]. С целью адаптации графической нотации «Узел-Функция-Объект» представим в виде таблицы соотношение основных элементов автоматизируемого процесса графических элементов нотации «Узел-Функция-Объект».

Таблица 1
Table 1

Соотношение элементов автоматизируемой деятельности и графической нотации теории системно-объектного моделирования
The relationship between the elements of automated activity and the graphical notation of the system-object modeling theory

№	Элемент деятельности	Графический элемент нотации	Комментарий
1	2	3	4
1.	Границы автоматизируемой деятельности		Границы деятельности системы, которая поддается описанию, определяется контекстной диаграммой 1-го уровня. Прямоугольник с пунктирной границей. В теле прямоугольника располагается надпись, интерпретируемая как наименование автоматизируемой системы.
2.	Процесс		Процесс задается диаграммой 2-го уровня. Прямоугольник с пунктирной границей. В теле прямоугольника располагается надпись, интерпретируемая как наименование автоматизируемого процесса.
3.	Подпроцесс		Подпроцесс задается диаграммой 3-го уровня и выше, если не достигнут требуемый уровень детализации функционирования процесса. Прямоугольник с пунктирной границей. В теле прямоугольника располагается надпись, интерпретируемая как наименование автоматизируемого подпроцесса.
4.	Связь между подпроцессами		Объект-поток, который передается от одного подпроцесса к другому (выступает ресурсом у одного подпроцесса и является результатом деятельности у другого подпроцесса), обозначен на диаграмме в виде стрелки с надписью. Направление стрелки задает направление потока, надпись задает название объекта-потока.
5.	Ресурсы процесса (вход)		Входящий поток по отношению к подпроцессу интерпретируется как ресурс процесса.

Окончание табл. 1
End of table 1

1	2	3	4
6.	Результаты процесса (выход)		Исходящий поток процесса интерпретируется как результат процесса.
7.	Деятельность процесса (функция)		Функция процесса поэтапно описывает преобразование входа в выход. Графически функция процесса представлена в виде сплошной линии границы процесса (показано наличие ее описания).
8.	Участник процесса (объект)		Объект, реализующий функцию процесса на диаграмме отражен тенью прямоугольника – родительского процесса (показано наличие описания объекта).
9.	Границы процесса		Границы процесса задаются его интерфейсом: множествами входящих и исходящих потоков.

Исходя из описанных выше графических формализмов, а также их соответствия элементам автоматизируемой деятельности, можно сделать вывод, что процессы диаграммы 1-го и 2-го уровней всегда будут иметь функцию (изображаться прямоугольником со сплошными границами) [Маторин, 2018]. Это связано с тем, что диаграмма 2-го уровня детализирует функцию диаграммы 1-го уровня и т. д.

Рассмотрим пример абстрактной системы, для которой применим метод системного компьютерного графоаналитического моделирования организационно-деловых процессов. На первом этапе в соответствии с положениями теории системно-объектного моделирования необходимо выделить объекты-потоки предметной области [Маторин, 2019]. С точки зрения организационно-деловых процессов к таким объектам относятся документы, формирующиеся на отдельных этапах, физические объекты, которые могут использоваться для реализации функции процесса и т. п. В примере абстрактной системы структура иерархии связей показана на рис. 1.

Следующим этапом разработки графоаналитической модели является определение границ автоматизируемой деятельности. Границы определяются диаграммой 1-го уровня, которая связана с внешней средой посредством экземпляров потоков из иерархии, полученной на предыдущем этапе. На данном этапе определяется интерфейс моделируемой системы, который состоит из множества входящих и исходящих объектов-потоков. При автоматизации данные потоки отражают связи автоматизированной системы с внешней средой и показывают, какую информацию автоматизированная система потребляет и выдает в качестве результата своего функционирования [Жихарев, 2024]. Пример диаграммы 1-го уровня показан на рис. 2.

Далее необходимо добавить служебную функцию для блока диаграммы 1-го уровня. В рассматриваемом примере эту функцию обозначим именем «Исполнение процессов» (см. рис. 3). Данная функция характеризуется названием и диаграммой – декомпозицией функции (диаграмма 2-го уровня).

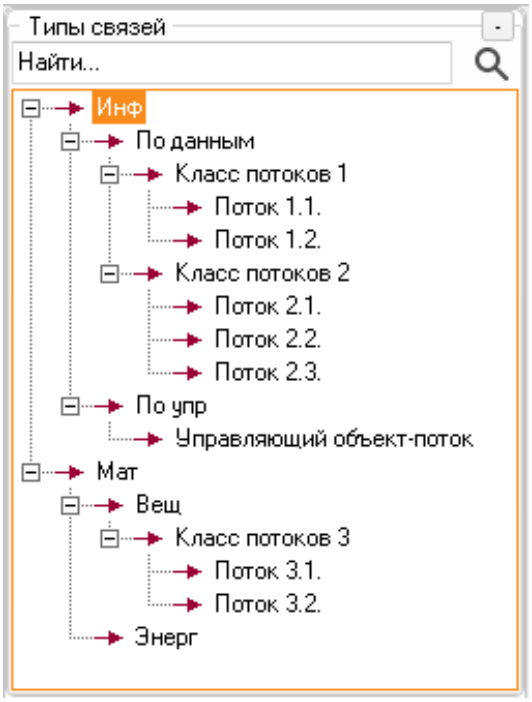


Рис. 1. Иерархия потоков предметной области
Fig. 1. Hierarchy of subject area flows

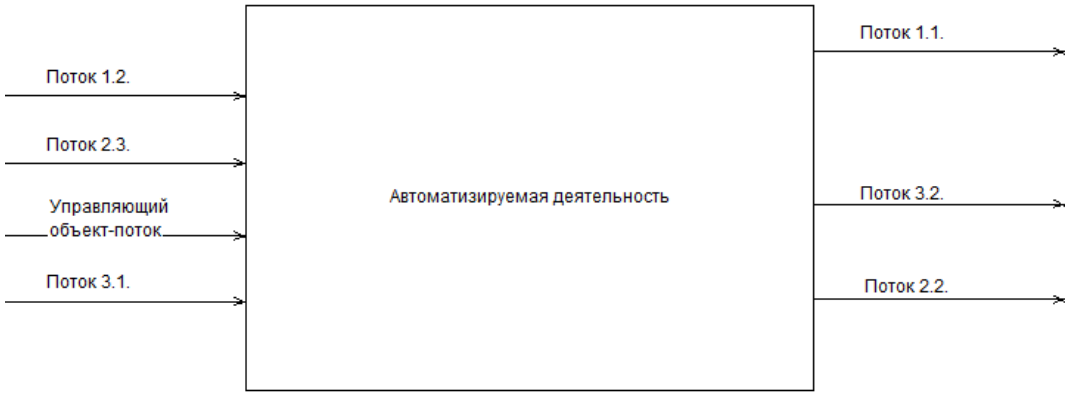


Рис. 2. Пример диаграммы 1-го уровня, задающей границы автоматизируемой деятельности
Fig. 2. Example of a 1st level diagram defining the boundaries of the automated activity

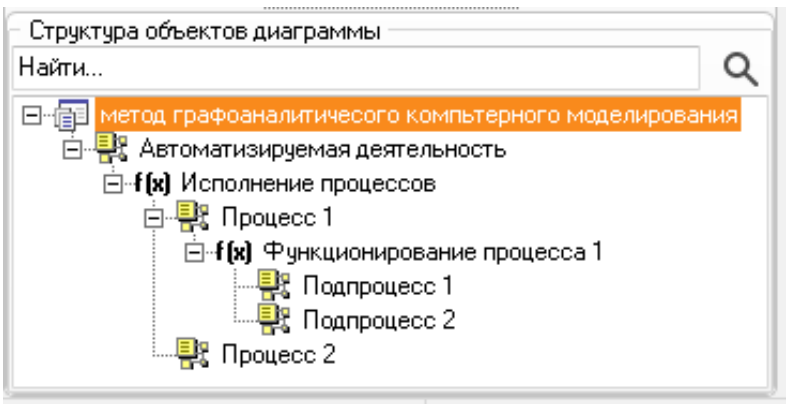


Рис. 3. Иерархия элементов системно-объектной модели
Fig. 3. Hierarchy of elements of the system-object model

Диаграмма 2-го уровня предполагает выделение перечня имеющихся процессов с соответствующими границами. На данном этапе для формирования диаграммы используются имеющиеся описания процессов, документы, регламентирующие отдельные виды деятельности организации.

Для каждого процесса необходимо добавить служебную функцию. На схеме 4 для процесса № 1 добавим функцию «Функционирование процесса 1» (см. рис. 5). Далее процесс декомпозируется с помощью диаграммы 3-го уровня, на которой отображаются этапы процесса – подпроцессы и их взаимосвязи. Пример диаграммы 3-го уровня показан на рис. 5. Подпроцессы интерпретируются как определенные шаги выполнения процесса. Если рассматриваемый подпроцесс невозможно описать с помощью пошагового алгоритма, тогда для каждого такого подпроцесса необходимо добавить функцию и представить ее в виде диаграммы декомпозиции 4-го уровня и так до тех пор, пока каждый подпроцесс диаграммы не достигнет такого уровня детализации, при котором его возможно описать в виде пошагового алгоритма.

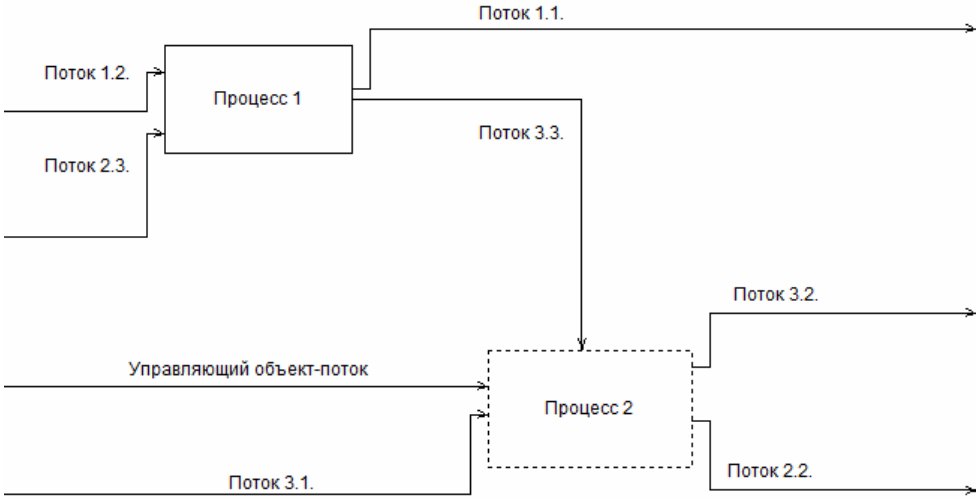


Рис. 4. Диаграмма 2-го уровня (границы организационно-деловых процессов)
Fig. 4. 2nd level diagram (boundaries of organizational and business processes)

Если подпроцесс возможно описать в виде пошагового алгоритма, тогда для его функции необходимо выделить объект, участвующий в реализации текущего подпроцесса. В качестве объекта чаще всего выступают конкретные сотрудники, выполняющие текущий подпроцесс.

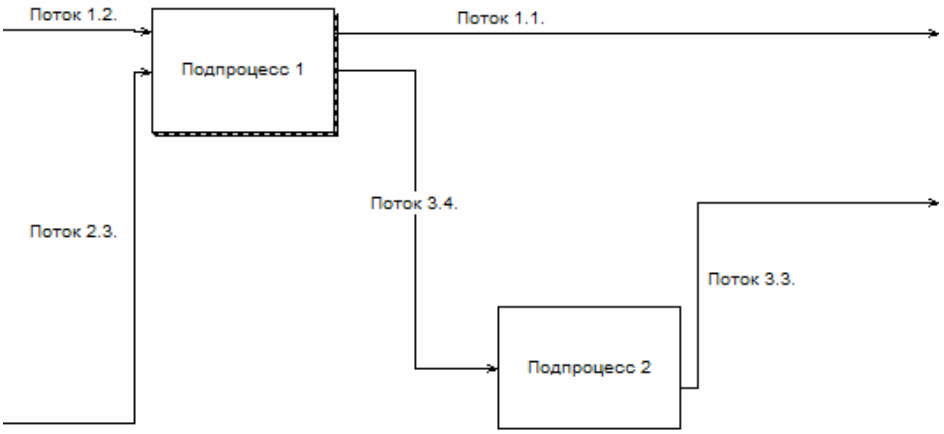


Рис. 5. Диаграмма 3-го уровня (этапы процесса)
Fig. 5. 3rd level diagram (process stages)

Детализация функций подпроцессов производится до тех пор, пока не будет достигнут требуемый уровень детализации. При этом в контексте решения задачи автоматизации моделируемых процессов требуемый уровень достигнут тогда, когда подпроцесс возможно описать с помощью однозначного пошагового алгоритма, имеющего начало и конец, который в дальнейшем будет преобразован в компьютерную программу [Бобышев, 2024].

Алгоритм построения системно-объектной модели автоматизируемой деятельности

С использованием разработанного выше алфавита графических элементов диаграммы рассмотрим словесное описание алгоритма построения системной компьютерной графоаналитической модели организационно-деловых процессов. Алгоритм схож с процедурой построения системно-объектной модели предметной области [Zhikharev, 2022], при этом имеется специфика, касающаяся задачи автоматизации моделируемой деятельности. Как было отмечено выше, при процессном управлении организацией (наиболее часто применяющийся подход для описания бизнес-процессов [Джестон, 2015]) вся деятельность организационной системы представляет набор конечных процессов. Каждый процесс может быть детализирован на разном уровне, здесь все зависит от типа процесса и задач автоматизации. Таким образом, уровень декомпозиции системы в моделях автоматизируемой деятельности имеет важное значение. Так, диаграмма 1-го уровня демонстрирует организационную систему и ее интерфейс, диаграмма 2-го уровня демонстрирует деятельность организационной системы в виде конечного набора процессов. Диаграммы 3-го уровня и выше отражают пошаговую структуру процесса. Количество уровней детализации процесса может варьироваться. Ниже представлен алгоритм построения модели:

Шаг 1. Концептуальное описание предметной области: выявление объектов-потоков и составление иерархии связей предметной области.

Шаг 2. Определение границ автоматизируемой деятельности (построение диаграммы 1-го уровня): добавление на диаграмму нового узла и формирование интерфейса узла (входящие и исходящие потоки, связывающие автоматизируемую деятельность с внешней средой).

Шаг 3. Создание служебной функции узла 1-го уровня.

Шаг 4. Дополнение иерархии объектов-потоков (детализация объектов-потоков).

Шаг 5. Определение процессов в текущем состоянии исходя их имеющихся документов (построение диаграммы 2-го уровня).

Шаг 6. Для каждого процесса диаграммы 2-го уровня:

- Шаг 6.1. Идентификация функции процесса.
- Шаг 6.2. Дополнение иерархии объектов-потоков.
- Шаг 6.3. Идентификация подпроцессов их взаимосвязей (построение диаграммы n-го уровня).
- Шаг 6.4. Для каждого процесса диаграммы n-го уровня:
  - Шаг 6.4.1. Идентификация функции процесса.
  - Шаг 6.4.2. Если достигнут требуемый уровень декомпозиции (ситуация, при которой подпроцесс может быть представлен в виде пошагового алгоритма), тогда добавляется описание объекта, реализующего текущую функцию подпроцесса, алгоритм завершен. Если не достигнут требуемый уровень детализации, переход к шагу 6.2.

Представленный алгоритм построения графоаналитической системно-объектной модели автоматизируемой деятельности имеет рекурсивный характер, так как уровень детализации невозможно унифицировать для подобных задач. Блок-схема алгоритма построения графоаналитической модели организационно-деловых процессов показана на рис. 6.

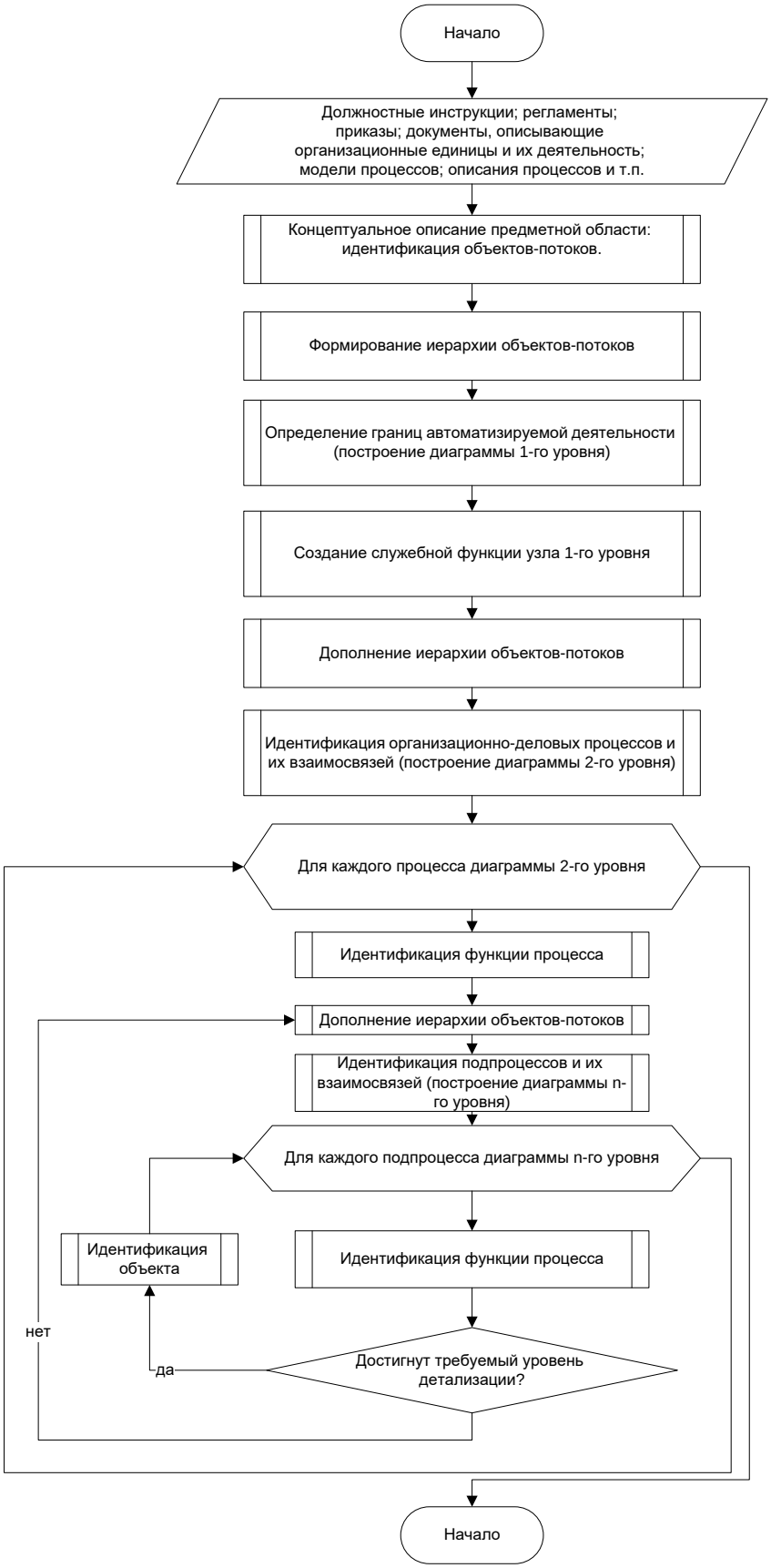


Рис. 6. Блок-схема алгоритма построения системной компьютерной графоаналитической модели организационно-деловых процессов

Fig. 6. Block diagram of the algorithm for constructing a systemic computer graphic-analytical model of organizational and business processes

Ключевым критерием останова детализации подпроцессов является ситуация, когда подпроцесс возможно описать в виде конечного числа определенных измеримых шагов, например, используя теорию процессов (состояния и переходы) [Жихарев, 2022]. Тогда подобный подпроцесс возможно реализовать в виде алгоритма будущей автоматизированной системы. В случае достижения требуемого уровня детализации для каждой функции добавляется объект, участвующий в ее реализации. Объекты в процессе автоматизации выступают в роли акторов автоматизированной системы. При разработке модулей автоматизированной системы иерархия объектов системно-объектной диаграммы может рассматриваться как прототип системы распределения прав доступа или как диаграмма вариантов использования для отдельных типов пользователей автоматизированной системы.

Для построения графоаналитической системной компьютерной модели необходимы документы, регламентирующие процессы организации, должностные инструкции, положения, а также готовые описания организационно-деловых процессов (при наличии).

Заключение

С целью формулировки метода построения графических системных моделей был сформулирован алфавит графических символов, описывающих основные элементы процесса. С использованием разработанного алфавита был сформулирован метод и алгоритм построения системной графической модели автоматизируемой деятельности в состоянии «как есть». Разработанный метод позволяет учесть все необходимы аспекты процессов, которые важны для дальнейшей их автоматизации.

Говоря о процедуре цифровизации, в работе был рассмотрен этап построения модели автоматизируемой деятельности в состоянии «как есть». На следующем этапе реализуется оптимизация модели. Здесь необходимо обеспечить аналитика конкретными правилами и методами оптимизации моделей организационно-деловых процессов. В свою очередь для решения данной задачи, а также задачи трансформации моделей организационно-деловых процессов необходим формальный аппарат, позволяющий учесть все необходимые аспекты автоматизируемой деятельности. Такой аппарат может быть построен на базе, например, теории процессов или исчисления систем как функциональных объектов – современного математического аппарата, предоставляющего широкий набор инструментов по преобразованию системно-объектных моделей [Zhikharev, 2022]. Специальное математическое обеспечение процессов оптимизации и трансформации системных графоаналитических моделей процессов позволит полностью или частично автоматизировать этап оптимизации моделей процессов, поддающихся автоматизации.

Список литературы

Алиева Э.Ф., Алексеева А.С., Ванданова Э.Л., Карташова Е.В., Резапкина Г.В. 2020. Цифровая переподготовка: обучение руководителей образовательных организаций. *Образовательная политика*, 1(81): 54–61.

Бобышев П.П., Жихарев А.Г. Гапицонов И.Ю. 2024. К вопросу цифровой трансформации организационно-деловых процессов. *Научный результат. Информационные технологии,* 4(9): 4–10.

Дигилина О.Б., Тесленко И.Б., Савельев И.И., Крестинский М.В., Мамедов С.Н. 2019. Проблемы цифровизации российской экономики. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 4 (382): 158–163.

Джестон Д. 2015. Управление бизнес-процессами. Практическое руководство по успешной реализации проектов М.: Символ, 512.

Жихарев А.Г. 2024. Системно-объектное моделирование знаний о структуре и состояниях компьютерной сети. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 1:20–25.

Жихарев А.Г., Маматов Р.А., Губкин А.В., Игнатенко П.В. 2022. Структурные элементы исчисления систем как функциональных объектов. *Научный результат. Информационные технологии*, 1(7): 57–67.

Зимовец О.А., Малкуш Е.В., Маторин С.И. 2024. Сравнение нотаций DFD, IDEF0, IDEF3, EPC и BPMN с нотацией УФО-анализа. *Экономика. Информатика*, 51(4): С. 936–945.

Игольникова И.В. 2019. Направления цифровизации и проблемы внедрения в сельском хозяйстве РФ. *Ученые записки Российской академии предпринимательства*, 18(3):191–199.

Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018. Формализация системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». *Прикладная информатика*, Т. 13, № 3 (75): 124–135.

Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2019. Системно-объектный подход как основа общей теории систем. *Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика*, 4(46): 717–730.

Михеев А.Г. 2019. Системы управления бизнес-процессами и административными регламентами на примере свободной программы RunaWFE. М.: ДМК, 336.

Теория систем и системный анализ: учебник. 2021. А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко; под ред. С.И. Маторина. М.: КНОРУС, 456 с.

Davenport T., Hronanki R. 2018. Artificial intelligence for the real word: Harvard business rev. Boston. № 1/2 (96): 108–116.

Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D., Welch M. 2013. Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative. *MIT Sloan Management Review*, 55: 1–12.

Zhikharev A.G. 2022. System-object approach to modeling organizational knowledge considering general system-level patterns. *Scientific and Technical Information Processing*, 6(49): 497–505.

Zhikharev A.G. 2022. Formalization of knowledge by tools of system-object simulation. *Lecture Notes in Networks and Systems*. T. 330 LNNS: 390–399.

References

Alieva E.F., Alekseeva A.S., Vandanova E.L., Kartashova E.V., Rezapkina G.V. 2020. Digital retraining: training of heads of educational organizations. *Educational policy*, 1 (81): 54–61.

Bobyshev P.P., Zhikharev A.G. Gapitsonov I.Yu. 2024. On the issue of digital transformation of organizational and business processes. *Research result. Information technologies*, 4 (9): 4–10.

Digilina O.B., Teslenko I.B., Saveliev I.I., Krestinsky M.V., Mamedov S.N. 2019. Problems of digitalization of the Russian economy. *News of higher educational institutions. Technology of the textile industry*, 4 (382): 158–163.

Jeston D. 2015. Business Process Management. A Practical Guide to Successful Project Implementation Moscow: Symbol, 512.

Zhikharev A.G. 2024. System-object modeling of knowledge about the structure and states of a computer network. *Artificial Intelligence and Decision Making*, 1: 20–25.

Zhikharev A.G., Mamatov R.A., Gubkin A.V., Ignatenko P.V. 2022. Structural elements of computing systems as functional objects. *Research result. Information technologies*, 1(7): 57–67.

Zimovets O.A., Malkush E.V., Matorin S.I. 2024. Comparison of DFD, IDEF0, IDEF3, EPC and BPMN notations with UFO analysis notation. *Economics. Information technologies*, 51(4): pp. 936–945.

Igolnikova I.V. 2019. Directions of digitalization and problems of implementation in agriculture of the Russian Federation. *Scientific notes of the Russian Academy of Entrepreneurship*, 18 (3): 191–199.

Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2018. Formalization of the system-object approach "Node-Function-Object". *Applied Informatics*, Vol. 13, No. 3 (75): 124–135.

Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2019. System-object approach as a basis for general systems theory. *Scientific bulletin of BelSU. Series: Economics. Informatics*, 4 (46): 717–730.

Mikheev A.G. 2019. Business Process and Administrative Regulation Management Systems Using the Free RunaWFE Program as an Example. M.: DMK, 336.

Systems Theory and Systems Analysis: textbook. 2021. A.G. Zhikharev, O.A. Zimovets, M.F. Tbol'tsev, A.A. Kondratenko; edited by S.I. Matorin. Moscow: KNORUS, 456 p.

Davenport T., Hronanki R. 2018. Artificial intelligence for the real word: Harvard business rev. Boston. No. 1/2 (96): 108–116.

Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D., Welch M. 2013. Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative. *MIT Sloan Management Review*, 55: 1–12.

Zhikharev A.G. 2022. System-object approach to modeling organizational knowledge considering general system-level patterns. *Scientific and Technical Information Processing*, 6(49): 497–505.

Zhikharev A.G. 2022. Formalization of knowledge by tools of system-object simulation. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 330 LNNS: 390–399.

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 08.04.2025
Поступила после рецензирования 23.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received April 8, 2025
Revised May 23, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бобышев Петр Петрович, директор проектов проектного офиса реинжиниринга архитектуры цифровых решений государственных сервисов корпоративного центра, ПАО «Ростелеком», г. Москва, Россия

Жихарев Александр Геннадиевич, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Гапицонов Илларион Юрьевич, соискатель ученой степени по специальности 3.2.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Кузнецов Андрей Владимирович, кандидат философских наук, доцент, профессор кафедры информационно-компьютерных технологий в деятельности органов внутренних дел, Белгородский юридический институт МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petr P. Bobyshev, Director of Projects, Project Office for Reengineering the Architecture of Digital Solutions for Government Services of the Corporate Center, PJSC Rostelecom, Moscow, Russia

Aleksandr G. Zhikharev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Illarion Yu. Gapitsonov, External postgraduate student in 3.2.1. Systems Analysis, Management and Information Processing, and Statistics field of study, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Andrey V. Kuznetsov, Candidate of Philosophy Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Computer Technologies in the Activities of Internal Affairs Bodies, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin, Belgorod, Russia

Экономика. Информатика. 2025. Т. 52, № 2 (433–440)
Economics. Information technologies. 2025. V. 52, No. 2 (433–440)

УДК 004.891.2
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-433-440
EDN XCYWMU

Исполнительная подсистема управления процессом лечения детей, больных спектральным аутизмом

[1] Константинов И.С., [2] Альамери А.Н.М., [2] Гайворонский В.А.
[1] Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
[2] Белгородский национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
1591248@bsuedu.ru

Аннотация. Данная работа предполагает изучение возможности разработки исполнительной подсистемы в рамках системы управления аутизмом с помощью Денверской модели раннего вмешательства. В работе представлена модель для уточнения последовательности операций с разъяснением наиболее важных функций, связанных с этой подсистемой, и ее роли в повышении производительности. Цель состоит в том, чтобы отслеживать эффективность работы родителей и активизировать их роль в улучшении лечения детей, больных спектральный аутизмом, путем управления ежедневными задачами в рамках индивидуального плана лечения. Эта подсистема интегрируется с другими подсистемами путем взаимодействия и сбора обратной связи, что, в свою очередь, помогает оптимизировать индивидуальные планы пациентов и повысить эффективность лечения. Перспективы дальнейших исследований включают разработку методов машинного обучения для прогнозирования эффективности различных терапевтических стратегий и создание более совершенных инструментов визуализации прогресса для всех участников процесса.

Ключевые слова: телемедицина, Денверская модель раннего старта, искусственный интеллект, веб-приложения, p-esdm, адаптивное обучение, веб-приложения, ESDM

Для цитирования: Константинов И.С., Альамери А.Н.М., Гайворонский В.А. 2025. Исполнительная подсистема управления процессом лечения детей больных спектральным аутизмом. *Экономика. Информатика*, 52(2): 433–440. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-433-440 EDN XCYWMU

Executive Subsystem for Managing the Treatment of Children with Spectral Autism

[1] Igor S. Konstantinov, [2] Alamery A.N.M, [2] Vitaly A. Gaivoronskiy
[1] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
46 Kostyukov St, Belgorod 308012, Russia
[2] Belgorod State National Research University
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
1591248@bsuedu.ru

Abstract. This work involves exploring the possibility of developing an executive subsystem within an autism management system using the Early Start Denver Model. The paper presents a model for clarifying the sequence of operations with an explanation of the most important functions associated with this subsystem and its role in improving productivity. The goal is to monitor the effectiveness of parents' work and enhance their role in improving the treatment of children with autism spectrum by managing daily tasks as part of an individual treatment plan. This subsystem integrates with other subsystems by interacting and collecting feedback, which in turn helps optimize individual patient plans and improve treatment effectiveness. Prospects for further research

© Константинов И.С., Альамери А.Н.М., Гайворонский В.А., 2025

include the development of machine learning methods for predicting the effectiveness of various therapeutic strategies and the creation of more advanced tools for visualizing progress for all participants in the process.

Keywords: telemedicine, Early Start Denver Model, artificial intelligence, web applications, p-esdm, adaptive learning, web applications, ESDM

For citation: Konstantinov I.S., Almeri A.N.M., Gaivoronsky V.A. 2025. Executive Subsystem for Managing the Treatment of Children with Spectral Autism. *Economics. Information technologies*, 52(2): 433–440 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-433-440 EDN XCYWMU

Введение

В лечении расстройств аутистического спектра у детей очень важна роль родителей, поскольку их активная вовлеченность в процесс является залогом успеха терапии, и поэтому последующее наблюдение и надзор за их вовлеченностью непосредственно и одновременно важны для успеха лечения. Постоянная оценка состояния здоровья ребенка посредством обратной связи способствует заполнению пробелов в индивидуальном плане пациента, что приводит к улучшению лечения и ускорению выздоровления [Rogers, Dawson, Leite, 2023].

Эффективность Денверской модели раннего вмешательства (ESDM) заключается в постоянном наблюдении за пациентом со стороны родителей [Vismara, McCormick, Wagner, Monlux, Nadhan, Young, 2018], а также в надлежащем выполнении ежедневных заданий в расписании индивидуального плана ребенка в срок, независимо от того, являются ли они долгосрочными или краткосрочными. Это основа, которая помогает специалисту в определении текущих потребностей ребенка [Альамери, Гайворонский, Константинов, 2023].

Данная подсистема отвечает за проведение терапии. Она отслеживает выполнение планов лечения родителями, включая терапевтические сеансы, отслеживает прогресс ребенка, записывает отзывы и интегрируется с интеллектуальной подсистемой поддержки принятия решений автоматизированного управления и адаптивного обучения, а также синхронизируется с необходимыми предложениями, корректировками плана лечения и определением задач родителям. Важность этой подсистемы заключается в оценке эффективности выполнения родителями своих задач и обеспечении эффективного лечения за счет тщательного мониторинга и постоянной обратной связи [Альамери, Гайворонский, Константинов, 2023].

Исполнительная подсистема

Наличие исполнительной подсистемы в системе управления аутизмом с помощью Денверской модели раннего вмешательства необходимо для осуществления лечения, которое уже было запланировано врачом-специалистом. Это зависит от продолжения курса лечения, расписания сеансов, а также от механизмов оценки эффективности. Вышеуказанные процессы могут быть описаны с помощью наглядной модели взаимодействия между элементами и компонентами [Альамери, Константинов, 2022].

Правильное выполнение индивидуального плана является сутью лечения, и одной из важнейших функций исполнительной подсистемы является контроль за работой родителей по выполнению плана и обеспечение необходимых условий, а также автоматизированное управление путем постоянного мониторинга прогресса ребенка и предоставления немедленных рекомендаций, которые передаются интеллектуальной подсистемой поддержки принятия решений автоматизированного управления и адаптивного обучения, где интегрированный аспект адаптивного обучения может предоставлять родителям образовательные уроки, помогающие им правильно выполнять задания с помощью видео, аудиофайлов и текстов.

Мониторинг хода лечения аутизма является неотъемлемой частью процесса терапевтического вмешательства для детей с расстройствами аутистического спектра (РАС).

Мониторинг позволяет отслеживать прогресс ребенка и совершенствовать план лечения на основе результатов текущего обследования. Этот процесс включает в себя контроль поведенческих, лингвистических и социальных аспектов, а также улучшение коммуникации между терапевтами, родителями и специалистами.

Мониторинг хода лечения основан на периодических и непрерывных оценках, основанных на ежедневных данных, при которых пересматриваются цели и детали индивидуального плана, а также определяется прогресс в выполнении любого из этих компонентов с помощью инструмента измерения тяжести аутизма (CARS) [Olanrewaju, Igwe, 2020], посредством которого лечение может быть улучшено. Родители играют большую роль в этом процессе, предоставляя свои отзывы о поведении ребенка дома, интеграция с интеллектуальной подсистемой поддержки принятия решений и автоматизированным управлением играет важную роль в анализе этих данных, собранных в ходе ежедневных сеансов, и облегчает работу врачей по корректировке плана [Camden, Chantal, Silva, 2021].

Управление расписанием лечения требует четкой организации и интеграции между сеансами лечения, родителями и специалистами. Определение мероприятий для каждого сеанса связано с индивидуальным планом, который был разработан лечащим врачом на основе предложений интеллектуальной системы поддержки принятия решений и автоматизированного управления, где последняя играет важную роль в отправке уведомлений родителям через пользовательские интерфейсы, посредством объяснений о том, как проводить лечение, а также динамическое планирование расписания, основанное на непрерывной оценке состояния ребенка для устранения пробелов путем определения конкретных мероприятий, плавной навигации между ними или увеличения продолжительности сеансов, чтобы своевременно выполнять план лечения пациента.

Оценка деятельности родителей является одним из наиболее фундаментальных вопросов в исполнительной подсистеме. Потому что родители, конечно же, проводят с ребенком много времени и в их обязанности входит забота о ребенке и выполнение ежедневных заданий в соответствии с планом лечения, поскольку правильное выполнение ежедневных заданий, наблюдение за ребенком и качество общения с ним в течение дня дают важные данные для врачей и системы, а также соблюдение программы лечения и точность выполнения наиболее важных критериев позволяют узнать о целесообразности индивидуального плана.

Ниже приведены наиболее важные критерии, которые могут быть приняты во внимание при оценке работы родителей:

- Соблюдение терапевтической программы: в какой степени родители придерживаются запланированных занятий в соответствии с расписанием. Оценка степени непрерывности занятий и их соответствия терапевтическим ожиданиям.
- Точность в применении терапевтических методик: оценка точности и эффективности применения родителями методов Денверской модели. Оценка включает в себя правильное использование игровых стратегий и социального взаимодействия.
- Качество взаимодействия и коммуникации с ребенком: анализ качества взаимодействия между родителями и ребенком, включая вербальное и невербальное взаимодействие. Измерение влияния качества взаимодействия на прогресс ребенка в достижении целей.
- Прогресс в достижении терапевтических целей: отслеживание степени достижения ребенком целей, поставленных в плане лечения. Оценка способности родителей адаптироваться к меняющимся потребностям ребенка и корректировка стратегий в зависимости от прогресса.
- Обратная связь от родителей: комментарии родителей о воздействии лечения принимаются во внимание, поскольку они находятся в непосредственном контакте с пациентом.

В соответствии с этими критериями можно измерить степень соответствия и точность применения. По формуле (1) производится расчет приверженности к терапевтической

программе:

$$C = \frac{Sc}{St} \times 100, \quad (1)$$

где C – коэффициент приверженности, Sc – количество успешно выполненных сессий, St – общее количество запланированных встреч.

Расчет точности при применении терапевтических методик производится по формуле (2):

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n}, \quad (2)$$

где A – средняя точность выполнения техник, Qi – степень точности выполнения упражнения, определяется ответами родителей на вопросы, связанные с выполнением одного из заданий или упражнений терапевтического плана, а также диапазонами результатов (0-10), n – количество оцененных упражнений [Smith, Koegel, Dvortcsak, 2014].

Предлагаемая исполнительная подсистема может быть представлена в виде структурной модели (рис. 1) с теоретическим описанием возможных процессов и взаимодействующих элементов, среди которых, помимо программ и технических блоков, есть пользователи системы, представленные врачами и родителями.

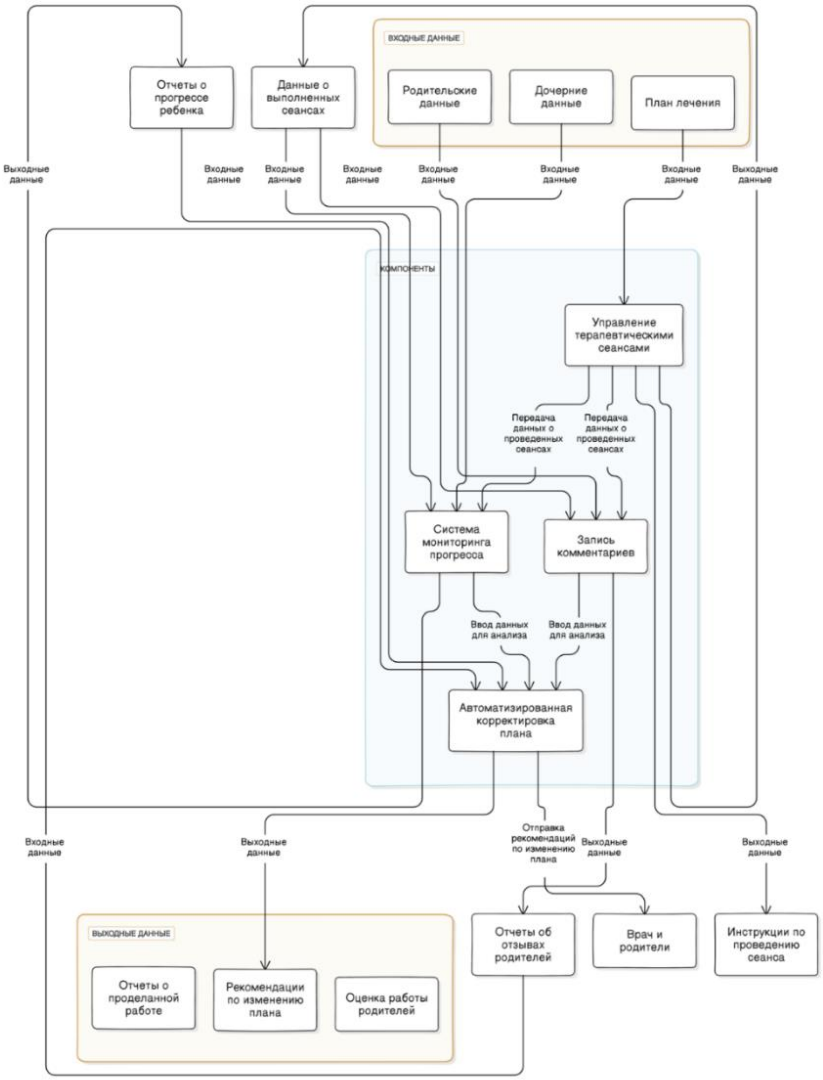


Рис. 1. Структурная схема исполнительной подсистемы
Fig. 1. Structural diagram of the executive subsystem

Основной задачей исполнительной подсистемы является помощь как родителям, так и врачам в правильной реализации индивидуального плана лечения, а также интеграция с другими подсистемами, наиболее важной из которых является интеллектуальная подсистема поддержки принятия решений и автоматизированного управления, и предотвращение возможных ошибок при применении плана лечения в домашних условиях. В то же время не игнорируется вопрос сбора отзывов родителей на сеансах лечения, это, в свою очередь, помогает врачу-специалисту улучшить и скорректировать план лечения в соответствии с новыми переменными и заполнить пробелы в предыдущем плане.

Предлагаемая подсистема использует интеллектуальную интерактивную интернет-систему, которая при взаимодействии с участниками операции обеспечивает их коммуникационную, информационную и консультативную поддержку, отслеживая выполнение плана лечения для каждого пациента и итоговую оценку успеваемости детей при выполнении ежедневных задач в соответствии с планом лечения каждого пациента.

Техническое описание системы

Ввод данных подсистемы позволяет заполнить:

- План лечения: принимается индивидуальный план лечения, разработанный врачом на основе рекомендаций интеллектуальной системы.
- Данные о ребенке: оценка тяжести аутизма, история болезни, данные поведения и развития.
- Данные о родителях: уровень образования, степень участия лечения в прошлом, регулярный мониторинг процесса.

Исполнительная подсистема включает в себя следующие компоненты:

- Координация терапии: обеспечивает планирование сессий, постановку задач для родителей и контроль их выполнения. Также предоставляет пошаговые инструкции для проведения каждого занятия.
- Оценка эффективности лечения: собирает и анализирует данные о прогрессе ребенка, выявляет положительные изменения и возникающие сложности. На основе этой информации формирует отчеты для врача.
- Система ведения заметок: позволяет родителям оставлять свои отзывы об успехах ребенка на терапевтических сеансах. Она фиксирует ежедневные наблюдения родителей за поведением ребенка, реакцией на лечение и любыми проблемами, возникающими во время лечения. Сохраняет эти комментарии и анализирует их, чтобы дать рекомендации по улучшению плана лечения.
- Автоматизированная система корректировки плана: основываясь на непрерывном анализе и обратной связи от родителей, подсистема интегрируется с интеллектуальной системой поддержки принятия решений и автоматизированным управлением для получения рекомендаций по изменению плана лечения путем добавления или удаления определенных задач или изменения времени сеанса, уведомляя врача о предлагаемых корректировках, чтобы он мог рассмотреть и утвердить их [Sideraki, Angeliki, 2021].

Процесс терапии включает следующие этапы:

- Планирование сеансов: система автоматически назначает даты терапевтических занятий в соответствии с утвержденным планом лечения.
- Инструктаж родителей: через интерфейс приложения родители получают пошаговые рекомендации по проведению каждого сеанса.
- Контроль выполнения: система фиксирует соблюдение родителями предписаний, их наблюдения и прогресс лечения ребенка.
- Анализ прогресса: оценивается, насколько ребенок приближается к поставленным целям, и сравниваются фактические результаты с ожидаемыми.

- Коррекция терапии производится на основе полученных данных, вследствие чего интеллектуальная система предлагает изменения в плане лечения, повышая его эффективность.

Формируемые отчеты и выводы:

- Отчеты о динамике: позволяют производить регулярные сводки для отражения прогресса пациента.
- Персонализированные рекомендации: формируют предложения для корректировки лечения за счет проведения анализа текущих данных.
- Оценка вовлеченности родителей: формирует отчет, в котором отображается насколько точно родители следовали инструкциям и насколько эффективно проводили терапию.
- Уведомления для врача: сигнализируют лечащему врачу о необходимости пересмотра или корректировки плана лечения в случае выявления отклонений или недостаточной эффективности проводимого курса лечения.

Взаимодействие с системой:

- Обратная связь с интеллектуальным модулем: исполнительная подсистема передает данные в интеллектуальный модуль для формирования рекомендаций на основе полученных данных.
- Актуализация данных: точность корректировки плана лечения зависит от частоты обновления данных о ходе терапии.
- Врачебный контроль: все изменения и предложения по лечению направляются лечащему врачу для проверки и утверждения плана лечения.

Пользовательские интерфейсы:

- Родительский интерфейс: позволяет родителям пациента вести заметки, оставлять обратную связь, обеспечивает доступ к инструкциям по проведению терапии.
- Врачебный интерфейс: лечащий врач имеет возможность анализировать отчеты, производить оценку работы родителей и утверждать изменения в терапии.

Механизм работы исполнительной системы заключается в следующем:

- Объект управления терапевтическими сеансами передает данные о проведенных сеансах объекту мониторинга хода выполнения, записывая комментарии.
- Объект мониторинга хода выполнения и объект регистрации обратной связи предоставляют входные данные в интеллектуальную подсистему поддержки принятия решений, а автоматизированное управление назначается объекту автоматической модификации плана, который автоматически корректируется в соответствии с планом, полученными данными и изменениями.
- Автоматизированная система внесения изменений в план формирует рекомендации по изменению плана лечения и отправляет их врачу для наблюдения и утверждения, а затем отправляет родителям для выполнения [Siahaan, Widyasari, 2019].

Исполнительная подсистема интегрирована с остальными подсистемами, где осуществляется обмен отчетами и рекомендациями для обеспечения постоянного обновления и совершенствования планов лечения. Сбор отзывов родителей после каждого сеанса лечения очень важен для того, чтобы понять, как они справляются с поставленными задачами и улучшить лечение, постоянно анализируя эти инструкции, чтобы выявить любые препятствия или проблемы, с которыми могут столкнуться родители.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, становится ясно, что родители играют важную роль в пропаганде и эффективном лечении расстройств аутистического спектра (РАС) у детей младшего возраста. Это подтверждают эксперты в этой области. Поэтому разработка операционной подсистемы для оказания помощи родителям в проведении терапии с

использованием Денверской модели раннего вмешательства, а также мониторинга и оценки их результатов имеет первостепенное значение. Она должна включать такие важные функции, как простота использования. Кроме того, эта подсистема является одним из основных компонентов системы, призванной укрепить основы интегрированной системы медицинского обслуживания детей с аутизмом. Система была представлена в исследовании [Альамери, Гайворонский, Константинов, 2023], где рассматривались вопросы её разработки, формирования общей структуры сервиса, а также интеграции телемедицины в эту систему.

Список литературы

Альамери, А., В.А. Гайворонский, И.С. Константинов, 2023. Управление процессом лечения детей, больных спектральным аутизмом. *Информационные системы и технологии*, 5: 46–52.

Adebisi, R.O., E.N. Igwe, 2020. Identifying autism spectrum disorders in school children for placement using a valid screening instrument in Nigeria. *Konselor*, 9(2): 42–49.

Bearss, K., T.L. Burrell, L. Stewart, L. Scahill, 2015. Parent training in autism spectrum disorder: What's in a name? *Clinical Child and Family Psychology Review*, 18: 170–182.

Camden, C., P. Silva, 2021. Pediatric telehealth: Opportunities created by the COVID-19 and suggestions to sustain its use to support families of children with disabilities. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 41(1): 1–17.

Dawson, G., K. Burner, 2011. Behavioral interventions in children and adolescents with autism spectrum disorder: A review of recent findings. *Current Opinion in Pediatrics*, 23(6): 616–620.

Ingersoll, B., A. Dvortcsak, 2010. Teaching Social Communication to Children with Autism: A Manual for Parents and Professionals. New York: The Guilford Press: 54–61.

Rogers, S.J., G. Dawson, 2010. Early Start Denver Model for Young Children with Autism: Promoting Language, Learning, and Engagement. New York: Guilford Press: 125–132.

Simacek, J., L. Elmquist, M. Dimian, 2020. Current trends in telehealth applications for autism spectrum disorders: A systematic review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 7: 211–228.

Siahaan, A.M., W. Widyasari, 2019. Penerapan Web Responsive Design Pada Toko Aksesoris Jelita. *ENTER*, 2(1): 392–404.

Silva, T., S. Leite, R. Martins, E. Costa, E. Paulo, J. Pascoinho, 2023. ICT and the Role of Educators in the Inclusion of Children with Autism Spectrum Disorder (ASD). Advances in Tourism, Technology and Systems: Selected Papers from ICOTTS 2022, Volume 2: 11–22. Singapore: Springer Nature Singapore.

Smith, I.M., R.L. Koegel, L.K. Koegel, 2014. Parent Education for Autism: Understanding and Measuring Parental Effectiveness. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(6): 1301–1314. DOI: 10.1007/s10803-013-1979-9.

Sideraki, A., A. Drigas, 2021. Artificial Intelligence (AI) in Autism. *Technium Soc. Sci. J.*, 26: 262.

Vivanti, G., C. Dissanayake, E. Duncan, 2016. Outcomes of Early-Start Denver Model Intervention in Young Children with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 58(6): 582–588.

Vismara, L.A., C.E. McCormick, A.L. Wagner, K. Monlux, A. Nadhan, G.S. Young, 2018. Telehealth parent training in the Early Start Denver Model: Results from a randomized controlled study. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 33(2): 67–79.

References

Almeri, A., V.A. Gaivoronsky, I.S. Konstantinov, 2023. Management of the treatment process for children with spectral autism. *Information Systems and Technologies*, 5: 46–52.

Adebisi, R.O., E.N. Igwe, 2020. Identification of autism spectrum disorders in schoolchildren in order to identify them in schools using a screening tool operating in Nigeria. *Konselor*, 9 (2): 42–49.

Bearss, K., T.L. Burrell, L. Stewart, L. Scahill, 2015. Training for parents on autism spectrum disorders: what is hidden behind the name? *Review of Clinical Child and Family Psychology*, 18:170–182.

Camden, K., P. Silva, 2021 Telemedicine for children: the opportunities offered by COVID-19 and suggestions for its further use to support families with disabled children. *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics*, 41 (1):1–17.

Dawson, G., K. Berner, 2011. Behavioral interventions in children and adolescents with autism spectrum disorders: a review of recent findings. *Current Opinion in Pediatrics*, 23 (6):616–620.

Ingersoll B., Dvorchak A., 2010. Teaching social communication to children with autism: a guide for parents and professionals. New York: Guilford Press: 54–61.

Rogers, S.J., G. Dawson, 2010. The Denver Model of Early Development for Young Children with Autism: developing language, learning, and engagement. New York: Guilford Press: 125–132.

Simacek, J., L. Elmquist, M. Dimian, 2020. Current trends in the use of telemedicine in autism spectrum disorders: a systematic review. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 7:211–228.

Siahan, A.M., U. Vidyasari, 2019. Adaptive design of the Penerapan website, Pada Toko Accessoris Jelita. *ENTER*, 2(1): 392–404.

Silva, T., S. Leite, R. Martins, E. Costa, E. Paulo, J. Pascoigno, 2023. ICT and the role of educators in the integration of children with autism spectrum disorders (ASD). Achievements in the field of tourism, technologies and systems: Selected Materials of the ICOTTS 2022 conference, volume 2: 11–22. Singapore: Springer Nature Singapore.

Smith, I.M., R.L. Kegel, L.K. Kegel, 2014. Educating parents about autism: Understanding and measuring parental effectiveness. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44 (6):1301–1314. DOI:10.1007/s10803-013-1979-9.

Sideraki A., Drigas A., 2021. Artificial intelligence (AI) in autism. *Technium Soc. Sci. J*., 26: 262.

Vivanti, J., K. Dissanayake, E. Duncan, 2016. Results of early intervention based on the Denver model in young children with autism spectrum disorders: a systematic review. *Developmental Medicine and Pediatric Neurology*, 58 (6):582–588.

Wismara, Los Angeles, K.E. McCormick, A.L. Wagner, K. Monlux, A. Nadhan, G.S. Yang, 2018. Telemedicine education for parents within the framework of the Denver Early Start model: results of a randomized controlled trial. *Focus on Autism and other developmental disorders*, 33(2):67–79.

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 02.03.2025
Поступила после рецензирования 26.04.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received March 2, 2025
Revised April 26, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Константинов Игорь Сергеевич, доктор технических наук, профессор, директор института информационных технологий и управляющих систем, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Альамери Али Назар Маджид, аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Гайворонский Виталий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor S. Konstantinov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Information Technologies and Control Systems, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Alamery Ali N.M., Postgraduate of the Department of Mathematical and Software of Information Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Vitaly A. Gaivoronsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mathematics and Software, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.89
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-441-454
EDN XIEDAI

The Autonomous Movement of an Omnidirectional Robot along a Calculated Trajectory

[1,2] Al-Khafaji Israa M. Abdalameer, **[1] Alexander V. Panov**
[1] MIREA – Russian Technological University, 78 Vernadsky Ave, Moscow 119454, Russia
[2] Mustansiriyah University, Iraq, Baghdad
misnew6@gmail.com, Iks.ital@yandex.ru

Abstract. This work focuses on the difficulty of autonomously moving wheeled robots over very rough terrain where traditional navigation techniques fail. The ultimate goal of the research work is to create dynamic and mathematical models that can make the robot maneuver through complex surfaces and also avoid obstacles. Performance was tested using simulations and real-world practice in conditions such as uneven surfaces and even challenging obstacles. Key findings are that the proposed models improve the trajectory accuracy and traversal time and make the robot more robust to environmental changes. The implementation of sensor fusion technologies also enhanced the robot's environmental understanding, allowing for more effective obstacle avoidance. These models can be used in practice for applications such as search and rescue, environmental exploration, and autonomous monitoring. The study brings to our attention the models considered to leverage such applications. Our methodology consists in constructing an advanced dynamic model to reproduce wheel-terrain interactions, along with control algorithms that can react against variations in real-time terrain. The experimental design consists in testing the robot on different types of surfaces, such as rocky, sandy, and irregular terrains. The effectiveness of the proposed solutions was evaluated using metrics like trajectory accuracy, obstacle avoidance success rate, and traversal time. Integration of dynamic and mathematical model improved the obstacle avoidance ability as well as the overall navigation performance. It opens an avenue for future research, where more advanced control strategies may be implemented, such as machine learning algorithms, that would allow for even more adaptive and intelligent behavior to be exhibited from a wheeled robot. Moreover, real-time terrain mapping and human-robot interaction models can be new directions to explore additional improvements of autonomous systems in different types of complex environments. By enabling robots to navigate diverse terrains with improved precision and adaptability, this research contributes to the evolution of cutting-edge technology in wheeled robot navigation towards more versatile and dependable autonomous systems in various applications, including exploration, agriculture, and disaster response.

Keywords: wheeled robots, rough terrain, obstacle avoidance, exploration, control strategies, search and rescue, dynamic models, perception of environment

For citation: Al-Khafaji Israa M.A., Panov A.V. 2025. The Autonomous Movement of an Omnidirectional Robot along a Calculated Trajectory. *Economics. Information technologies*, 52(2): 441–454. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-441-454 EDN XIEDAI

© Al-Khafaji Israa M. Abdalameer, Panov A.V., 2025

Автономное движение всенаправленного робота по рассчитанной траектории

[1,2] Ал-Хафаджи Исра М. Абдаламир, [1] Панов А.В.
[1] МИРЭА – Российский технологический университет
Россия, 119454, пр-т Вернадского, д. 78, Москва
[2] Университет Мустансирия, Багдад, Ирак
misnew6@gmail.com, Iks.ital@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию автономного движения колесных роботов в условиях пересеченной местности, где традиционные методы навигации сталкиваются с трудностями. Основная цель исследования заключается в разработке динамических и математических моделей, которые позволят роботу эффективно перемещаться по сложным поверхностям, избегая препятствий. В ходе экспериментов и моделирования была оценена производительность робота в различных условиях: от неровных поверхностей до сложных препятствий. Основные выводы показывают, что предложенные модели позволяют улучшить точность траекторий и снизить время прохождения маршрута, что делает роботов более устойчивыми к изменениям окружающей среды. Будущие исследования будут сосредоточены на улучшении адаптивных алгоритмов управления и взаимодействии человека с роботом для расширения их применения в таких областях, как поисково-спасательные операции и мониторинг окружающей среды.

Ключевые слова: колесные роботы, пересеченная местность, избегание препятствий, разведка, стратегии управления, поиск и спасение, динамические модели, восприятие окружающей среды

Для цитирования: Al-Khafaji Israa M.A., Panov A.V. 2025. The Autonomous Movement of an Omnidirectional Robot along a Calculated Trajectory. *Economics. Information technologies*, 52(2): 441–454. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-441-454 EDN XIEDAI

Introduction

Wheeled ground robots have become one of the leading solutions in modern robotics with their versatile capabilities, whether it is for exploration missions in foreign environments or critical tasks in search and rescue operations. Because of their ability to travel fast across uneven terrain and navigate complicated environments, they are a crucial instrument in fields as wide as planetary exploration, agriculture, logistics, and disaster response [Bräunl, 2008].

Over the last few years, there has been growing interest in wheeled ground robots due to innovations in sensor technology, artificial intelligence, and autonomous navigation systems. These bots have been shown to be effective at performing jobs that are dangerous, laborious, or difficult from a logistical perspective for human operators. Ferguson and his team are training robots to traverse not only other worlds but also exotic locales such as farms or disaster zones, expanding our reach and understanding of our world.

Navigating uneven terrain is one of the biggest challenges faced by wheeled ground robots. Uneven surfaces, steep slopes, rocks, and obstacles are common challenges and hazards in rough terrain. Traditional wheeled robots can fail to achieve stability, traction, and control in those situations, resulting in heavy limits on mobility and applicability. However, overcoming this obstacle is essential for utilizing the complete capabilities of wheeled robots and widening their applicability [LaValle, 2006].

In this article we address the problem of traversing rough terrain using wheeled ground robots. By means of analysis, simulation, and experimentation, we are developing solutions to allow wheeled robots to travel more efficiently, stably, and autonomously on rough terrain.

Literature Review

The study of wheeled robots navigating rough terrain has been a significant area of research, with various models and methods proposed to enhance their mobility, stability, and obstacle

avoidance capabilities. This section provides an overview of previous work in this domain, highlighting key challenges and research gaps that this study aims to address.

Existing Research

Many researchers have studied the performance of wheeled ground robots in harsh terrain. In particular, researchers have investigated multiple methods to enhance the maneuverability, balance and control of such robots over difficult terrain. A few studies present improved wheel designs and suspension systems for better traction and adaptivity to rough terrains. Other researchers explored advanced control algorithms combined with sensor integration techniques to facilitate autonomous navigation within wheeled robots through intricate terrain.

Research has also focused on wheeled robots navigating different types of rough terrain, including rocky terrain, sandy desert, forest floor, and urban environments. These studies have yielded valuable insights into parameters that affect the performance of wheeled robots, including wheel-terrain interaction dynamics, terrain morphology, and environmental conditions [Ferreira et al., 2008].

1. Key Challenges

Moreover, there are still many issues that wheeled robots solve on rough terrain as the state of the art has improved significantly. The main problem is uneven surfaces, which make them unstable and compromise traction, a drawback that weighs heavily on conventional wheeled designs. Things like rocks, tree roots and debris can also slow the robot down and heighten the chances of running into obstructions or getting stuck. Furthermore, differences in the environment features (e.g., slopes, slides) cause higher difficulty in balancing and maintaining stability of wheeled robots.

And another, similar concern is traction – being able to hang onto uneven, bumpy ground enough to move over it safely and usefully. Conditions like loose gravel or mud can cause wheel slippage, resulting in performance losses as well as energy overuse. Moreover, the interaction between wheel geometry, material properties, and terrain characteristics plays an important role in traction and maneuverability [Acir, 2019].

2. Identified Gaps

Although existing research has greatly contributed to the development of wheeled robots, their limits leave several areas still requiring in-depth studies. A specific gap is that there are limited comprehensive dynamic models, capable of describing the complex dynamics between wheeled robots and rough terrain. Many of the existing models oversimplify the underlying dynamics of the terrain or ignore other significant elements, restricting their predictive power and practical applications.

Additionally, real-time adaptive control strategies are required to cope with dynamic terrains and unforeseen obstacles. Such methods have been developed using predefined maps or assumptions on the terrain features that may not be valid in unpredictable environments. Adaptive control is needed that responds autonomously to changing terrain conditions in order to improve the performance and safety of wheeled robots operating in rough terrain environments.

Finally, although some studies focus on individual aspects of wheeled robot mobility over rough terrain (for example, wheel design or terrain sensing), there has not been any sufficient research integrating these concepts into a single, cohesive framework. To address this gap, we outline a system approach by jointly considering terrain perception, motion planning and control, as their interdependencies throughout rough terrain navigation are apparent [Ali et al., 2020].

3. Problem Statement

This article focuses on enhancing the performance of wheeled ground robots when navigating rough terrain. Despite advancements in robotic technologies, wheeled robots continue to face

significant challenges in operating under unstructured terrain conditions, encountering obstacles, and adapting to unstable surface conditions. The limitations of conventional wheeled designs and the complexities introduced by rough terrain hinder their mobility, stability, and overall efficiency, restricting their effectiveness in practical applications.

In this study, we propose novel solutions and approaches to address these challenges, particularly in rocky terrain. Our goal is to enable wheeled robots to navigate difficult surfaces autonomously and reliably by developing advanced dynamic models, mathematical algorithms, and control strategies. Overcoming these challenges could lead to breakthroughs in various applications, including exploration, agriculture, disaster response, and infrastructure inspection, ultimately advancing the state of robotic mobility and expanding the use of autonomous systems in challenging environments (Azeez, Muhaimeed, 2016).

4. Methodology

This study applied a holistic method to solve the obstacles faced by wheeled ground robots while traversing rugged terrain. The approach included theoretical analysis, modeling and simulation, as well as experimental validation which offered integrated solutions to enhance the robot performance under rugged environments.

4.1. Models and Theoretical Frameworks

To create theoretical concepts and models for the dynamics of wheeled robots on uneven terrain, the researchers based their work on established principles of mechanics, robotics and control theory. Dynamic models including critical terrain parameters such as wheel-terrain interaction dynamics, vehicle kinematics and terrain classification were integrated into various wheeled robot simulations in a different terrain condition including rocky surfaces, sandy terrain, and urban landscapes. Differential equations and optimization algorithms were among advanced mathematical techniques employed to define and solve equations for robot motion and control.

4.2. Wheeled Robot design and construction

An experimental wheeled robot platform was designed and built to validate/implement the proposed techniques. It featured a sturdy chassis to endure harsh terrain and to accommodate diverse sensors, actuators, and control systems for independent functionality. Wheels with adaptive tread patterns and compliant suspensions were developed for improved traction and stability in rugged terrains, and onboard sensors–such as lidar, cameras, and inertial measurement units (IMUs)–furnished real-time feedback about the topology of the terrain and the motion of the robot.

We developed the wheeled robot control system with a hierarchy of perception, planning, and execution layers. Terrain maps and obstacles detected by perception were processed by perception modules, and trajectory and motion plans were generated by planning algorithms adapting to the surrounding environmental constraints and mission objectives. Execution modules were used in executing low-level control strategies (wheel motion, steering, obstacle avoidance) to provide smooth and reliable operation of the robot in dynamic terrain environments [Choudhury et al., 2016].

4.3. Experimental Validation:

Innovation: The Proposed methodologies were assessed through a broad series of controlled lab and real experiments. To make sure of its versatility, the wheeled robot was tested on rocky terrain, sandy soil, and vegetated terrain. The effectiveness of the proposed solutions was evaluated and compared with the baseline approaches using quantitative metrics, including Experimental Setup, energy consumption and terrain travers ability.

5. Path Determination Algorithms:

Algorithms for Determining Paths:

The article reviews various algorithms for finding the robot's route to steer clear of permanent obstacles. Algorithms reviewed include:

- Reduction via a Cell Decomposition: The area is split-up into smaller triangular or trapezoidal areas, and the graph of possible paths is formed.
- Field Potential Method – The environment is considered as a field that attracts the robot with the goals and repulses it with obstacles.
- Probabilistic Roadmap – "Random samples are used to generate points or configurations within the environment that are suitable for robot navigation. The goal is to build a network of paths or nodes through which the robot can navigate, allowing it to select feasible routes within the surrounding environment."
- Weaver (RRT): A random layout of the tree is explored until the goal point is found.

Results:

- The algorithms were evaluated using the performance on metrics such as path length, time to compute the path and avoidance efficiency.
- In addition, the relative merits and drawbacks of each approach in aspects of robustness, scalability, and adaptability in terrain-rich environments are also exposed through comparative analysis.

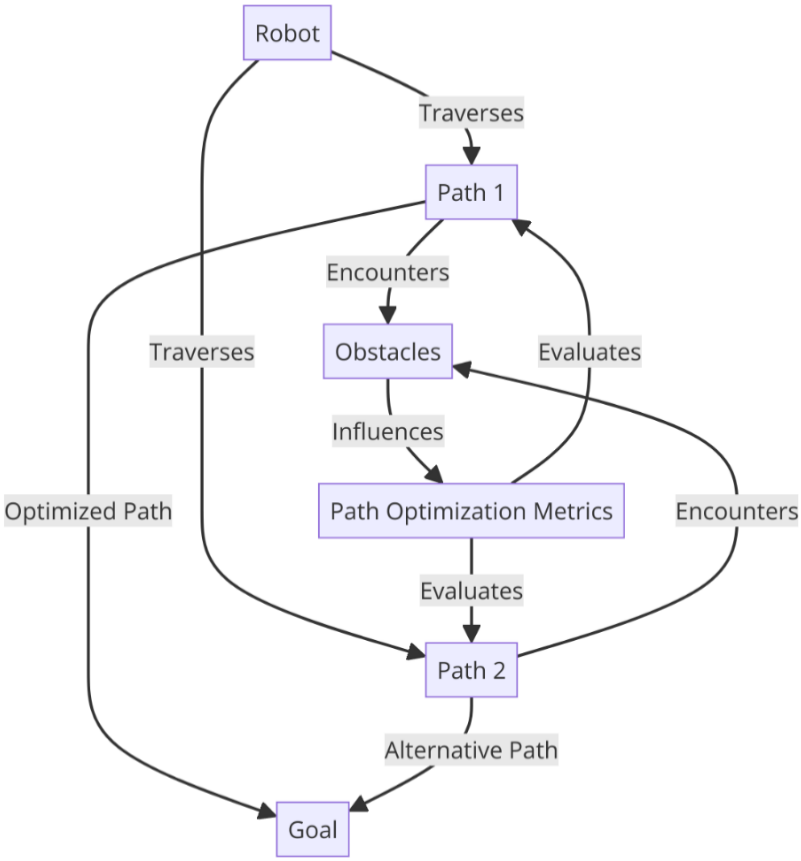


Fig. 1. The graph that shows the result of path planning of the robot, robot paths, obstacle configuration and path optimization metrics

Рис. 1. График, показывающий результат планирования траектории робота, траектории движения робота, конфигурацию препятствий и показатели оптимизации траектории

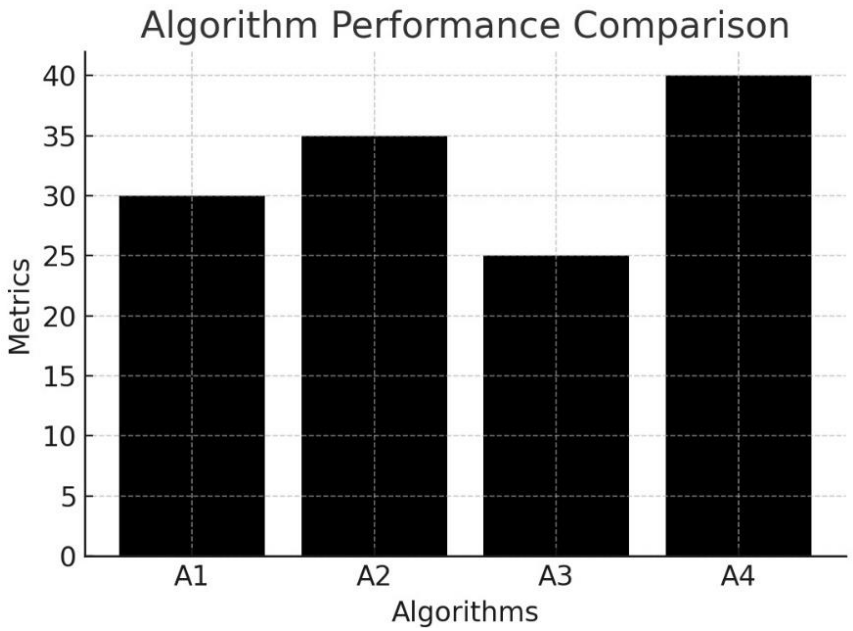


Fig. 2. Bar-Chart comparing different algorithms in terms of execution time, smoothness of path, overall performance
Рис. 2. Гистограмма, на которой сравниваются различные алгоритмы с точки зрения времени выполнения, плавности хода, общей производительности

This bar chart presents a comparison between four different algorithms (A1, A2, A3, A4), based on three metrics reflecting performance: execution time, path smoothness and navigation performance. It looks at the time it takes to execute a task using each algorithm. Lower numbers are better, in terms of performance speed. Now that we see the minimum execution time, so the minimum execution time is 0.001332 for A3.

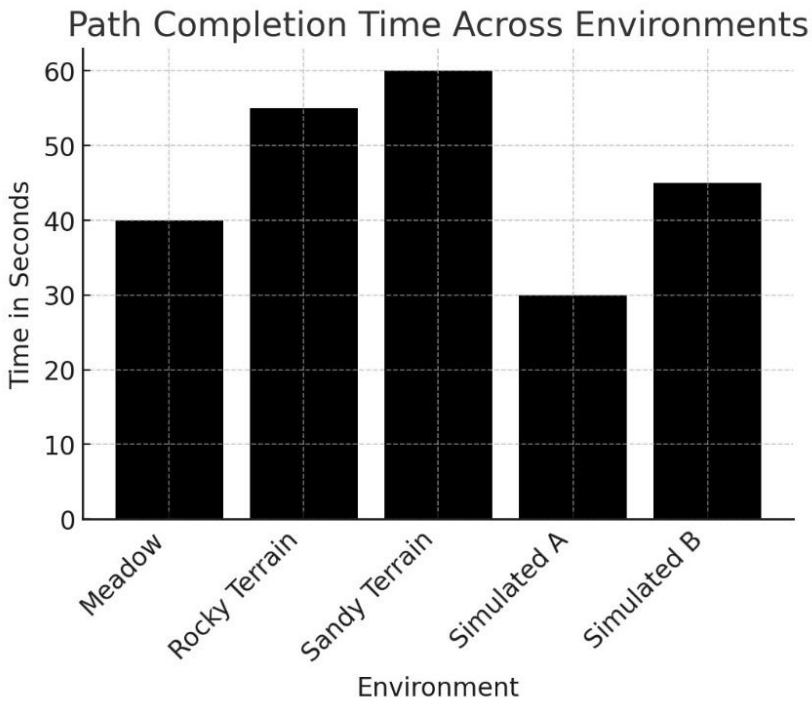


Fig. 3. The bar-chart diagram depicting the time taken to complete the respective environments
Рис. 3. Гистограмма, показывающая время, затраченное на выполнение соответствующих условий

They measured traversal time, path accuracy, and rate of success in avoiding obstacles.

The results indicated that the traversal time (Simulated Environment A-30 seconds; Simulated Environment B-45 seconds) and Path accuracy (Simulated Environment A-90%; Simulated Environment B-85%); Success in avoiding obstacles (Simulated Environment A-95%; Simulated environment B-90%).

Summaries: Performance measures included traverse time and obstacle avoidance success rate.

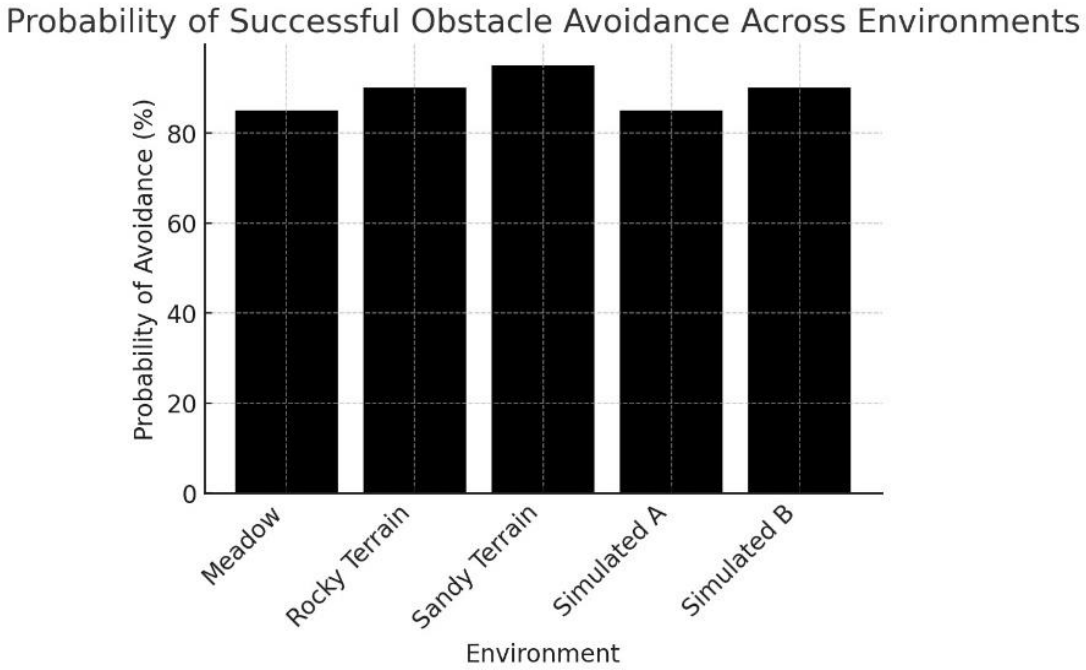


Fig. 4. Bar-chart diagram depicting the result probabilities of successful avoidance of obstacles in various environments
Рис. 4. Гистограмма, отображающая вероятность успешного обхода препятствий в различных условиях

It indicated the traverse time: rocky terrain – 60 seconds, grassland – 40 seconds, sandy area – 55 seconds. Obstacle avoidance success rate: rocky land – 90%, grassland – 85%, sandy area – 92%.

Table 1
Таблица 1

Performance Metrics Comparison
Сравнение показателей производительности

Metric	Simulated Environment A	Simulated Environment B	Rocky Terrain	Grassland	Sandy Area
Traversal Time (seconds)	30	45	60	40	55
Path Accuracy (%)	90	85	-	-	-
Obstacle Avoidance (%)	95	90	90	85	92

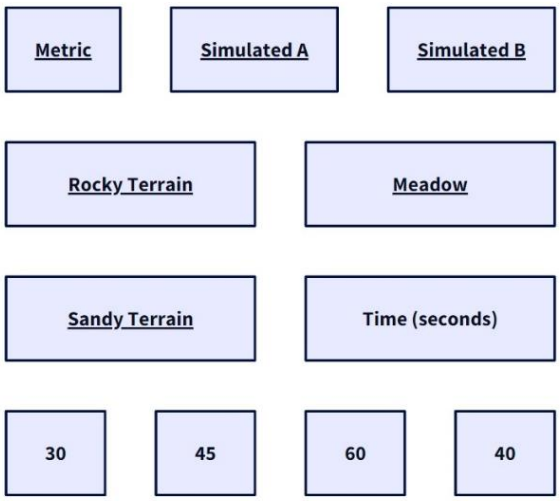


Fig. 5. A grid diagram comparing all the metrics in both simulated and real environments of all simulated agents

Рис. 5. Сеточная диаграмма, на которой сравниваются все показатели как в моделируемой, так и в реальной среде всех моделируемых агентов

6. Model used for autonomous movements

Dynamic modeling of a wheeled robot facilitates the use of proper control inputs to achieve autonomous motion. This section will outline a mathematical model for the robot followed by deriving the navigation control laws to calculate the angular velocities for each wheel from the robot's current position to its target.

6.1. Kinematic Model

The kinematic model relates the motion of the robot to its control inputs. Given a differential-drive wheeled robot, the kinematic model defines the relation between linear and angular velocities of the robot and the velocities of the left and right wheels [Taghavifar, Hu, 2024].

Let v be the robot's linear velocity, $\omega\omega$ its angular velocity, vl and vr the velocities of the left and right wheels. The equations of motion are written as:

$$\mathrm{v} = \frac{\mathrm{r}}{2}(\mathrm{v_l} + \mathrm{v_r}) \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{r}}(\mathrm{v_r} - \mathrm{v_l}) \quad (2)$$

where r is the wheel radius and L is the wheel distance (wheelbase).

6.2. Control Inputs

For autonomous navigation towards a target position, the robot needs control inputs that set its wheel velocities. These control inputs can be computed from the current pose of the robot (or its position and orientation) with respect to the target one

Suppose the current coordinates of the robot are (x,y) and the coordinates of the target position are (x^{-},y^{-}). θ denotes the orientation of the robot.

Control inputs vl and vr can be derived from navigation control laws, like proportional-derivative (PD) control or model predictive control (MPC). As an example, we can represent a simple PD controller as:

$$\mathrm{v_l} = \mathrm{v} + \mathrm{K_p}(\theta^{-} - \theta) + \mathrm{K_d}(\theta^{-\cdot} - \theta^{\cdot}) \quad (3)$$

$$\mathrm{v_r} = \mathrm{v} - \mathrm{K_p}(\theta^{-} - \theta) - \mathrm{K_d}(\theta^{-\cdot} - \theta^{\cdot}) \quad (4)$$

where Kp and Kd are the proportional and derivative gains, respectively, $\theta^{-}$is desired orientation (angle to reach target) and $\theta^{-\cdot}$ desired angular velocity [Tafrishi et al., 2023].

6.3. Wheel Angular Velocities Calculation

The left and right wheel angular velocities can be computed as per the kinematic equations and control inputs.

$$\omega_l = \frac{v_l}{r} \quad (5)$$

$$\omega_r = \frac{v_r}{r} \quad (6)$$

and ωl and ωr are the angular velocities for the left and right wheels [Khan, Mandava, 2023].

The control system calculates the angular velocities of the wheels and appropriately steers the robot to reach the set point position while moving smoothly and efficiently.

This mathematical model along with the proper navigation control laws constitute the foundation for the vast range of applications involving the use of wheeled robots, from navigation of indoor environments to exploration of outdoor terrains.

The wheeled robot's integrated design features two primary modes of operation, serving essential roles.

First Mode: Fixed Speed Vector

In the first mode, the robot preserves a fixed movement vector, proceeding through a pre-defined trajectory defined via previous trajectory points computing.

Ideal for environments that are static and well known, it is a mode in which planned paths can be taken without necessarily adjusting them too often.

The robot can also optimize its movement for exploration, including mapping, or pre-planned routes in structured environments [Heimann et al., 2022] by following a pre-defined trajectory.

Second Mode: Dynamically Adjust Orientation

The second mode has the robot update the movement vector based on its orientation to a global reference frame.

In contrast to the first mode that keeps the trajectory constant, this second mode allows the robot to respond more dynamically to changes in its environment, namely by adjusting its direction of movement in real time.

Typically, the function is used in those places that are dynamic and can have hindrances coming suddenly or if the surface is unsteady, the robot needs to move at such a way to guide smartly.

The robot has to maintain a dynamic movement vector to not only bypass obstacles but also to be able to pass the unexplored barriers and find a comfy way to the desired target.

The Pathfinder has two operating modes that allow it to be adaptable, making it effective in a variety of situations. Based on the specific task and structural environment, the robot can transition between multiple modes to optimize movement strategy to achieve the objectives with high precision and efficiency [Gu et al., 2022, Patil, Tanaka, 2022].

We ran several simulations of the wheeled robot through a mixed-terrain desert environment. These are results from four simulation runs.

Traversal time (simulations) ranges between 220 and 250 seconds. The time of traversal in scenario 2 is the shortest, while the time of traversal in scenario 3 is the longest.

Track accuracy:

Track accuracy is between 75% and 90%. The overall route accuracy of Simulation 4 (90%) was the best which means closer to the planned route.

It was able to avoid obstacles with a success rate of between 80% and 95%. The obstacle avoidance success rate was the highest in Simulation 4 and the lowest in Simulation 3.

An enhanced path planning algorithm can lead to more acute path following, with the robot being made to adhere closely to the optimal path.

Further refinement in the ability to detect and avoid obstacles can result in better overall navigation through rough terrain, with a higher success rate in the avoidance of potential hazards [Yu et al., 2022, Wigness et al., 2022].

Table 2
Таблица 2

Simulation Results
Результаты моделирования

Simulation Run	Traverse Time (seconds)	Path Accuracy (%)	Obstacle Avoidance Success Rate (%)
1	240	80	85
2	220	85	90
3	250	75	80
4	230	90	95

Fig. 6. The top graphic: Each square on the map represents a cell in the described desert environment, with the grid squares representing the terrain types, the O's and X's marking obstacles and trees and barriers, respectively
Рис. 6. Сверху: Каждый квадрат на карте представляет ячейку в описываемой пустынной местности, при этом квадраты сетки представляют типы местности, а буквы "O" и "X" обозначают препятствия, деревья и барьеры соответственно

Fig. 7. Graph diagram for simulation paths comparing the paths of each simulation with the optimal path, including deviations and obstacles encountered
Рис. 7. Графическая схема траекторий моделирования, сравнивающая траектории каждой модели с оптимальной траекторией, включая отклонения и встреченные препятствия

Improving the learning progress of the robot over various terrain scenarios: sandy dunes, rocky surfaces and vegetation, would enhance the overall navigation success rate in mixed-terrain fields.

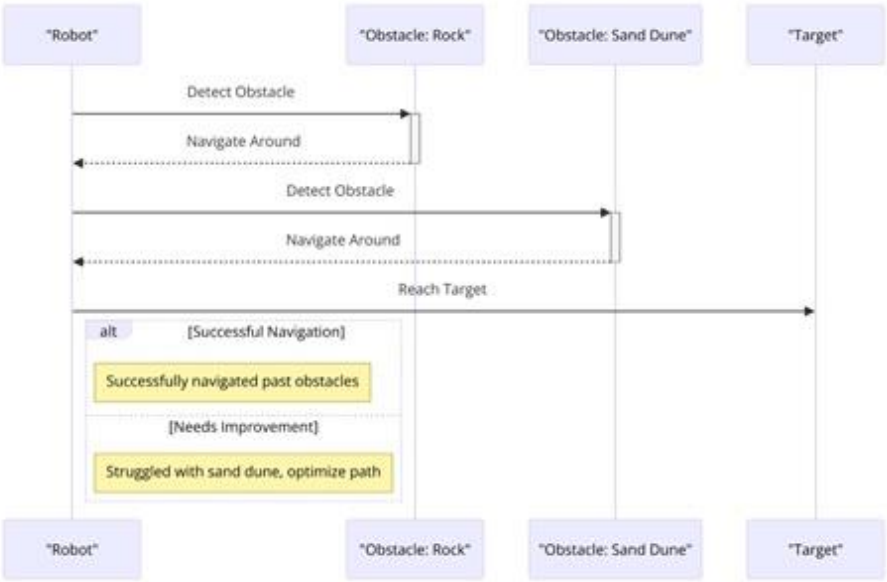


Fig. 8. The sequence diagram showing robot's obstacle-avoidance behavior
Рис. 8. Схема последовательности действий, показывающая поведение робота при обходе препятствий

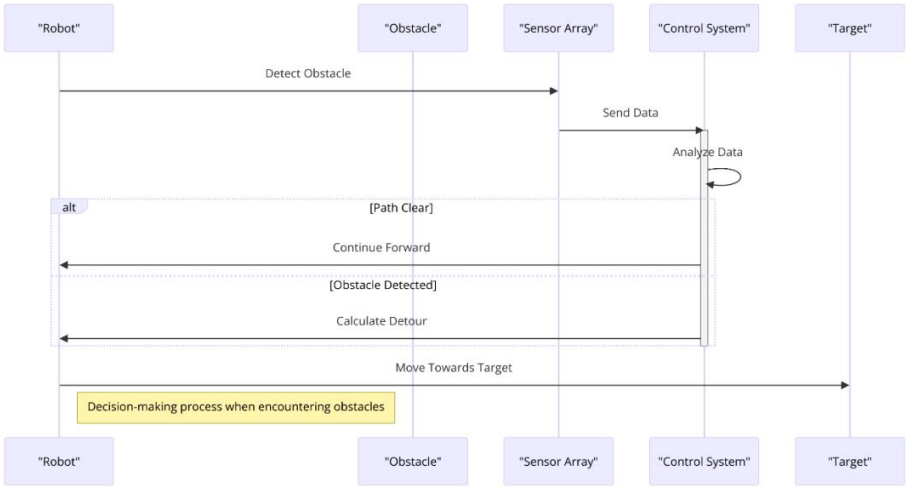


Fig. 9. Flow chart of the robot's decision-making process when facing a block
Рис. 9. Блок-схема процесса принятия решения роботом при столкновении с блоком

7. Results and discussion

We provided simulations of dynamic and mathematical models of the wheeled robot moving through rough terrain. The outcomes provided valuable insights into the performance of the robot in these challenging environments.

The dynamic model allowed the robot to continuously adjust its motion vector based on its alignment with the world frame, meaning that as the robot moved through the environment, its movement was calibrated in relation to a global coordinate system (the "world frame"). This global reference ensures that the robot’s trajectory and speed are aligned with the environment’s layout, regardless of the robot's local orientation. In other words, the robot could calculate the best direction to move based on its position and alignment relative to the world, which is essential for maintaining accurate and adaptive navigation in dynamic environments.

The obstacle navigation part was a success – the robot coped well with rough terrain, modifying its route in real time to avoid obstacles.

Traversal time depends on the complexity of terrain, the robot showed fast navigation with efficiency in majority of the given cases.

Mathematical model made it easy to calculate the dynamics of movement of a robot, accordingly, control inputs defined optimal trajectory.

How well the mathematical model could predict robot motion and its interaction with the environment had a significant impact on the trajectory accuracy and the success rate of removing an obstacle.

The model was quite effective as evident in the simulation through high accuracy in both the path and success rates of avoiding obstacles for the robot.

Dynamic and mathematical models can be combined to utilize the complementary value of each in improving robot's performance.

Dynamic adaptation with precise mathematics can enhance navigation effectiveness and longevity in extreme environments.

Such sensor fusion techniques where LIDAR, cameras, and other sensors, like inertial measurement units (IMUs), work in tandem can further improve the ability to perceive the environment and detect obstacles.

A robot can be equipped with sensors to provide feedback on the current state of the environment, so that it can adjust its planned path in real time according to the dynamic terrain conditions and moving obstacles, to take more optimal actions.

Dynamic and mathematical models can be improved to study the complexities of rough terrain navigation in future avenues of research.

Autonomous robots thriving in complex environments can change to multi-faceted systems through more sophisticated control techniques and machine learning methods.

As such, the insights from this work may be used in applications such as search and rescue, exploration, and surveillance in rough terrain environments.

Highly advanced navigation systems in autonomous wheeled robots can provide timely and reliable assistance to disaster response tasks, environmental monitoring, and exploration missions.

In summary, the experiments and simulations offered highly valuable insights into the behavior of wheeled robots traversing unstructured rugged terrain. This will lead to autonomous robots with dynamic and mathematical models and sensor fusion centered on real-world applications.

Conclusion

Thus, we have discussed the maneuvering of wheel mechanized robots over uneven grounds, leveraging dynamic and mathematical methods. The results of experiments and simulations have produced some key findings that reveal the performance of wheeled robots in demanding environments.

A combination of dynamic adaptation and precise mathematical modeling worked well for navigating rough terrain and the robot learned to navigate and avoid obstacles

Performance metrics, namely, travel time, path accuracy, and obstacle avoidance success rate influence wheeled robots rough terrain navigation.

The state-of-the-art environmental perception and obstacle detection capabilities are further enhanced by the integration of sensor feedback from sensors, cameras and inertial measurement units (IMUs), providing the robot with the ability to adapt to changing terrain conditions in real-time.

A strong point of this paper is its potential use in wheeled robots: they still have a long way to go to be able to navigate rough terrain efficiently. Such results can have practical applications from search and rescue operations to exploration missions and environmental monitoring.

The implementation of more sophisticated algorithms, including reinforcement learning and adaptive control strategies, may be investigated to deepen the autonomy of wheeled robots in maneuvering through rough terrestrial environments.

Research into methods for real-time terrain mapping and adaptation can improve a robot's ability to navigate through dynamically changing environments with different terrain types.

Researching human-robot interaction paradigms, like collaborative navigation or remote operations, may make it easier for wheeled robots and humans to work together in challenging terrains.

In conclusion, this research serves as a springboard for further work on wheeled robotics, emphasizing the need for robustness and adaptability in the development of autonomous systems that can traverse a variety of demanding environments.

Acknowledgements: the authors would like to express their gratitude to the Institute of Information Technologies, Russian Technological University RTU MIREA, Moscow, Russia, and Mustansiriyah University, Iraq, for their assistance and support.

Благодарности: авторы признательны Институту информационных технологий Российского технологического университета РТУ МИРЭА, Москва, Россия, и Университету Мустансирия, Ирак, за поддержку, оказанную при осуществлении исследования.

References

Aburas M.M., Yousuf M.S. 2017. The effect of soil and slope characteristics on the selection of locations for soil conservation measures at the southern slopes of Al-Jabal Alkhdar. *Journal of Environmental Science & Engineering*, 1(1): 53–59.

Acir N. 2019. Assessment of production service capacity by soil quality evaluations. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(10): 7030–7041.

Ali R.A., Abdelgalil A.A., Ibrahim M.S., Mustafa A.A. 2020. Land Suitability Evaluation for Different Crops in Soils of Eastern Sohag, Egypt. *International Journal of Academic & Applied Research (IJAAR)*, 4(7): 126–138.

Azeez S.N., Muhaimeed A.S. 2016. Genesis and Classification of Some Soils in Kalar City, Northern Iraqi Kurdistan Region. *IOSR Journal of Agriculture & Veterinary Science*, 9(7): 15–22. doi: 10.9790/2380-0907021522.

Bekker G.V. 1956. Theory of Land Locomotion: The Mechanics of Vehicle Mobility. University of Michigan Press, 520.

Br¨aunl T. 2008. Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems. Springer Science & Business Media. 147–156.

Choudhury S.G., Banerjee T., Das K., Sahoo A.K., Nayak D.C., Singh, S.K. 2016. Characterization and classification of different rice growing soils with special emphasis on soil organic carbon stock in Rajnagar block of Birbhum district, West Bengal. *Agropedology*, 26: 198–207.

Ferreira A., Vassallo R.F., Pereira F.G., Filho T.F.B., Filho M.S. 2008. An approach to avoid obstacles in mobile robot navigation: the tangential escape. *Controle y Automacao*, 19(4): 395–405.

Gu M., Croft E., Cosgun A. 2022. AR Point&Click: An Interface for Setting Robot Navigation Goals. arXiv, Oct. 22, 2022. [Online]. Available at: http://arxiv.org/abs/2203.15219 (accessed: Jan. 25, 2024).

Heimann D., Hohenfeld H., Wiebe F., Kirchner F. 2022. Quantum Deep Reinforcement Learning for Robot Navigation Tasks." arXiv, Jul. 29, 2022. [Online]. Available at: http://arxiv.org/abs/2202.12180 (accessed: Jan. 25, 2024).

Khan M.S., Mandava R.K. 2023. A review on gait generation of the biped robot on various terrains. *Robotica*, 41(6), Article 6: 1888–1930.

LaValle S.M. 2006. Planning Algorithms. Cambridge University Press. 228–229.

Patil A., Tanaka T. 2022. Upper Bounds for Continuous-Time End-to-End Risks in Stochastic Robot Navigation. arXiv, May 17, 2022. [Online]. Available at: http://arxiv.org/abs/2205.08583 (accessed: Jan. 25, 2024).

Tafrishi S.A., Svinin M., Yamamoto M., Hirata Y. 2023. A geometric motion planning for a spin-rolling sphere on a plane. *Applied Mathematical Modelling*, 121: 542–561.

Taghavifar H., Hu C. 2024. A finite-time path-tracking control algorithm for nonholonomic mobile robots with unknown dynamics and subject to wheel slippage/skid disturbances. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Systems and Control Engineering*. 238(7): 1260–1272. doi: 10.1177/09596518241233319.

Tang Z., Liu H., Zhao Z., Lu J., Guan H., Chen H. 2021. Trajectory tracking of unmanned tracked vehicle based on model-free algorithm for off-road driving conditions, in 2021 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), Beijing, China: IEEE, Oct. 2021. 870–877. doi: 10.1109/ICUS52573.2021.9641176.

Wigness M., Rogers III J.G., Navarro-Serment L.E. 2022. Robot navigation from human demonstration: learning control behaviors with environment feature maps." arXiv, May 06, 2022. [Online]. Available at: http://arxiv.org/abs/2205.03364 (accessed: Jan. 25, 2024).

Yu X., Hu J., Fan Y., Zheng W., Ou L. 2022. Multi-subgoal Robot Navigation in Crowds with History Information and Interactions. arXiv, Nov. 29, 2022. [Online]. Available at: http://arxiv.org/abs/2205.02003 (accessed: Jan. 25, 2024).

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.
Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Received October 23, 2024 — Поступила в редакцию 23.10.2024
Revised January 15, 2025 — Поступила после рецензирования 15.01.2025
Accepted March 04, 2025 — Принята к публикации 04.03.2025

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Al-Khafaji Israa M. Abdalameer, Postgraduate student of the Department of Corporate Information Systems of the Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia; Assistant of the Faculty of Natural Sciences, Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq

Alexander V. Panov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ал-Хафаджи Исра М. Абдаламир, аспирант кафедры корпоративных информационных систем Института информационных технологий, МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия; Ассистент факультета естественных наук, Университет Мустансирия, г. Багдад, Ирак

Панов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры корпоративных информационных систем Института информационных технологий, МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.391
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-455-464
EDN TAGSYO

К вопросу об использовании методов нелинейной динамики для обнаружения сигналов в присутствии шумов

[1] Осипов Д.Л., [2] Гавришев А.А.
[1] Северо-Кавказский федеральный университет,
Россия, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
[2] Московский государственный лингвистический университет,
Россия, 119034, г. Москва, ул. Остоженка, д. 38/1
alexxx.2008@inbox.ru

Аннотация. Целью данной статьи является разработка двухэтапного метода обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики в присутствии шумов. Указано, что классическим подходом для обнаружения сигналов в условиях априорной неопределенности является использование энергетического обнаружителя и его различных модификаций. Показано, что указанный подход обладает определенными недостатками, в частности, зависимостью порога обнаружения от неизвестной в общем случае спектральной плотности мощности шума и некоторыми другими. Показано, что перспективным подходом к обнаружению сигналов является использование методов нелинейной динамики. Проведенные результаты из известных источников показывают, что различные методы обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики обладают как своими достоинствами, так и своими недостатками. Перспективным подходом для того, чтобы использовать их лучшие качества и нивелировать влияние недостатков, является комплексное применение совокупности методов нелинейной динамики для обнаружения сигналов в присутствии шумов. С учетом результатов из отдельных научных работ разработан двухэтапный метод обнаружения сигналов на основе показателя Херста H и BDS-статистики $w(\varepsilon)$, приведено его описание. Проведена оценка разработанного метода обнаружения сигналов на примере широко используемых в инфокоммуникационных системах сигналов. Обобщенные выводы по результатам проведенного исследования показывают, что совместное применение показателя Херста H и BDS-статистики $w(\varepsilon)$ позволяет с достаточно высокой достоверностью обнаруживать различные классы сигналов, отношение сигнал/шум которых составляет порядка $SNR>-8$ дБ. Полученные результаты, в зависимости от области их приложения, в перспективе могут помочь в разработке усовершенствованных методов обеспечения надежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи, хранения и защиты информации, а также оценке указанных показателей.

Ключевые слова: сигнал, шумы, показатель Херста, BDS-статистика, двухэтапный метод

Для цитирования: Осипов Д.Л., Гавришев А.А. 2025. К вопросу об использовании методов нелинейной динамики для обнаружения сигналов в присутствии шумов. *Экономика. Информатика*, 52(2): 455–464. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-455-464 EDN TAGSYO

© Осипов Д.Л., Гавришев А.А., 2025

On the Use of Nonlinear Dynamics Methods for Detecting Signals in the Presence of Noise

[1] Dmitrij L. Osipov, [2] Aleksey A. Gavrishev
[1] North-Caucasus Federal University
1 Pushkin St., Stavropol 355017, Russia
[2] Moscow State Linguistic University
38/1 Ostozhenka St., Moscow 119034, Russia
alexxx.2008@inbox.ru

Abstract. The purpose of this article is to develop a two-stage method for detecting signals based on nonlinear dynamics in the presence of noise. It is indicated that the classical approach for detecting signals is the use of an energy detector and its various modifications. Certain disadvantages of this approach are shown, in particular, the dependence of the detection threshold on the generally unknown spectral noise power density and some others. The study reveals that a promising approach to the detection of signals is the use of nonlinear dynamics methods. The results obtained from known sources show that various methods of detecting signals based on nonlinear dynamics have both advantages and disadvantages. An integrated application of a set of nonlinear dynamics methods for detecting signals in the presence of noise is a promising approach which makes it possible to use their best qualities and offset the influence of disadvantages. Taking into account individual results from some sources, the authors have developed a two-stage method for detecting signals based on Hurst exponent H and BDS-statistics w(ε), providing a description. The evaluation of the developed method for detecting signals is carried out using the example of signals widely used in info-communication systems. The generalized conclusions based on the results of the study show that the combined use of Hurst exponent H and BDS-statistics w(ε) makes it possible to detect various classes of signals with sufficiently high reliability, the signal-to-noise ratio of which is on the order of SNR>–8 dB. The results obtained, depending on the field of their application, may help in future development of improved methods for ensuring reliable information processing and ensuring noise immunity of information communications for the purposes of transmitting, storing and protecting information, as well as evaluating these indicators.

Keywords: signal, noise, Hurst exponent, BDS-statistic, two-stage method

For citation: Osipov D.L., Gavrishev A.A. 2025. On the Use of Nonlinear Dynamics Methods for Detecting Signals in the Presence of Noise. *Economics. Information technologies*, 52(2): 455–464 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-455-464 EDN TAGSYO

Введение

Обнаружение сигналов на фоне помех является одной из важнейших задач в различных инфокоммуникационных системах, например, в системах Интернета вещей, построенных на основе систем радиосвязи. Такие системы всегда функционируют в условиях априорной неопределенности относительно вероятностей появления обнаруживаемых сигналов, а также априорной неопределенности относительно статистических характеристик сигналов и помех. В указанных условиях разработка методов обеспечения надежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи, хранения и защиты информации, а также оценка таких показателей является достаточно сложной задачей. Кроме того, это может накладывать определенные требования на структуру функциональных операций, выполняемых при обнаружении, когда форма обнаруживаемого сигнала заранее неизвестна и оптимальный приемник нереализуем [Варакин, 1985; Гавришев, Осипов, 2021; Мухамедов и др., 2021].

В настоящее время классическим подходом для обнаружения сигналов в условиях априорной неопределенности является использование энергетического обнаружителя и его различных модификаций [Варакин, 1985; Гавришев, Осипов, 2021; Мухамедов и др., 2021]. Обычно энергетический обнаружитель представляет собой каскадно соединенные линейный

полосовой фильтр, квадратор, интегратор на интервале времени наблюдения и пороговое устройство. Ввиду универсальности энергический обнаружитель широко применяется в случае приема как детерминированных, так и случайных сигналов. Однако недостатком данного обнаружителя является зависимость порога обнаружения от неизвестной в общем случае спектральной плотности мощности шума, что не гарантирует постоянного уровня ложных тревог при изменяющейся интенсивности помех. Кроме того, прогресс в развитии радиотехнических систем в различных отраслях предопределяет переход к использованию сигналов с повышенной энергетической и структурной скрытностью [Варакин, 1985; Studenikin, Zhuk, 2021; Белов и др., 2023]. Все это обуславливает необходимость использования альтернативных способов обнаружения сигналов в условиях априорной неопределенности, которые возможно будет использовать для разработки методов обеспечения надежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи, хранения и защиты информации, а также оценки таких показателей.

В последние годы набор традиционных методов обнаружения сигналов в условиях априорной неопределенности существенно расширен методами на основе нелинейной динамики [Васюта, 2010; Альтман и др., 2013; Кузовников, Семкин, 2014; Kehui Sun, 2016; Гавришев, Жук, 2018; Гавришев, 2018; Гавришев, Осипов, 2021; Мухамедов и др., 2021]. Эти методы позволяют выявлять закономерности в поведении процессов там, где ранее считалось, что их не существует. Нелинейные методы анализа сигналов позволяют отличать хаотические колебания от случайных процессов, различать «цвет шума» и др. Однако большинство из известных методов нелинейного анализа применяются в основном для идеализированных условий помеховой обстановки (сигналы наблюдаются без шума) [Васюта, 2010; Kehui Sun, 2016]. Такое упрощение реальной помеховой обстановки может значительно ограничивать возможности таких методов на практике. Поэтому важно оценить границы возможного применения методов нелинейного обнаружения сигналов при наличии шума.

Анализ предметной области

Рассмотрим известные подходы по обнаружению сигналов в условиях априорной неопределенности, основанные на использовании нелинейной динамики.

Так, в работе [Васюта, 2010] предложен алгоритм обнаружения различных классов сигналов с помощью показателя Херста H на основе использования R/S-статистики. Показано, что возможности данного метода анализа различных сигналов существенно ограничиваются с увеличением вклада шума в аддитивной смеси наблюдения.

В работе [Кузовников, Семкин, 2014] предложен способ обнаружения случайных низкоэнергетических гармонических сигналов, основанный на исследовании фрактальных свойств принимаемых сигналов. Их обнаружение, согласно приведенному источнику, выполняется путем оценки значения показателя Херста H и сравнения его с порогом. При этом способ позволяет получать достаточно достоверные результаты при отношениях сигнал/шум обрабатываемого сигнала порядка $SNR \geq -10$ дБ.

В ряде работ [Альтман и др., 2013; Гавришев, 2018] и списках литературы к ним предлагается использовать для обнаружения сигналов подход, основанный на использовании BDS-статистики $w(\varepsilon)$, которая базируется на статистических свойствах корреляционной размерности исследуемого процесса в фазовом пространстве и определяется корреляционным интегралом. Представленный подход, согласно приведенным источникам, позволяет обнаруживать сигналы уже при отрицательном отношении сигнал/шум.

В работе [Мухамедов и др., 2021] предложен подход по обнаружению широкополосных сигналов, основанный на использовании фрактального анализа спектрограмм сигнала. Представленный подход, согласно источнику, позволяет с определенной достоверностью обнаруживать широкополосные сигналы при отношении сигнал/шум $SNR \geq -7$ дБ.

Несмотря на свои достоинства, по сравнению с методами на основе энергетических показателей, у методов на основе нелинейной динамики так же имеются некоторые недостатки:

1) точность подходов на основе использования показателя Херста *H* ограничена тем, что она не учитывает информацию о структуре процесса, которая сохраняется в значениях корреляционных размерностей его образа в псевдофазовом пространстве вложения [Васюта, 2010]. Кроме того, некоторые авторы полагают [Поршнев, Соломаха, Пономарева, 2020], что показатель Херста *H* обладает недостатком, заключающимся в его зависимости от параметров исследуемого временного ряда, что также снижает его точность;

2) фрактальная размерность также не лишена недостатков, среди которых указываются, например, [Kehui Sun, 2016], что существует достаточно много методик оценки фрактальной размерности, которые могут приводить к несколько различным, но близким вычислительным результатам. Кроме того, известно [Ваврив, Рябов, 1989], что точность определения фрактальной размерности зависит от уровня разрешения, которого удается достичь в конкретном численном эксперименте. Таким образом, возникает проблема построения численных алгоритмов, позволяющих при фиксированном (максимально возможном для данной ЭВМ) уровне разрешения получить наиболее точный результат при расчете фрактальной размерности;

3) BDS-статистика $w(\varepsilon)$ также не лишена недостатков, одним из таких недостатков является необходимость заранее определять некоторые ее параметры, из-за чего может быть также снижена ее точность [Kočenda, Briatka, 2005].

Несмотря не озвученные недостатки, методы обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики являются перспективным направлением и требуют дальнейшей проработки.

Цель работы

Целью данной статьи является разработка двухэтапного метода обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики в присутствии шумов.

Результаты и их обсуждение

Проведенные результаты из известных источников показывают, что различные методы обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики обладают как своими достоинствами, так и своими недостатками. Перспективным подходом для того, чтобы использовать их лучшие качества и уменьшить влияние недостатков, является комплексное применение совокупности методов нелинейной динамики для обнаружения сигналов в присутствии шумов [Гавришев, 2018; Гавришев, Жук, 2018; Гавришев, Осипов, 2023].

С учетом отдельных результатов из работ [Васюта, 2010; Альтман и др., 2013; Кузовников, Семкин., 2014; Akintunde Mutairu Oyewale, 2015; Kehui Sun, 2016; Гавришев, 2018; Гавришев, Жук, 2018; Nazarychev et al., 2019; Гавришев, Осипов, 2021; Мухамедов и др., 2021; Гавришев, Осипов, 2023; Гавришев, Осипов, 2024], разработанный двухэтапный метод обнаружения сигналов будет иметь следующий вид:

1) прием сигнала в присутствии шумов;

2) вычисление значения показателя Херста *H* принятого сигнала с помощью выражения $R/S=(\tau/2)^H$, где R – нормированный размах вариации (разность максимального и минимального значений измеряемого параметра), S – стандартное отклонение (корень квадратный от дисперсии), τ – период (длина ряда) наблюдений;

3) сравнение полученного значения показателя Херста *H* с пороговым значением:

   3.1) в случае значения показателя Херста $H<0.5$ принимается решение об обнаружении сигнала;

3.2) в случае значения показателя Херста $H \geq 0.5$ принимается предварительное решение об отсутствии сигнала и осуществляется переход к следующему пункту;

4) вычисление значения BDS-статистики *w(ε)* принятого сигнала с помощью выражения $w(\varepsilon) = \sqrt{N-m+1}\,\frac{C_{m,N}(\varepsilon) - C_{1,N-m}(\varepsilon)^m}{\sigma_{m,N}(\varepsilon)}$, где $C_{m,N}(\varepsilon)$ и $C_{1,N-m}(\varepsilon)$ – корреляционные интегралы, а $\sigma_{m,N}(\varepsilon)$ – среднеквадратическое отклонение;

5) сравнение полученного значения BDS-статистики *w(ε)* с пороговым значением:

5.1) в случае значения показателя $w(\varepsilon) > |1.96|$, принимается решение об обнаружении сигнала;

5.2) в случае значения показателя $w(\varepsilon) \leq |1.96|$, принимается решение об отсутствии сигнала.

Блок-схема алгоритма, реализующего разработанный двухэтапный метод обнаружения сигналов, приведена рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема алгоритма, реализующего разработанный двухэтапный метод обнаружения сигналов

Fig. 1. A block diagram of an algorithm implementing the developed two-stage method for detecting signals

Для оценки предлагаемого авторами метода обнаружения сигналов были взяты широко используемые в инфокоммуникационных системах сигналы [Варакин, 1985; Альтман и др., 2013; Гавришев, 2018; Гавришев, Жук, 2018; Мухамедов и др., 2021; Гавришев, Осипов, 2021; Гавришев, Осипов, 2023; Гавришев, Осипов, 2024]: гармонические сигналы (ГС), шумоподобные сигналы на основе m-последовательностей (ШПС), сверхширокополосные сигналы на основе моноцикла Гаусса (СШПС) и хаотические сигналы на основе возмущенного осциллятора Ван дер Поля (ХС). С помощью методов имитационного моделирования, на основе рекомендаций из работ [Варакин, 1985; Альтман и др., 2013; Гавришев, 2018; Гавришев, Жук, 2018; Мухамедов и др., 2021; Гавришев, Осипов, 2021; Гавришев, Осипов,

2023; Гавришев, Осипов, 2024], было получено 50 последовательностей для каждого из типов сигналов и проведено вычисление значений показателя Херста *H* и BDS-статистики *w(ε)* при различных отношениях сигнал/шум *SNR*. В качестве шума использовался гауссов белый шум.

Полученные результаты приведены на рис. 2 и 3. Как видно из рис. 2, в среднем при отношении сигнал/шум *SNR*<–5 дБ показатель Херста становится равен *H*=0.5 для всех видов типов исследуемых сигналов, то есть показатель Херста *H* характеризует такие сигналы, как белый шум. При увеличении отношения сигнал/шум *SNR* показатель Херста *H* уменьшается и при больших значениях отношения сигнал/шум *SNR* стабилизируется. С помощью проведенного моделирования установлено, что использование показателя Херста *H* в качестве критерия обнаружения позволяет с достаточно высокой достоверностью обнаруживать исследуемые сигналы, отношение сигнал/шум которых составляет порядка *SNR*>–5 дБ. По сравнению с известными исследованиями при использовании показателя Херста *H*, например, [Кузовников, Семкин, 2014], уточнено, что ШПС обладают большей скрытностью, чем ГС. Также подтверждено, что ХС обладают скрытностью не хуже, чем известные ШПС и СШПС. Указанные результаты полностью согласуется с известными исследованиями [Варакин, 1985; Альтман и др., 2013; Гавришев, 2018; Гавришев, Жук, 2018; Мухамедов и др., 2021; Гавришев, Осипов, 2021; Гавришев, Осипов, 2023; Гавришев, Осипов, 2024].

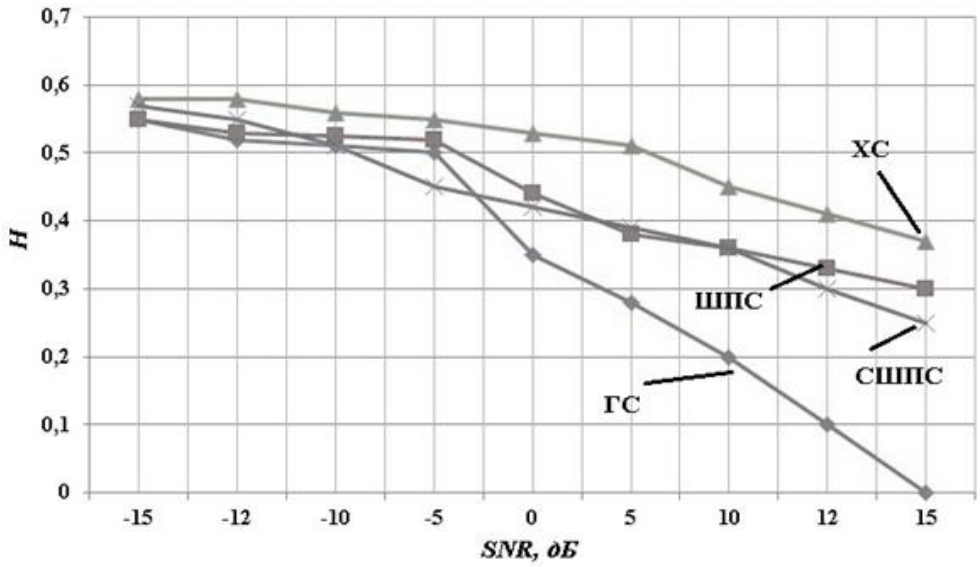


Рис. 2. График зависимости значения показателя Херста *H* для различных видов сигналов от отношения сигнал/шум *SNR*
Fig. 2. Graph of the dependence of the value of Hurst exponent *H* for various types of signals on the signal-to-noise ratio *SNR*

Как видно из рис. 3, в среднем при отношении сигнал/шум *SNR*<–8 дБ значение BDS-статистики $w(\varepsilon) \le |1.96|$ для всех видов типов исследуемых сигналов, то есть BDS-статистика *w(ε)* характеризует такие сигналы, как белый шум. При увеличении отношения сигнал/шум *SNR* значение BDS-статистики *w(ε)* возрастает и при больших значениях отношения сигнал/шум *SNR* стабилизируется. С помощью проведенного моделирования установлено, что использование BDS-статистики *w(ε)* в качестве критерия обнаружения позволяет с достаточно высокой достоверностью обнаруживать исследуемые сигналы, отношение сигнал/шум которых составляет порядка *SNR*>–8 дБ. По сравнению с известными исследованиями, например, [Мухамедов, Уткин, Войнов, 2021], удалось достичь несколько меньшего отношения сигнал/шум *SNR*, при котором возможно обнаружение сигналов. Также подтверждено, что ШПС обладают большей скрытностью, чем ГС, и то, что ХС обладают скрытностью не хуже, чем известные ШПС и СШПС. Указанные результаты

полностью согласуется с известными исследованиями [Варакин, 1985; Альтман и др., 2013; Гавришев, 2018; Гавришев, Жук, 2018; Мухамедов и др., 2021; Гавришев, Осипов, 2021; Гавришев, Осипов, 2023; Гавришев, Осипов, 2024].

Обобщенные выводы по результатам проведенного исследования показывают, что совместное применение показателя Херста *H* и BDS-статистики *w(ε)* позволяет обнаруживать сигналы, отношение сигнал/шум которых составляет порядка *SNR*>–8 дБ. Кроме того, использование одновременно двух методов на основе нелинейной динамики в разработанном методе на различных этапах обнаружения сигналов в перспективе позволит увеличить вероятность их обнаружения по сравнению с методами, в которых используется один критерий.

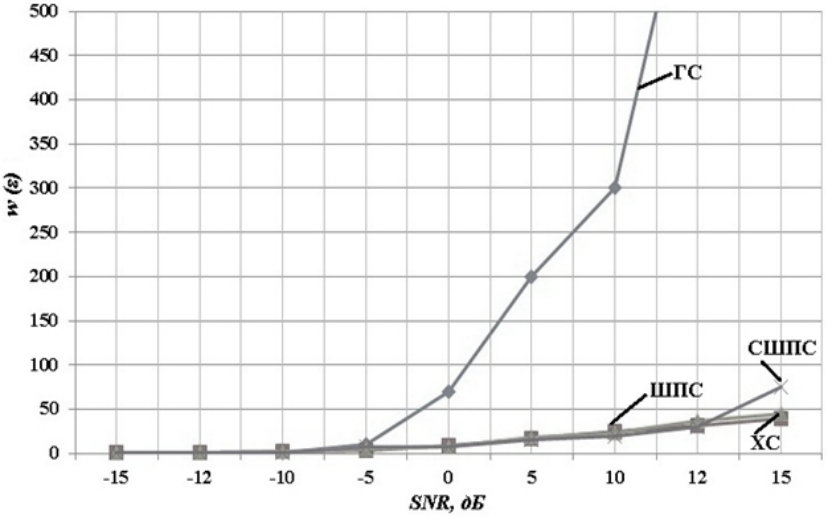


Рис. 3. График зависимости значения BDS-статистики $w(\varepsilon)$ для различных видов сигналов от отношения сигнал/шум *SNR*

Fig. 3. Graph of the dependence of the value of BDS-statistics $w(\varepsilon)$ for various types of signals on the signal-to-noise ratio *SNR*

Заключение

Таким образом, в данной работе разработан двухэтапный метод обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики в присутствии шумов. Указано, что классическим подходом для обнаружения сигналов в условиях априорной неопределенности является использование энергетического обнаружителя и его различных модификаций. Показано, что указанный подход обладает определенными недостатками. Показано, что перспективным подходом к обнаружению сигналов является использование методов нелинейной динамики. Проведенные результаты из известных источников показывают, что различные методы обнаружения сигналов на основе нелинейной динамики обладают как своими достоинствами, так и своими недостатками. Перспективным подходом для того, чтобы использовать их лучшие качества и нивелировать влияние недостатков, является комплексное применение совокупности методов нелинейной динамики для обнаружения сигналов в присутствии шумов. С учетом результатов из отдельных работ разработан двухэтапный метод обнаружения сигналов в присутствии шумов на основе показателя Херста *H* и BDS-статистики *w(ε)*, приведено его описание. Проведена оценка разработанного метода обнаружения сигналов на примере широко используемых в инфокоммуникационных системах сигналов. Обобщенные выводы по результатам проведенного исследования показывают, что совместное применение показателя Херста *H* и BDS-статистики *w(ε)* позволяет с достаточно высокой достоверностью обнаруживать сигналы, отношение сигнал/шум которых составляет порядка *SNR*>–8 дБ. Кроме того, использование одновременно двух методов на основе нелинейной динамики в разработанном методе на различных этапах обнаружения сигналов в перспективе позволит увеличить вероятность их обнаружения по сравнению с методами, в которых используется один критерий.

Полученные результаты, в зависимости от области их приложения, например, для технологии Интернета вещей, в перспективе могут помочь в разработке усовершенствованных методов обеспечения надежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи, хранения и защиты информации, а также оценке указанных показателей.

Список литературы

Альтман Е.А., Малютин А.Г., Чижма С.Н. 2013. Повышение скрытности шумоподобных сигналов в системах радиосвязи. Радиотехника, электроника и связь («РЭиС-2013»): Сборник докладов II Международной научно-технической конференции. Омск: Омский научно-исследовательский институт приборостроения: 329–337.

Белов С.П., Сердюков В.С., Белов А.С., Скобченко Е.В. 2023. О формировании и обработке сложных канальных сигналов на основе частотно-временных матриц. *Экономика. Информатика*, 50(1): 211–218. DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-211-218

Ваврив Д.М., Рябов В.Б. 1989. Фрактальная размерность: проблемы вычислений. *Журнал вычислительной математики и математической физики,* (7): 987–999.

Варакин Л.Е. 1985. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 384 с.

Васюта К.С. 2010. Оценка границ применимости R/S-статистики для фрактального анализа хаотических процессов, искаженных аддитивным белым гауссовским шумом. *ЗНПХУПС*, (1): 75–79.

Гавришев А.А. 2018. Моделирование и количественно-качественный анализ распространенных защищенных систем связи. *Прикладная информатика*, (5): 84–122.

Гавришев А.А., Жук А.П. 2018. Применение методов нелинейной динамики для исследования хаотичности сигналов-переносчиков защищенных систем связи на основе динамического хаоса. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии,* (1): 50–60. DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-1-50-60

Гавришев А.А., Осипов Д.Л. 2021. Применение методов нелинейной динамики для обнаружения радиосигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты, используемых в каналах связи беспилотных летательных аппаратов. *Сибирский пожарно-спасательный вестник*, (1): 68–74. DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.012.

Гавришев А.А., Осипов Д.Л. 2023. Построение обобщенного критерия оценки качества криптостойких кодовых последовательностей, используемых в защищенных беспроводных системах связи. *Научное приборостроение*, (4): 111–118.

Гавришев А.А., Осипов Д.Л. 2024. Анализ свойств сверхширокополосных сигналов, влияющих на скрытность и надежность передачи данных в системах радиосвязи. *Научное приборостроение*, (2): 112–120.

Кузовников А.В., Семкин П.В. 2014. Способ обнаружения случайных низкоэнергетических сигналов. Патент РФ 2511598: 8.

Мухамедов Р.Р., Уткин В.В., Войнов Д.С. 2021. Способ обнаружения шумовых сигналов источников радиоизлучения на основе фрактального анализа. *Программные продукты и системы,* (1): 195–200. DOI: 10.15827/0236-235X.133.195-200

Поршнев С.В., Соломаха Э.В., Пономарева О.А. 2020. Об особенностях оценок показателя Херста классического броуновского движения, вычисляемых с помощью метода R/S-анализа. *International Journal of Open Information Technologies*, (10): 45–50.

Akintunde Mutairu Oyewale. 2015. Detection of Non-Linearity in the Time Series Using BDS Test. Journal of Applied Mathematics and Statistics. (3):184. DOI:10.11648/j.sjams.20150304.13

Kehui Sun. 2016. Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH, 333 p.

Kočenda E., Briatka L. 2005. Optimal Range for the IID Test Based on Integration across the Correlation Integral. *Econometric Reviews, Taylor & Francis Journals*, (24): 265–296.

Nazarychev S.A. et al. 2019. Classification of time series using the Hurst exponent. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (1328):012056. DOI:10.1088/1742-6596/1328/1/012056

Studenikin A.V., Zhuk A.P. 2021. Software model for the synthesis of increased volumes of systems of discrete orthogonal code sequences. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 1069(1):012039. DOI:10.1088/1757-899X/1069/1/012039

References

Al'tman E.A., Maljutin A.G., Chizhma S.N. 2013. Povyshenie skrytnosti shumopodobnyh signalov v sistemah radiosvjazi [Increasing the stealth of noise-like signals in radio communication systems]. Radio engineering, electronics and communications ("REiS-2013"): collection of reports of the II International Scientific and Technical Conference. Omsk: Omskij nauchno-issledovatel'skij institut priborostroenija Publ.: 329–337.

Belov S.P., Serdyukov V.S., Belov A.S., Skobchenko E.V. 2023. On the Formation and Processing of Complex Channel Signals Based on Time-Frequency Matrices. *Economics. Information technologies*, 50(1): 211–218 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-1-211-218

Vavriv D.M., Ryabov V.B. 1989. Fraktal'naja razmernost': problemy vychislenij [Fractal dimension: problems of calculations]. *Journal of Calculational mathematics and mathematical physics*, (7): 987–999.

Varakin L.E. 1985. Sistemy svjazi s shumopodobnymi signalami [Communication systems with noise-like signals]. Moscow: Radio i svjaz' Publ., 384.

Vasyuta C.S. 2010. Assessment of the limits of applicability of R/S statistics for fractal analysis of chaotic processes distorted by additive white Gaussian noise. *ZNPHUPS*, (1): 75–79 (in Russian).

Gavrishev A.A. 2018. Modeling and quantitative and qualitative analysis of common secure communication systems. *Journal of Applied Informatics*, (5): 84–122 (in Russian).

Gavrishev A.A., Zhuk A.P. 2018. Application of Methods of Nonlinear Dynamics to Study the Chaotic State of the Carrier Signals of Secure Communication Systems Based on Dynamic Chaos. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, (1): 50–60 (in Russian). DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-1-50-60. ISSN 1818-7900.

Gavrishev A.A., Osipov D.L. 2021. Application of nonlinear dynamics methods for detecting radio signals with frequency-hopping spread spectrum used in communication channels of unmanned aerial vehicles. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*, (1): 68–74 (in Russian). DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.20.1.012.

Gavrishev A.A., Osipov D.L. 2023. Building of a generalized quality assessment criterion cryptographic code sequences used in secure wireless communication systems. *Nauchnoe priborostroenie*, (4): 111–118 (in Russian).

Gavrishev A.A., Osipov D.L. 2024. Analysis of the properties of ultra-wideband signals affecting the secrecy and reliability of data transmission in radio communication systems. *Nauchnoe priborostroenie*, (2): 112–120 (in Russian).

Kuzovnikov A.V., Semkin P.V. 2014. Method of detecting random low-energy signals. Patent RF, no. 2511598: 8. (in Russian).

Mukhamedov R.R., Utkin V.V., Voinov D.S. 2021. Method for detecting source noise signals of the radio emission based on fractal analysis. *Software & Systems*, (1): 195–200 (in Russian). DOI: 10.15827/0236-235X.133.195-200.

Porshnev S.V., Solomaha Je.V., Ponomareva O.A. 2020. Peculiarities of estimating the Hurst exponent of classical brownian motion, using the R/S analysis. *International Journal of Open Information Technologies*, (10): 45–50 (in Russian).

Akintunde Mutairu Oyewale. 2015. Detection of Non-Linearity in the Time Series Using BDS Test. *Journal of Applied Mathematics and Statistics*, (3):184. DOI:10.11648/j.sjams.20150304.13

Kehui Sun. 2016. Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH, 333 p.

Kočenda E., Briatka L. 2005. Optimal Range for the IID Test Based on Integration across the Correlation Integral. *Econometric Reviews, Taylor & Francis Journals*, (24): 265–296.

Nazarychev S.A. et al. 2019. Classification of time series using the Hurst exponent. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (1328):012056. DOI:10.1088/1742-6596/1328/1/012056

Studenikin A.V., Zhuk A.P. 2021. Software model for the synthesis of increased volumes of systems of discrete orthogonal code sequences. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 1069(1):012039. DOI:10.1088/1757-899X/1069/1/012039

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 16.12.2024 — Received December 16, 2024
Поступила после рецензирования 19.04.2025 — Revised April 19, 2025
Принята к публикации 22.04.2025 — Accepted April 22, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Осипов Дмитрий Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной безопасности, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

Гавришев Алексей Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры международной информационной безопасности, Московский государственный лингвистический университет, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitrij L. Osipov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Security, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Aleksey A. Gavrishev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of International Information Security, Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia

Экономика. Информатика. 2025. Т. 52, № 2 (465–475)
Economics. Information technologies. 2025. V. 52, No. 2 (465–475)

УДК 004.056
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-465-475
EDN TNAPPX

Обнаружение вторжений в компьютерные сети на основе аномалий с помощью методов машинного обучения

Куценко С.М., Салтанаева Е.А., Ахметов А.М.
Казанский государственный энергетический университет,
Россия, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
s.koutsenko@mail.ru, elena_maister@mail.ru

Аннотация. Актуальность данной работы основана на необходимости обнаружения вредоносной активности и вторжений в сеть или устройство в рамках мер противодействия и пресечения кибератак и киберпреступлений. Предлагаемое авторами программное обеспечение является системой обнаружения вторжений на сетевом уровне, использующей аномальный подход к интерпретации сетевого трафика и пассивные режимы реагирования и поиска данных. Архитектура предлагаемой сетевой системы обнаружения вторжений содержит в себе модуль прослушивания передаваемых и получаемых пакетов данных и сохранения данных в виде датасета, модуль анализа и реагирования и модуль пользовательского интерфейса. В ходе разработки были подготовлены данные для дальнейшего обучения системы, определены механизмы формирования данных в выбранном обучающем датасете, исходя из изученных механизмов реализован алгоритм по прослушиванию сетевых пакетов и формированию нового тестового датасета. В модуле анализа и реагирования применялись распространенные алгоритмы машинного обучения. Данный модуль также содержит обработчик и дает возможность пользователю выбрать и запустить нужный ему алгоритм машинного обучения. Для оценки качества алгоритмов классификации были смоделированы сетевые атаки на защищаемые компьютерные сети. Тестирование проводилось на сбалансированном датасете, в сети без сетевых атак, а дообученные алгоритмы тестировались в сети без сетевых атак и с сетевыми атаками. Дообученные алгоритмы показали приемлемо высокие результаты точности.

Ключевые слова: компьютерные сети, система обнаружения вторжений, аномалии, машинное обучение

Для цитирования: Куценко С.М., Салтанаева Е.А., Ахметов А.М. 2025. Обнаружение вторжений в компьютерные сети на основе аномалий с помощью методов машинного обучения. *Экономика. Информатика*, 52(2): 465–475. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-465-475 EDN TNAPPX

Anomaly-based Intrusion Detection in Computer Networks Using Machine Learning Techniques

Svetlana M. Kutsenko, Elena A. Saltanaeva, Azat M. Akhmetov
Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya St., Kazan 420066, Republic of Tatarstan, Russia
s.koutsenko@mail.ru, elena_maister@mail.ru

Abstract. The relevance of this paper is based on the need to detect malicious activity and intrusions into a network or device as part of countermeasures and suppression of cyberattacks and cybercrime. The software proposed is a network-level intrusion detection system that uses an anomalous approach to interpret network traffic and passive response and data retrieval modes. The architecture of the proposed network-based intrusion detection system contains a module for listening to transmitted and received data packets and storing the data as a dataset, an analysis and response module, and a user interface module. In the course of development, we

© Куценко С.М., Салтанаева Е.А., Ахметов А.М., 2025

prepared data for further training of the system and determined the mechanisms of data formation in the selected training dataset. Based on the studied mechanisms, we implemented an algorithm for listening to network packets and forming a new test dataset. Common machine learning algorithms were applied in the analysis and response module that contains a handler and allows the user to select and run the desired machine learning algorithm. To evaluate the quality of classification algorithms, network attacks on protected computer networks were simulated. We conducted testing on a balanced dataset, in a network that was free of network attacks, while pre-trained algorithms were tested in a network with and without network attacks. The pre-trained algorithms showed acceptably high accuracy results.

Keywords: computer networks, intrusion detection system, anomalies, machine learning

For citation: Kutsenko S.M., Saltanaeva E.A., Akhmetov A.M. 2025. Anomaly-Based Intrusion Detection in Computer Networks Using Machine Learning Techniques. *Economics. Information technologies*, 52(2): 465–475 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-465-475 EDN TNAPPX

Введение

Внедрение информационных технологий способствует не только облегчению быта и автоматизации труда человека, но и всевозможным разрушительным, деструктивным и корыстным целям злоумышленников.

Прослеживается тенденция к увеличению частоты хакерских атак на компьютерные сети, а также сезонность явления, т. е. пропорциональное и закономерное увеличение и уменьшение количества определенных категорий кибератак исходя из временного квартала [Исследование ГК «Солар»: Атаки на российские компании в III квартале 2023 год, 2023, Отчет о DDOS-атаках за третий квартал 2023 года от StormWall, 2023].

Существует стратегическая необходимость как в системах обнаружения вторжений (СОВ) в частности, так и в системе мер противодействия и пресечения кибератак и киберпреступлений в целом. Важными требованиями к таким системам являются высокие аналитические и прогностические способности, низкая частота ложных срабатываний, работа в режиме реального времени, высокая скорость вычислений, оптимальная производительность.

Несмотря на то, что на рынке информационной безопасности уже длительное время присутствуют СОВ с открытым исходном кодом, почти все они имеют недостаток, так как являются сигнатурными, т. е. не способными распознать сетевые атаки, отсутствующие в базе сигнатур [Репозиторий свободной системы обнаружения вторжений Open Source Tripwire, 2024, Репозиторий свободной системы обнаружения вторжений Snort, 2024, Репозиторий свободной системы обнаружения вторжений Zeek, 2024].

По этой причине актуальной является разработка СОВ на сетевом уровне, использующей аномальный подход к интерпретации сетевого трафика и пассивные режимы реагирования и поиска данных.

Объекты и методы исследования

Система обнаружения вторжений (СОВ) – это программный или аппаратный комплекс, предназначенный для обнаружения вредоносной активности и вторжений в сеть или устройство централизованного сбора, регистрации и фильтрации поступающих сигналов и дальнейшего уведомления о случившемся нарушении администратора сети.

Под аномалиями в системах обнаружения вторжений подразумеваются данные, чьи характеристики выбиваются из нормального, шаблонного поведения других данных в устройстве.

Архитектура предлагаемой сетевой СОВ содержит в себе несколько связанных между собой модулей [Мартин, 2022]. Каждый из модулей отвечает за определенный функционал системы.

Модуль «Сетевой анализатор и коллектор» берет на себя роль сенсорной системы СОВ и центра распределения информации. Данный модуль обнаруживает используемые порты и устройства в сети компьютера, прослушивает передаваемые и получаемые пакеты данных, обрабатывает, нормализует и форматирует данные о соединениях и сохраняет данные в виде csv датасета в хранилище данных.

Модуль «Алгоритмы машинного обучения с учителем» является системой анализа и реагирования [Григорьев, 2023]. Для модуля реализуются и обучаются 5 алгоритмов классификации, каждый из которых по выбору пользователя проводит анализ прослушанных сетевых пакетов, выявляя в данных о соединениях точечные аномалии, что позволяет классифицировать соединение как сетевую атаку или безопасное соединение. После классификации данных модуль сохраняет предсказанную информацию в датасет и выводит результат работы через интерфейс.

Модуль «Графический интерфейс приложения» исполняет роль системы вывода СОВ. В модуле реализуются необходимые элементы пользовательского интерфейса, которые позволяют конечному пользователю управлять функционалом программного обеспечения (ПО) и получать уведомления о результатах работы системы.

Для обучения моделей машинного обучения был выбран набор данных CSE-CIC-IDS2018 [A Realistic Cyber Defense Dataset, 2024]. Данный датасет содержит в себе в общей сложности более 450 Гб данных, полученных и дополняемых с 2018 по 2024 год из трафика в сети Института кибербезопасности Университета Нью-Брансуика, Канада. Набор данных состоит из организованных по дням файлов, содержащих записи безопасного и аномального сетевого трафика, а также записи журналов событий для устройств в сети. Поскольку датасет имеет большой размер, было решено, что для изучения и первоначального обучения алгоритмов из множества файлов достаточно рассмотреть 10 файлов. При необходимости количество используемых файлов можно увеличить.

Записи в файлах датасета CSE-CIC-IDS2018 характеризуются набором из 80 атрибутов. Атрибуты были получены при помощи генератора и анализатора сетевого трафика CICFlowmeter-V3.0, разработанного авторами датасета. Например, атрибут Label в выборке является меткой, маркером класса и используется для обучения алгоритма и распознавания класса записи при обучении, и для проверки результата предсказания алгоритма классификации при тестировании.

Данные в датасете – это проанализированные соединения в реальной инфраструктуре сети, использующие протоколы TCP и UDP относительно транспортного уровня; HTTP, HTTPS, FTP и SSH относительно прикладного уровня, а также протоколы электронной почты SMTP, IMAP, POP3. Цифровые данные, передающиеся по сети между устройствами, являются как безопасными соединениями, отмечаемыми меткой «Bening», так и различными сетевыми атаками. Сетевые атаки делятся на группы, которые описаны в табл. 1.

При проектировании модуля «Алгоритмы машинного обучения с учителем» был определен список распространенных методов машинного обучения, которые используются для решения задач классификации [Плас, 2021, Madani, 2023]. Это следующие методы машинного обучения:

– метод k-ближайших соседей;
– метод опорных векторов;
– метод Наивный байесовский классификатор;
– метод «Дерево решений»;
– метод «Случайный лес».

После программирования главного исполняемого файла был создан модуль с сетевым анализатором и коллектором (сниффером). В рамках этого этапа разработки были подготовлены данные для дальнейшего обучения системы; определены механизмы формирования данных в выбранном обучающем датасете; исходя из изученных механизмов реализован алгоритм по прослушиванию сетевых пакетов и формированию нового тестового датасета [Траск, 2022].

Таблица 1
Table 1

Группы атак и их описание
Attack groups and their descriptions

Название	Описание
Brute Force Attack	Атака грубой силой, или атака методом перебора. Заключается в вычислении всех возможных комбинаций паролей, ключей, данных или информации.
Heartbleed Attack	Уязвимость чтения за пределами буфера в криптографической библиотеке OpenSSL, позволяющая получать несанкционированный доступ к памяти на сервере или клиенте для чтения и извлечения данных.
Botnet	Атаки, выполняемые со стороны удаленно управляемой и разветвленной сети устройств.
DoS/DDoS Attack	Атака на вычислительную систему с целью вызвать отказ в ее обслуживании.
SQL Injection	Атака, использующая язык запросов SQL для управления и получения информации.
XSS	Атака, заключающаяся во внедрении в веб-страницу вредоносного кода, выполняющего межсайтовые сценарии.
Infiltration Attack	Атака изнутри сети или устройства, для чего используются уязвимости в установленных сторонних приложениях и бэкдоры.

Результатом пофайлового анализа стал выбор двух рабочих файлов – 22-02-2018.csv и 23-02-2018.csv. Их преимущества: все записи являются числовыми, что избавляет от необходимости в кодировании категориальных переменных; файлы содержат наибольшее количество групп сетевых атак: «Brute Force», «XSS», «SQL Injections».

Недостатками являются: атака «XSS» представлена как подвид, разновидность атаки «Brute Force», однако в действительности является отдельным типом атак; присутствуют записи с нетиповыми или бесконечными значениями.

Обнаруженные ошибки были исправлены, и создана объединенная выборка с названием Othrys_IDS_Dataset.

Получившаяся выборка оказалась не сбалансирована, т. е. количество записей нормальных соединений многократно превышает количество записей сетевых атак. Для исправления дисбаланса классов применен метод случайного сэмплирования, а именно случайным образом удалены записи с меткой «Bening», так, чтобы отношение сетевых атак к нормальным удовлетворяло процентному соотношению 30:70.

После отбора признаков выборки данных (с целью удаления незначащих признаков, признаков с избыточными связями и наименьшей важностью) осталось 10 признаков, представленных на рис. 1, которые будут участвовать в разработке и дальнейшем обучении алгоритмов классификации [Kelleher, 2019, Kneusel, 2022].

В результате оптимизации был сформирован новый датасет «train_dataset.csv», содержащий 3093 записей, из которых 2165 соединений с меткой «Bening», 611 с меткой «Brute Force», 230 с меткой «XSS» и 87 с меткой «SQL Injection». Оптимизированный датасет содержит 11 обновленных атрибутов – 10 основных признаков и 1 признак-метку, представленных в табл. 2.

Модуль с алгоритмами машинного обучения исполняет роли подсистем анализа и реагирования в системах обнаружения вторжений [Weber, 2020, Yuxi (Hayden) Liu, 2020]. Реализован обработчик, который дает возможность пользователю выбрать и запустить нужный ему алгоритм машинного обучения.

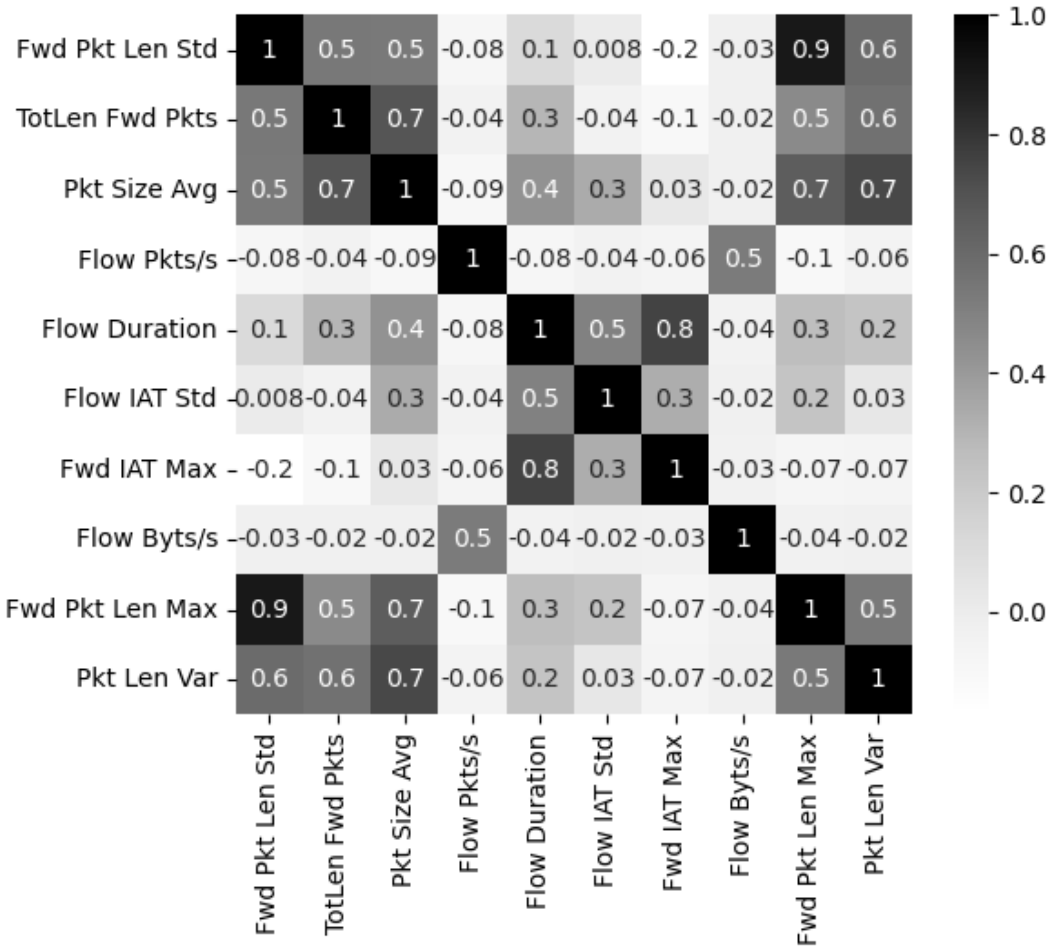


Рис. 1. Корреляционная матрица оставшихся признаков
Fig. 1. Correlation matrix of the remaining features

Таблица 2
Table 2

Обновленные атрибуты и их описание
Updated attributes and their description

№	Название атрибута	Описание
1	Fwd Pkt Len Std	Стандартное отклонение в размерах принимаемого пакета
2	TotLen Fwd Pkts	Общий размер принимаемых пакетов
3	Pkt Size Avg	Средний размер пакета
4	Flow Pkts/s	Скорость передачи данных в пакетах в секунду
5	Flow Duration	Длительность соединения
6	Flow IAT Std	Стандартное отклонение времени между двумя соединениями
7	Fwd IAT Max	Максимальное время между двумя принимаемыми соединениями
8	Flow Byts/s	Скорость передачи данных в байтах в секунду
9	Fwd Pkt Len Max	Максимальный размер принимаемого пакета
10	Pkt Len Var	Минимальное время между поступлениями пакета
11	Label	Метка с названием протокола и типом сценария атаки на сеть

Создаваемые модели обучения первоначально обучаются на оптимизированном и сбалансированном ранее тренировочном датасете «train_dataset.csv». Для каждой модели перед обучением проводится нормализация тренировочных данных, настраиваются значения параметров алгоритма.

Значения параметров для алгоритмов подбирались вручную опытным путем до тех пор, пока во время тестирования алгоритмов показания метрик качества предсказаний не показали наилучший результат.

После обучения алгоритму передается датасет с перехваченными пакетами, для которого модель выдает предсказания. Полученные предсказания записываются в конечный результирующий датасет, отмечая для каждого соединения его тип. Результаты работы алгоритма выводятся в таблицу в окне приложения во вкладках «Monitoring» или «Analytics» главного окна приложения. Пример работы подсистемы показан на рис. 2.

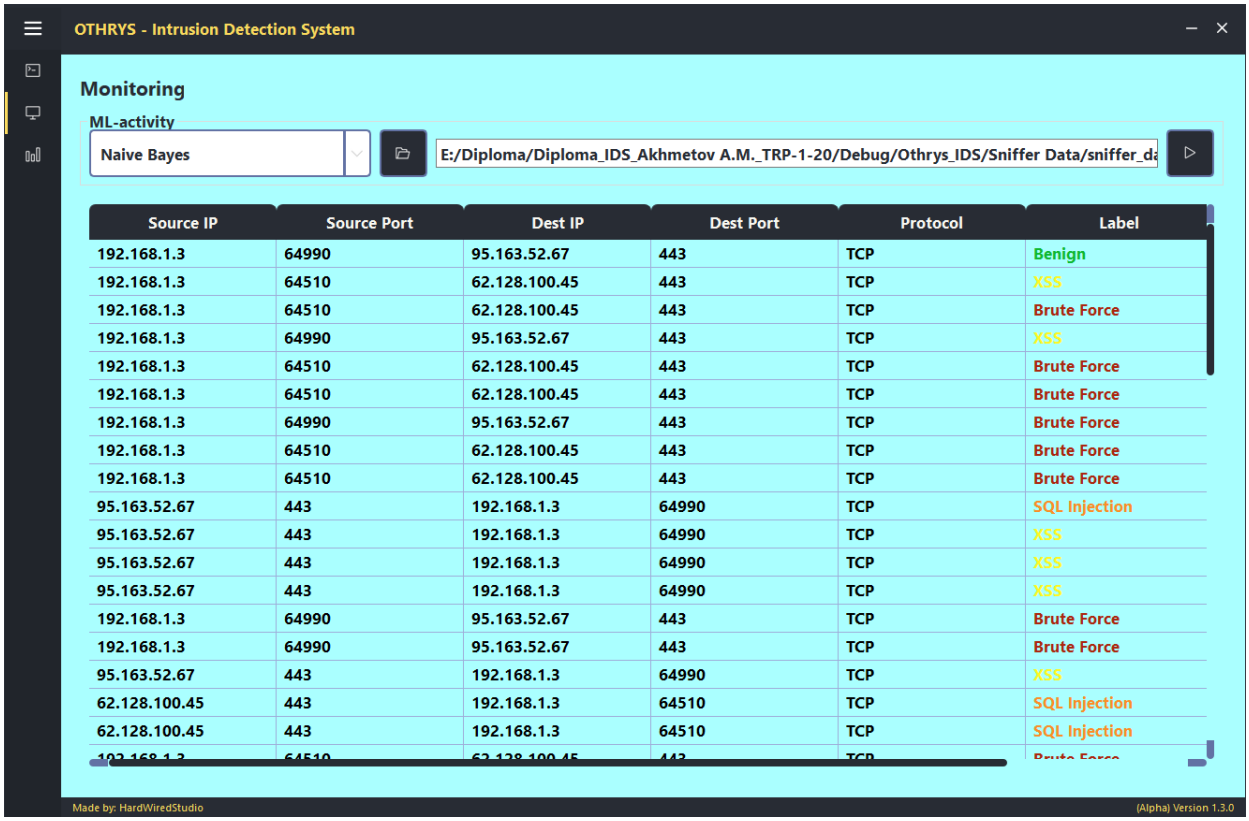


Рис. 2. Пример работы подсистемы «Алгоритмы машинного обучения с учителем»
Fig. 2. Example of work of the subsystem «Machine Learning Algorithms with Teacher»

Результаты и их обсуждение

Тестирование ПО проходило на сбалансированном датасете «train_dataset.csv», для чего он был разделен на тренировочную и тестовую выборки в пропорции 70:30. Качество предсказаний моделей машинного обучения сравнивалось с использованием метрик достоверности, точности, полноты и F1-меры. Результаты проведенной оценки представлены в табл. 3.

По результатам тестирования в сбалансированной выборке самым точным алгоритмом является Случайный лес, а самым неточным – Наивный байесовский классификатор.

Следующее тестирование проводилось в реальной сети. Сначала точность работы алгоритмов оценивали в сети с безопасными сетевыми пакетами, не подвергающейся сетевым атакам. Для безопасной сети было сгенерировано и перехвачено 450 сетевых соединений, которые затем были классифицированы алгоритмами. В таблице 4 показаны метрики качеств для каждого алгоритма.

Таблица 3
Table 3

Результаты оценки качества алгоритмов классификации на сбалансированном датасете
Quality assessment results of classification algorithms on a balanced dataset

Модель	Достоверность	Точность	Полнота	F1-мера
k-ближайших соседей	0,8797672915319	0,8416466226920	0,6479039124479	0,7029592500368
Опорных векторов	0,7537168713639	0,3456178820329	0,3467912881434	0,33906282396848
Наивный байесовский классификатор	0,32967032967032	0,41469417172823	0,5015803202123	0,30791107482902
Дерево решений	0,8998060762766	0,7794999784045	0,7402398242807	0,7579549373090
Случайный лес	0,9082094376212	0,7965777783540	0,7674366527353	0,7808580963596

Таблица 4
Table 4

Результаты предсказаний алгоритмов в сети без сетевых атак
Prediction results of algorithms in a network without network attacks

Модель	Достоверность	Точность	Полнота	F1-мера
k-ближайших соседей	0,83	1	0,83	0,91
Опорных векторов	0,3	1	0,30	0,46
Наивный байесовский классификатор	–	0,1	0,04	0,07
Дерево решений	1	1	1	1
Случайный лес	1	1	1	1

Самыми точными алгоритмами оказались Случайный лес и Дерево решений, в то время как остальные алгоритмы обнаружили в сети с нормальным поведением большое количество сетевых атак. Качество и точность предсказаний 3 из 5 реализованных алгоритмов классификации являются низкими. Такое низкое качество работы алгоритмов связано с проблемой трансферного обучения. Алгоритмы, обученные на одних данных для решения одной задачи, при использовании для решения схожей, но не идентичной задачи (с отличными условиями, характерами переменных и признаков, или тестируемые на других данных), выдают некачественный результат.

Сравнительный анализ данных обучающего датасета и данных из реальной тестируемой сети показал, что присутствуют отличия в характерах используемых данных. Для датасета CSE-CIC-IDS2018 замечена низкая скорость передачи данных и долгий межпакетный интервал, в то время как тестируемая сеть обладает высокой скоростью передачи данных и коротким межпакетным интервалом. Также разными сетями используется разное сетевое оборудование с отличными друг от друга настройками сети и устройств.

Для решения возникшей проблемы была проведена отладка с дообучением моделей машинного обучения. В новый тренировочный датасет были добавлены 1400 записей нормальных сетевых соединений из реальной защищаемой сети с меткой «Bening», прослушанные при помощи реализованного модуля сетевого анализатора.

После нормальных сетевых пакетов в защищаемой сети были смоделированы сетевые атаки 3 классов: «Brute Force», «XSS», «SQL Injections». Генерация сетевых атак происходила при помощи программного обеспечения OWASP ZAP (Zed Attack Proxy) (рис. 3). Нападение моделируемых сетевых атак происходило на веб-страницу авторизации пользователя, для чего использовалось веб-приложение, развернутое на сервере внутри защищаемой сети.

Для генерации сетевых атак использовались словари сетевых атак, взятые из открытых источников [Репозиторий с данными об уязвимостях Cross Site Scripting, 2024; Репозиторий с данными по информационной безопасности SecList, 2024]. Также самостоятельно выполнялись Brute Force атаки с попытками перебора паролей к странице авторизации и отправки межсайтовых скриптов. Атаки проводились в активном и пассивном режиме работы, словари с атаками загружались в режиме фаззинга, также использовалась функция Break для попыток перехвата и изменения запросов и ответов. Моделируемые атаки анализировались с помощью инструментов ZAP, а также перехватывались с помощью реализованного модуля сниффера. Проводился анализ записей об атаках и вручную маркировались данные для дальнейшего обучения. В новый обучающий датасет было добавлено по 200 сетевых атак каждого класса.

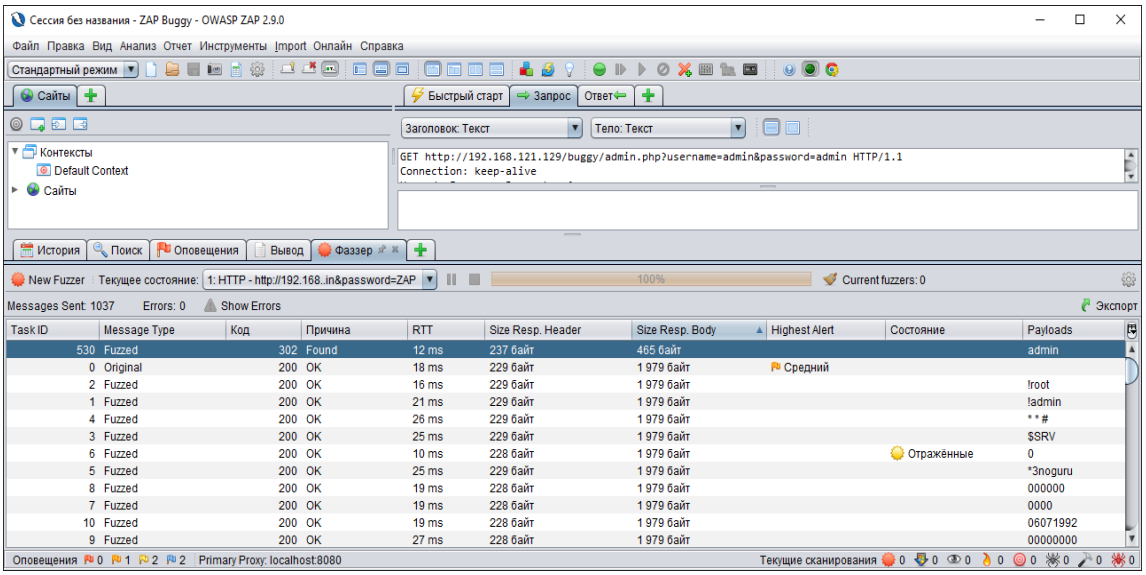


Рис. 3. Пример моделирования сетевой атаки с помощью OWASP ZAP
Fig. 3. Example of modelling a network attack using OWASP ZAP

После дообучения проведено повторное тестирование. Тестирование на безопасной сети показало высокую точность 4 из 5 алгоритмов машинного обучения. В табл. 5 показаны результаты оценки с использованием метрик качества.

Таблица 5
Table 5

Результаты тестирования дообученных алгоритмов в сети без сетевых атак
Results of testing the pre-trained algorithms in a network without network attacks

Модель	Достоверность	Точность	Полнота	F1-мера
k-ближайших соседей	1	1	1	1
Опорных векторов	1	1	1	1
Наивный байесовский классификатор	0,76	0,76	1	0,8649
Дерево решений	1	1	1	1
Случайный лес	1	1	1	1

Для тестирования алгоритмов в сети, подвергшейся известными атакам, было прослушано 200 нормальных соединений и снова смоделировано по 100 сетевых атак каждого класса с помощью инструментов OWASP ZAP. Тестирование показало высокую точность алгоритмов Случайный лес и Дерево решений, самым неточным оказался алгоритм Наивный байесовский классификатор. В табл. 6 показаны результаты оценки с использованием метрик качества.

Таблица 6
Table 6

Результаты тестирования дообученных алгоритмов в сети с сетевыми атаками
Results of testing the pre-trained algorithms in a network with network attacks

Модель	Достоверность	Точность	Полнота	F1-мера
k-ближайших соседей	0,816	0,769	0,846	0,805
Опорных векторов	0,806	0,776	0,803	0,789
Наивный байесовский классификатор	0,613	0,421	0,888	0,571
Дерево решений	0,883	0,818	0,951	0,880
Случайный лес	0,902	0,836	0,973	0,899

Заключение

Таким образом, разработка системы, прослушивающей компьютерную сеть, позволяющей обнаружить среди сетевых соединений аномалии и классифицировать их как сетевые атаки, используя для этого методы машинного обучения, является актуальной в рамках системы мер противодействия и пресечения кибератак и киберпреступлений в целом.

Реализованный функционал ПО обладает следующими возможностями:

– обнаружение используемого сетевого оборудования;

– прослушивание сетевых соединений;

– обработка сетевых пакетов и вычисление пространства признаков;

– формирование датасета из обработанных сетевых соединений;

– анализ прослушиваемых сетевых пакетов и предсказание класса соединения с помощью алгоритмов классификации;

– хранение результатов предсказаний и построение аналитических графиков и таблиц.

Важными требованиями к таким системам являются высокие аналитические и прогностические способности, низкая частота ложных срабатываний, работа в режиме реального времени, высокая скорость вычислений, оптимальная производительность.

Для тестирования качества и оценки точности реализованной системы с помощью инструментов программного обеспечения OWASP ZAP были смоделированы сетевые атаки на защищаемые компьютерные сети. Получен высокий результат точности и качества алгоритмов.

Список литературы

Григорьев А. 2023. Машинное обучение. Портфолио реальных проектов. Спб: Питер, 496 с.

Исследование ГК «Солар»: Атаки на российские компании в III квартале 2023 года [Электронный ресурс]. URL: https://rt-solar.ru/analytics/reports/3889/ (дата обращения: 12.12.2024).

Мартин Р. 2022. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. Санкт-Петербург: Питер, 352 с.

Отчет о DDOS-атаках за третий квартал 2023 года от StormWall [Электронный ресурс]. URL: https://stormwall.pro/otchet-o-ddos-atakah-2023-tretij-kvartal (дата обращения: 12.12.2024).

Плас Дж. 2021. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. СПб: Питер, 576 с.

Репозиторий с данными об уязвимостях Cross Site Scripting (XSS) Vulnerability Payload List [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/payloadbox/xss-payload-list (дата обращения: 12.12.2024).
Репозиторий с данными по информационной безопасности SecList [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/danielmiessler/SecLists (дата обращения: 12.12.2024).
Репозиторий свободной системы обнаружения вторжений Open Source Tripwire [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/Tripwire/tripwire-open-source (дата обращения: 12.12.2024).
Репозиторий свободной системы обнаружения вторжений Snort [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/snort3/snort3 (дата обращения: 12.12.2024).
Репозиторий свободной системы обнаружения вторжений Zeek [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/zeek/zeek (дата обращения: 12.12.2024).
Траск Э. 2022. Грокаем глубокое обучение. Спб: Питер, 352 с.
A Realistic Cyber Defense Dataset (CSE-CIC-IDS2018) [Электронный ресурс]. URL: https://registry.opendata.aws/cse-cic-ids2018/ (дата обращения: 12.12.2024).
Kelleher J.D. 2019. Deep Learning. The Massachusetts Institute of Technology, 296 p.
Kneusel R.T. 2022. Math for Deep Learning. A practitioner`s guide to mastering neural networks. – San Francisco: No Starch Press, 344 p.
Madani A. 2023. Debugging Machine Learning Models with Python. Develop high-performance, low bias, and explainable machine learning and deep learning models. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 344 p.
Weber H. 2020. Big Data and Artificial Intelligence. Complete Guide to Data Science, AI, Big Data and Machine Learning. Independently Published: Hans Weber, 160 p.
Yuxi (Hayden) Liu. 2020. Python Machine Learning By Example. Third Edition. Build intelligent systems using Python, Tensor Flow 2, PyTorch, and scikit-learn. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 526 p.

References

Grigor'ev A. 2023. Mashinnoe obuchenie. Portfolio real'nyh proektov [Machine Learning. Portfolio of real projects]. Spb: Piter, 496 p.
Issledovanie GK «Solar»: Ataki na rossijskie kompanii v III kvartale 2023 goda [Solar Group Research: Attacks on Russian companies in Q3 2023] [Elektronnyj resurs]. URL: https://rt-solar.ru/analytics/reports/3889/ (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Martin R. 2022. Chistaya arhitektura. Iskusstvo razrabotki programmnogo obespecheniya [Pure Architecture. The art of software development]. Sankt-Peterburg: Piter, 352 p.
Otchet o DDOS-atakah za tretij kvartal 2023 goda ot StormWall [DDOS attacks report for the third quarter of 2023 from StormWall] [Elektronnyj resurs]. URL: https://stormwall.pro/otchet-o-ddos-atakah-2023-tretij-kvartal (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Plas Dzh. 2021. Python dlya slozhnyh zadach: nauka o dannyh i mashinnoe obuchenie [Python for complex problems: data science and machine learning]. SPb: Piter, 576 p.
Repozitorij s dannymi ob uyazvimostyah Cross Site Scripting (XSS) Vulnerability Payload List [Elektronnyj resurs]. URL: https://github.com/payloadbox/xss-payload-list (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Repozitorij s dannymi po informacionnoj bezopasnosti SecList [Elektronnyj resurs]. URL: https://github.com/danielmiessler/SecLists (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Repozitorij svobodnoj sistemy obnaruzheniya vtorzhenij Open Source Tripwire [Elektronnyj resurs]. URL: https://github.com/Tripwire/tripwire-open-source (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Repozitorij svobodnoj sistemy obnaruzheniya vtorzhenij Snort [Elektronnyj resurs]. URL: https://github.com/snort3/snort3 (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Repozitorij svobodnoj sistemy obnaruzheniya vtorzhenij Zeek [Elektronnyj resurs]. URL: https://github.com/zeek/zeek (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Trask E. 2022. Grokaem glubokoe obuchenie [Grokai deep learning]. Spb: Piter, 352 p.
A Realistic Cyber Defense Dataset (CSE-CIC-IDS2018) [Elektronnyj resurs]. URL: https://registry.opendata.aws/cse-cic-ids2018/ (data obrashcheniya: 12.12.2024).
Kelleher J.D. 2019. Deep Learning. The Massachusetts Institute of Technology, 296 p.
Kneusel R.T. 2022. Math for Deep Learning. A practitioner`s guide to mastering neural networks. – San Francisco: No Starch Press, 344 p.

Madani A. 2023. Debugging Machine Learning Models with Python. Develop high-performance, low bias, and explainable machine learning and deep learning models. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 344 p.
Weber H. 2020. Big Data and Artificial Intelligence. Complete Guide to Data Science, AI, Big Data and Machine Learning. Independently Published: Hans Weber, 160 p.
Yuxi (Hayden) Liu. 2020. Python Machine Learning By Example. Third Edition. Build intelligent systems using Python, Tensor Flow 2, PyTorch, and scikit-learn. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 526 p.

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 03.03.2025
Поступила после рецензирования 29.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received March 3, 2025
Revised May 29, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куценко Светлана Мунавировна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры Информационные технологии и интеллектуальные системы, Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Салтанаева Елена Андреевна, кандидат технических наук, доцент кафедры Информационные технологии и интеллектуальные системы, Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Ахметов Азат Маратович, бакалавр, Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Svetlana M. Kutsenko, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Elena A. Saltanaeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Azat M. Akhmetov, Bachelor student, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

УДК 004.932.2
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-476-484
EDN OLGWST

Об устойчивости стеганографических методов для защиты цифровых изображений в условиях внешних воздействий

Чурсин Д.С
ООО «ЦЕНТРПРОГРАММСИСТЕМ»,
Россия, 308008, г. Белгород, ул. Восточная, д. 71, кв. 501
dima.chursin@bk.ru

Аннотация. В данной статье представлен комплексный анализ устойчивости контрольной информации, внедренной в цифровые изображения, к внешним воздействиям. Исследование сосредоточено на трех популярных методах стеганографии: замене наименьшего значащего бита (LSB), методе Коха и Жао, а также методе расширения спектра. Основная цель исследования заключается в оценке способности этих методов сохранять целостность контрольной информации в условиях преднамеренного наложения шума на стегоконтейнеры. Результаты исследования представлены в виде графиков, демонстрирующих зависимость вероятности извлечения ошибки от уровня наложенного шума. Проведенная сравнительная оценка позволяет сделать выводы о сравнительной эффективности и устойчивости каждого из методов к внешним воздействиям. Полученные данные свидетельствуют о том, что не все методы демонстрируют определенную степень устойчивости, их эффективность варьируется в зависимости от уровня шума и специфики метода. Эти результаты имеют важное значение для разработки более надежных методов защиты цифровых изображений, особенно в контексте современных вызовов, связанных с обеспечением информационной безопасности и защитой авторских прав.

Ключевые слова: стеганография, контрольная информация, цифровые изображения, защита изображений, аутентификация изображений, устойчивость к внешним воздействиям, метод LSB, метод Коха и Жао, метод расширения спектра, цифровой водяной знак (ЦВЗ), зашумление изображения, PSNR, SSIM

Для цитирования: Чурсин Д.С. 2025. Об устойчивости стеганографических методов для защиты цифровых изображений в условиях внешних воздействий. *Экономика. Информатика*, 52(2): 476–484. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-476-484 EDN OLGWST

Analysis of the Stability of Steganographic Methods for Protecting Digital Images under Conditions of External Influences

Dmitry S. Chursin
CENTERPROGRAMSYSTEM LLC
71 Vostochnaya St., Belgorod 308008, Russia
dima.chursin@bk.ru

Abstract. This article analyzes the stability of control information embedded in digital images to external influences using various steganographic methods. The principles of introducing control information into images using popular steganography methods such as least significant bit substitution (LSB), the Koch and Zhao method, and the spectrum expansion method are considered. The study involves extracting control information from digital images that have been subjected to preliminary noise overlay. The main focus is on assessing the stability of each of the methods in conditions where the stegocontainer (an image with embedded

© Чурсин Д.С., 2025

information) is exposed to noise. The results of the study are presented in the form of graphs demonstrating the dependence of the probability of extracting an error from a stegocontainer on the level of pre-applied noise. The comparative assessment allows us to draw conclusions about the comparative effectiveness and resistance of each of the methods to external influences, which may be useful for developing more reliable methods of protecting digital images.

Keywords: steganography, control information, digital images, image protection, image authentication, resistance to external influences, LSB method, Koch and Zhao method, spectrum expansion method, digital watermark, image noise, PSNR, SSIM

For citation: Chursin D.S. 2025. Analysis of the Stability of Steganographic Methods for Protecting Digital Images under Conditions of External Influences. *Economics. Information technologies*, 52(2): 476–484 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-2-476-484 EDN OLGWST

Введение

В последние годы цифровые изображения стали неотъемлемой частью многих сфер деятельности, включая медицину, спутниковую съемку, безопасность и коммуникации. Этот рост обусловлен значительными достижениями в технологиях цифровой обработки изображений, что, в свою очередь, подчеркивает необходимость разработки надежных методов защиты и аутентификации таких изображений. Одним из наиболее эффективных подходов к обеспечению защиты является внедрение контрольной информации в цифровые изображения с использованием стеганографических методов.

Стеганография позволяет интегрировать дополнительные данные в цифровые изображения таким образом, что они остаются незаметными для человеческого глаза, но могут быть извлечены и использованы при необходимости [Конахович, 2006]. Современные стеганографические методы постоянно развиваются, чтобы соответствовать новым требованиям безопасности и вызовам. Среди них можно выделить как классические методы, такие как замена наименьших значащих битов (LSB), так и более сложные техники, включающие преобразования в частотной области, например, дискретное косинусное преобразование (ДКП) и дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), а также методы расширения спектра.

В условиях, когда ежедневно создаются и распространяются миллионы уникальных изображений, контроль за их распространением приобретает особую важность. Это создает предпосылки для злоумышленников использовать эти изображения в своих целях, что требует применения стеганографических методов для подтверждения подлинности изображений и контроля авторских прав [ГОСТ Р 7.0.1-2003]. Однако злоумышленники также разрабатывают новые методы для обхода таких мер защиты [Федосенко, 2023]. Одним из таких методов является наложение шума на изображения, что приводит к разрушению контрольной информации, но при этом сохраняет видимое качество изображения. В результате становится невозможным восстановление контрольной информации, что делает невозможным контроль над такими изображениями.

В данной статье проводится анализ устойчивости контрольной информации, внедренной в цифровые изображения, к внешним воздействиям. Исследование охватывает различные популярные методы стеганографии, включая метод LSB, метод Коха и Жао, а также метод расширения спектра. Основная цель исследования заключается в оценке сравнительной устойчивости этих методов к внешним воздействиям, таким как наложение шума, и в определении их эффективности при извлечении контрольной информации.

Для достижения этой цели были проведены эксперименты по наложению шума с различными уровнями зашумленности на стегоконтейнеры и последующему извлечению контрольной информации. Результаты исследования представлены в виде графиков, демонстрирующих зависимость вероятности извлечения ошибки от уровня наложенного шума. Проведенная сравнительная оценка позволяет сделать выводы о сравнительной эффективности и устойчивости каждого из методов, что может быть полезно для разработки более надежных методов защиты цифровых изображений.

Эти результаты имеют важное значение для обеспечения информационной безопасности и защиты авторских прав в условиях постоянно развивающихся технологий и растущих угроз.

Описание исследуемых методов стеганографии и их характеристики

В данном исследовании были выбраны три метода стеганографии для анализа их устойчивости к внешним воздействиям:

1) метод наименьшего значащего бита (НБЗ/LSB) [Грибунин, Оков, Туринцев, 2009] – один из наиболее распространенных методов, основанный на замене наименьших значащих битов в пикселях изображения;

2) метод Коха и Жао [Демидчук, 2012; Koch, 1995; Zhao, 1995] – более сложный подход, использующий модификацию коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП) для внедрения скрытой информации;

3) метод расширения спектра [Иванова, Семенов, 2021] – метод, основанный на принципах расширения спектра, где информация распределяется по всему спектру частот изображения.

Эти методы широко используются в области защиты цифровых изображений и представляют собой различные подходы к внедрению и извлечению скрытой информации.

В качестве объектов исследования использовались спутниковые снимки размером 400x400 (рис. 1). В качестве контрольной информации был использован цифровой водяной знак (ЦВЗ) [Гонсалес, 2006], представляющий собой QR-код размером 50x50 (рис. 2).

Рис. 1. Цифровые изображения
Fig. 1. Digital images

Рис. 2. ЦВЗ
Fig. 2. Digital watermark

Метод наименьшего значащего бита является наиболее широко используемым и простым методом стеганографии в пространственной области. Его главное преимущество заключается в том, что для его реализации не требуется значительных вычислительных ресурсов, что делает его доступным для использования даже на устройствах с ограниченной производительностью. Процесс извлечения контрольной информации с помощью метода LSB также отличается простотой: для

восстановления скрытых данных достаточно иметь только стегоконтейнер (изображение, содержащее встроенную информацию). Это упрощает процесс восстановления и делает метод LSB особенно привлекательным для задач, где важна быстрота и простота обработки.

Метод Коха и Жао считается одним из наиболее популярных методов стеганографии в частотной области. Однако, в отличие от простого в реализации метода LSB, этот метод требует более сложного подхода. Он основан на разбиении исходного изображения на блоки размером 8x8, что накладывает ограничения на размер и форму изображения: оно должно быть квадратным и иметь размеры, кратные восьми.

Сложность реализации метода Коха и Жао обусловлена несколькими факторами. Во-первых, внедрение информации происходит путем выбора двух коэффициентов ДКП из средних частот. Во-вторых, используется защитная маркировка, которая заключается в сравнении модулей значений выбранных коэффициентов. Если необходимо, значение одного из коэффициентов изменяется в зависимости от бита встраиваемого ЦВЗ. Для маркировки блока битом водяного знака применяются определенные условия, и, если они не выполняются, коэффициенты корректируются для обеспечения надежности внедрения [Шелухин, Канаев, 2024].

Для извлечения контрольной информации в методе Коха и Жао требуется наличие как самого стегоконтейнера, так и защитной маркировки, которая представляет собой массив координат. Этот массив координат играет ключевую роль, так как он указывает, какие именно коэффициенты ДКП были изменены в процессе внедрения информации. Наличие защитной маркировки является критическим условием для успешного извлечения данных, поскольку без нее становится крайне сложно или даже невозможно определить, какие именно части изображения содержат скрытую информацию.

Метод расширения спектра считается одним из наиболее популярных методов стеганографии в области цифровой обработки сигналов. Однако из всех вышеуказанных данный метод самый сложный и требует значительных вычислительных ресурсов для внедрения. Метод расширения спектра также имеет ограничения на размер и форму изображения: оно должно быть квадратным и иметь размер, кратный размеру ЦВЗ.

В методе расширения спектра прямой последовательностью информационный сигнал модулируется с помощью функции, принимающей псевдослучайные значения в заданных пределах. Эта функция умножается на константу, представляющую собой частоту (скорость) следования элементарных посылок сигнала. В результате получается псевдослучайный сигнал, который содержит составляющие на всех частотах, что приводит к расширению спектра и распределению энергии сигнала в широком диапазоне частот [Шелухин, Канаев, 2024].

Для модуляции в данном методе используется алгоритм, в котором каждый бит сообщения представляется в виде базисной функции, размерность которой соответствует размеру изображения.

Для эффективного скрытия информации требуется значительное количество базисных функций, ортогональных к типичным изображениям. Однако кодирование изображений требует меньшего количества базисных функций, что приводит к конфликту при компрессии. Идеальная схема компрессии не способна полностью отобразить базисы, использованные для скрытия, что может привести к потере информации.

Для извлечения контрольной информации в методе расширения спектра требуется как наличие самого стегоконтейнера, так и знание общего количества базисных функций, использованных при внедрении, что является размером ЦВЗ.

Оценка устойчивости стегоконтейнеров к шуму: методология, критерии и результаты

Пусть $\widehat{f}_{i,k}$ представляет собой исходный стегоконтейнер. Зашумленный стегоконтейнер $\widehat{f}^{*}_{i,k}$ может быть описан следующим образом:

$$\widehat{f}^{*}_{i,k} = \widehat{f}_{i,k} + \eta \,, \tag{1}$$

где η – распределенный шум, определяемый как:

$$\eta = b \cdot rand(X, Y) \,, \tag{2}$$

где X, Y – размеры изображения;

b – амплитуда накладываемого шума, которая рассчитывается по формуле:

$$b = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_k \widehat{f}_{i,k}}{X \cdot Y} \cdot k^2} \,, \tag{3}$$

где k – уровень зашумленности.

На основе приведенного выше отношения (1) было произведено наложение шума на стегоконтейнеры с различными уровнями зашумленности (3). После этого из зашумленных стегоконтейнеров извлекалась контрольная информация. Основная цель исследования – определить вероятность ошибки P_{Δ} на каждом уровне зашумленности путем побитового сравнения векторов исходной и извлеченной контрольной информации:

$$P_{\Delta} = (\frac{\Delta}{L}) \,, \tag{4}$$

где L – длина извлеченного вектора с контрольной информацией:

$$\Delta = \sum_{i=1}^{L} 1 \vec{x} \neq \vec{x}^{*} \,, \tag{5}$$

где $\vec{x}$ и $\vec{x}^{*}$ – исходный и извлеченный вектор с контрольной информацией соответственно.

Для сохранения качества изображения и его «читаемого внешнего вида» был определен предел зашумленности. Для этого использовались следующие метрики:

1. PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio [Tanchenko, 2014; Mohammad, Al-Halabi, Monthy, 2019]:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10}(\frac{255^2}{MSE}) \,, \tag{6}$$

где MSE – среднеквадратичная ошибка между исходным изображением и зашумленным изображением:

$$MSE = \frac{1}{X \cdot Y} \sum_{x=1}^{X} \sum_{y=1}^{Y} (\widehat{f}_{i,k}(x, y) - \widehat{f}^{*}_{i,k}(x, y))^2 \,; \tag{7}$$

2. SSIM (Structural Similarity Index [Mohammad, Al-Halabi, Monthy, 2019; Wang, Bovik, Sheikh, Simoncelli, 2004]:

$$SSIM = \frac{(2\mu_{f_{i,k}} \mu_{f^{*}_{i,k}} + C_1)(2\sigma_{f_{i,k} f^{*}_{i,k}} + C_2)}{(\mu^2_{f_{i,k}} + \mu^2_{f^{*}_{i,k}} + C_1)(\sigma^2_{f_{i,k}} + \sigma^2_{f^{*}_{i,k}} + C_2)} \,, \tag{8}$$

где $\mu_{f_{i,k}}$ и $\mu_{f^{*}_{i,k}}$ – средние значения пикселей исходного и зашумленного стегоконтейнера соответственно;

$\sigma^2_{f_{i,k}}$ и $\sigma^2_{f^{*}_{i,k}}$ – дисперсии исходного и зашумленного стегоконтейнера;

$\sigma_{f_{i,k} f^{*}_{i,k}}$ – ковариация между исходным и зашумленным стегоконтерами;

C_1 и C_2 – константы, которые добавляются для стабильности вычислений:

$$\begin{aligned} C_1 &= (0{,}01 \cdot 255)^2 \\ C_2 &= (0{,}03 \cdot 255)^2 \,; \end{aligned} \tag{9}$$

3. Визуальный осмотр.

По общепринятым критериям для оценки качества метрики должны иметь следующие значения: PSNR не менее 30 дБ; SSIM не менее 0,9 [Avcibas, Sankur, Sayood, 2002].

Результаты вычисления предела уровня зашумленности представлены в табл. 1. Из таблицы следует, что предельным уровнем зашумленности, при котором стегоконтейнер сохраняет свое качество, является уровень 10^{-5}.

Таблица 1
Table 1

Результаты вычисления предела уровня зашумленности
The results of calculating the noise level limit

Уровень зашумленности	**Метрики**	**Цифровые изображения**		
		автомагистраль	рельефы	кварталы
10^{-3}	*PSNR*	5,2596	5,22	5,8603
	SSIM	0,19709	0,089148	0,21383
	Визуальный осмотр	Не читаемо	Не читаемо	Не читаемо
10^{-4}	*PSNR*	20,6967	23,6248	19,1981
	SSIM	0,89361	0,86158	0,91205
	Визуальный осмотр	Появляется рябь	Появляется рябь	Появляется рябь
10^{-5}	*PSNR*	40,4674	43,3896	38,9593
	SSIM	0,99819	0,99789	0,9988
	Визуальный осмотр	Четкое изображение	Четкое изображение	Четкое изображение

На основе вычисленных вероятностей ошибки на различных уровнях зашумленности были построены графики зависимости, которые наглядно демонстрируют устойчивость методов стеганографии к внешним воздействиям. Эти графики представлены на рис. 3–6.

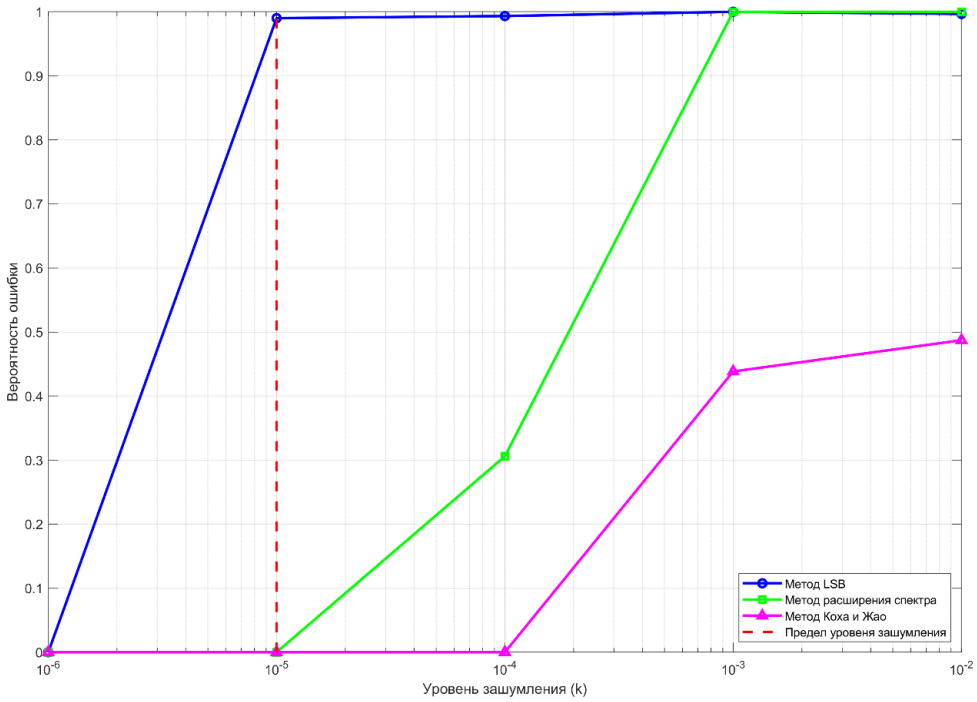


Рис. 3. График зависимости (автомагистраль)
Fig. 3. Dependency schedule (motorway)

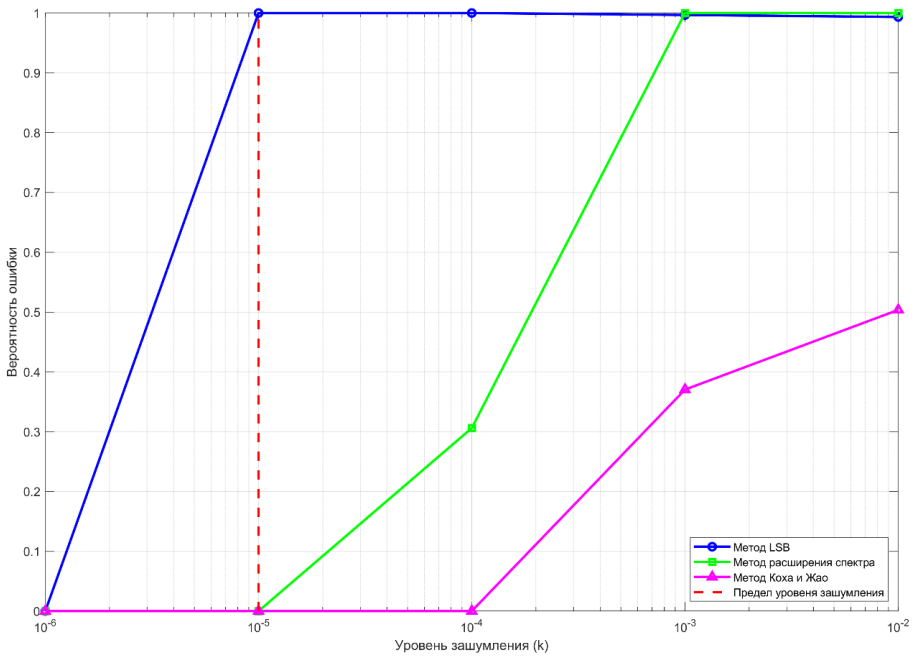


Рис. 4. График зависимости (Рельефы)
Fig. 4. Dependency graph (Reliefs)

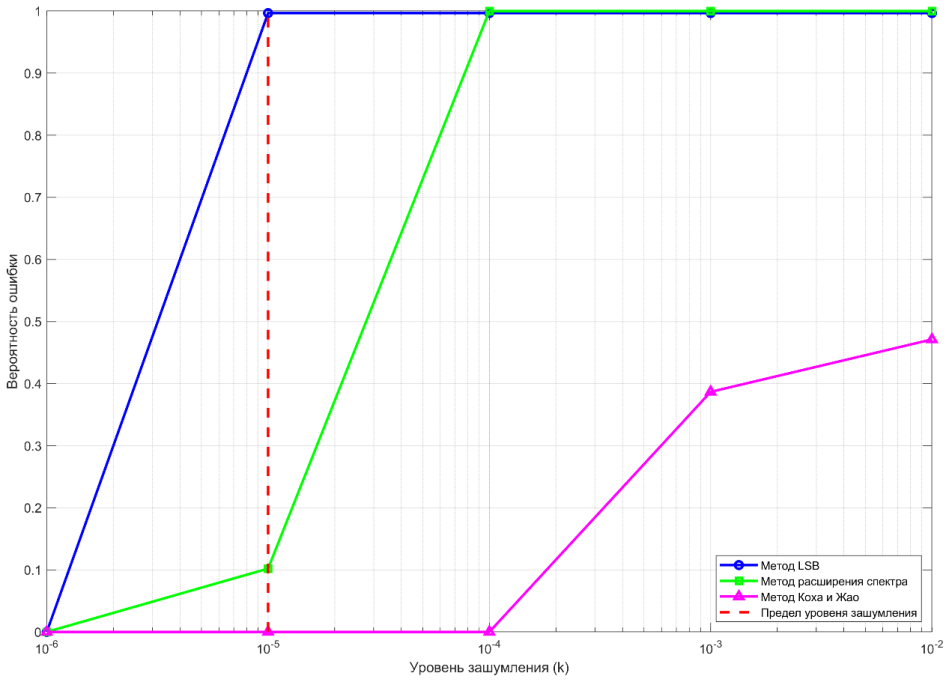


Рис. 5. График зависимости (Кварталы)
Fig. 5. Dependency graph (Neighborhoods)

Заключение

Настоящее исследование представляет детальный анализ эффективности различных методов стеганографии в условиях наложения шума на цифровые изображения. Основываясь на полученных результатах, можно сделать следующие выводы:

1. Метод Коха и Жао продемонстрировал наибольшую устойчивость к внешним воздействиям среди всех исследованных методов. Даже при высоких уровнях зашумленности, не превышающих установленный предел, вероятность ошибок извлечения контрольной

информации в некоторых случаях составляла 0. Максимальная вероятность ошибки не превышала 0,5, что свидетельствует о высокой надежности этого метода. Таким образом, метод Коха и Жао является наиболее подходящим выбором для приложений, требующих высокой степени защиты информации в условиях потенциального воздействия шума.

2. Метод расширения спектра также показал хорошие результаты, особенно в контексте конкретных изображений. В двух из трех случаев этот метод продемонстрировал высокую эффективность, что указывает на его потенциал в определенных условиях. Однако его успешность в значительной степени зависит от характеристик самого изображения, что может ограничивать его применение в более широком контексте. Это подчеркивает важность тщательного подбора параметров метода в зависимости от конкретных условий и характеристик изображений.

3. Метод наименьшего значащего бита оказался наименее эффективным в условиях зашумленности. Его низкая устойчивость к внешним воздействиям приводит к высокой вероятности ошибок извлечения информации. Это делает метод LSB непригодным для использования в ситуациях, где высока вероятность воздействия шума или других искажений.

Результаты исследования подчеркивают важность выбора подходящего метода стеганографии в зависимости от конкретных условий и требований к защите информации. Для обеспечения надежной защиты в условиях потенциального воздействия шума рекомендуется использовать метод Коха и Жао. В случаях, когда характеристики изображения позволяют, метод расширения спектра также может быть эффективным.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку более устойчивых и эффективных методов стеганографии, а также на адаптацию существующих методов к новым вызовам в области защиты цифровых изображений. Это может включать в себя разработку гибридных подходов, сочетающих преимущества различных методов, а также использование современных технологий, таких как машинное обучение, для повышения устойчивости и эффективности стеганографических методов.

Список литературы

Гонсалес Р., Вудс Р. 2006. Цифровая обработка изображений; пер. с англ. П.А. Чочиа. М.: Техносфера, 1070 с.

ГОСТ Р 7.0.1-2003. ЗНАК ОХРАНЫ АВТОРСКОГО ПРАВА Общие требования и правила оформления. https://docs.cntd.ru/document/1200032004

Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. 2009. Цифровая стеганография. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 265 с.

Демидчук А.И., Чернявский Ю.А. 2012. Алгоритм поиска в изображениях скрытых данных, встроенных методом Коха-Жао. *Информатика*, 1(33): 39–46.

Иванова Л.В., Семенов Н.С. 2021. Применение метода расширения спектра в системе связи на основе прямой последовательности. *Журнал связи*, 25(2): 45–50

Конахович Г.Ф. Пузыренко А.Ю. 2006. Компьютерная стеганография. Теория и практика: Учебно-практическое пособие. К.: МК-Пресс, 288 с.

Левин В.А. 2021.Стеганография и цифровые водяные знаки. Научный мир, 150–175.

Федосенко М.Ю. 2023. Обзор перспектив использования стеганографии в качестве инструмента обмена скрытыми данными в процессе осуществления неправомерных действий. Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО. URL: https://kmu.itmo.ru/digests/article/9974

Шелухин О.И., Канаев. С.Д. 2024.Стеганография. Алгоритмы и программная реализация. М.: Горячая линия – Телеком, 592 с.

Avcibas I., Sankur B., Sayood K. 2002. Statistical evaluating of image quality measures. *Journal of Electronic Imaging*, 11(2): 206–223.

Koch E., Zhao J. 1995. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, P. 123–132.

Mohammad A.B., Al-Halabi T., Monthy M. 2019. Comparative Analysis of PSNR and SSIM for Image Quality Assessment. *Journal of Mathematics and Computer Science*, 54–62.

Tanchenko A. 2014. Visual-PSNR measure of image quality. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(5): 874–878.

Zhao J., Koch E. 1995. Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection. Proc. of the Int. Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies. Munich, Vienna, P. 242–252.

Wang Zh., Bovik A.C., Sheikh H. R., Simoncelli E.P. 2004. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4):600–12. doi: 10.1109/tip.2003.819861.

References

Gonzalez R., Woods R. 2006. Digital image processing; translated from English by P.A. Choc. M.: Technosphere, 1070 p.

GOST R 7.0.1-2003. COPYRIGHT PROTECTION MARK General requirements and design rules. https://docs.cntd.ru/document/1200032004

Gribunin V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. 2009. Digital steganography, Moscow: SOLON PRESS, 265 p.

Demidchuk A.I., Chernyavsky Yu.A. 2012. An algorithm for searching hidden data embedded in images using the Koch-Zhao method. *Informatics*, 1(33): 39–46.

Ivanova L.V., Semenov N.S. 2021. Application of the spectrum expansion method in a direct sequence communication system. *Communication journal*. 25(2): 45–50

Konakhovich G.F. Puzyrenko A.Yu. 2006. Computer steganography. Theory and practice: An educational and practical guide. K.: MK-Press, 288 p.

Levin V.A. 2021. Steganography and digital watermarks. Scientific World, 150–175.

Fedosenko M.Y. 2023. Review of the prospects of using steganography as a tool for exchanging hidden data in the process of illegal actions. Collection of abstracts of the Congress of Young Scientists. Electronic edition. – St. Petersburg: ITMO University. URL: https://kmu.itmo.ru/digests/article/9974

Shelukhin O.I., Kanaev S.D. 2024. Steganography. Algorithms and software implementation. Moscow: Hotline – Telecom, 592 p.

Avcibas I., Sankur B., Sayood K. 2002. Statistical evaluating of image quality measures. *Journal of Electronic Imaging*, 11(2): 206–223.

Koch E., Zhao J. 1995. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling. *IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, P. 123–132.

Mohammad A.B., Al-Halabi T., Monthy M. 2019. Comparative Analysis of PSNR and SSIM for Image Quality Assessment. *Journal of Mathematics and Computer Science*, 54–62.

Tanchenko A. 2014. Visual-PSNR measure of image quality. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(5): 874–878.

Zhao J., Koch E. 1995. Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection. Proc. of the Int. Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies. Munich, Vienna, P. 242–252.

Wang Zh., Bovik A.C., Sheikh H. R., Simoncelli E.P. 2004. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE transactions on image processing*, 13(4):600-12. doi: 10.1109/tip.2003.819861.

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 03.04.2025
Поступила после рецензирования 23.05.2025
Принята к публикации 04.06.2025

Received April 3, 2025
Revised May 23, 2025
Accepted June 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чурсин Дмитрий Сергеевич, специалист по внедрению программных продуктов, ООО «ЦЕНТРПРОГРАММСИСТЕМ», г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitry S. Chursin, Software Product Implementation Specialist, CENTERPROGRAMSYSTEM LLC, Belgorod, Russia