

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2026 . Том 53, № 1



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2026. Том 53, № 1

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

Основан в 1995 г.

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Ответственные секретари

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

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

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

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

Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Мишенина. Корректур, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Мишенина. Редактор англоязычных текстов Е.С. Данилова. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 25,0. Дата выхода 30.03.2026. Оригинал-макет подготовлен центром полиграфического производства НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 5 **Бухвальд Е.М., Соловей Ю.А., Стрябкова Е.А.**
Территориальный капитал Центрального федерального округа: подходы к пространственному картографированию с использованием ГИС-технологий
- 18 **Самарина В.П., Склярова Е.А., Стогова Я.А., Солопенко Д.В.**
Трансформация качества жизни населения региона: индикаторы, тренды и парадоксы развития
- 27 **Чистникова И.В.**
Моделирование эндогенного экономического роста регионов России
- 35 **Шлеенко А.В., Ваганова О.В.**
Моделирование взаимодействия региональных сред на основе методолого-математического подхода

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 45 **Клещунова А.О., Прядко С.Н., Коваленко М.Н.**
Проектирование потребительского опыта: тестирование CJM с использованием нейромаркетинговых технологий

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 65 **Коробейников Д.А., Корабельников И.С., Телекабель В.К.**
Принципы и модели формирования равноудаленной цифровой инфраструктуры в агропромышленном комплексе
- 74 **Степченкова О.С.**
Экономическая безопасность исследований и разработок в фармацевтической отрасли: моделирование токенизированной экосистемы

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 85 **Малышев А.А., Бородин А.И., Гордиенко М.С.**
Влияние эффекта якоря на доходность покупателя в сделках слияния и поглощения
- 96 **Пашкова Е.Н., Быканова Н.И., Карловская Е.А.**
Формирование экосистемы финансовой грамотности молодежи

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 111 **Хамитов Р.М., Куценко С.М., Салтанаева Е.А.**
Применение методов машинного обучения для выявления мошенничества в банковских транзакциях
- 122 **Наджджра М.Х., Бобышев П.П., Федоров В.И., Лозовая С.Ю., Бабенко А.А.**
Метод системно-объектного моделирования документооборота
- 136 **Коптелова Л.В., Маторин С.И.**
Структурный синтез материальных систем

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 144 **Катышев А.М., Аникин А.В.**
Использование моделей BERT и GPT как эффективное решение для автоматизации построения онтологий
- 153 **Виштак О.В., Очкур Г.В., Виштак Н.М., Грачев В.А.**
Интеллектуальный чат-бот как инструмент цифрового сопровождения дополнительного образования
- 164 **Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г.**
Автоматизация системно-объектного графического моделирования процессов
- 179 **Колесенков А.Н.**
Интеллектуальный анализ пространственных данных для прогнозирования социально-экономических и экологических процессов
- 191 **Галушин П.В., Галушина Е.Н.**
Информационная модель типологизации регионов России по показателям преступности

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 203 **Гавришев А.А., Осипов Д.Л.**
Применение опорного клиппированного сигнала в когерентной системе радиосвязи на основе многоуровневых хаотических сигналов
- 216 **Польщиков К.А., Терский М.О.**
Модель передачи сообщений в сети узкополосного интернета вещей газодобывающего предприятия
- 227 **Чурсин Д.С., Жиляков Е.Г., Черноморец А.А.**
О методе скрытного субполосного внедрения контрольной информации в цифровые изображения

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2026. Volume 53, No. 1

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

Founded in 1995

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

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

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

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Editor-in-Chief

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

Deputy Editor-in-Chief

E.A. 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, 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 Kazpotreboysuz, Karaganda, Kazakhstan)

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

ISSN 2687-0932

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

Publication frequency: 4 times per year

Commissioning Editor Y.V. 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 25,0. Date of publishing 30.03.2026. 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

- 5 **Buchwald E.M., Solovey Yu.A., Stryabkova E.A.**
Territorial Capital of the Central Federal District: Approaches to Spatial Mapping Using GIS Technologies
- 18 **Samarina V.P., Sklyarova E.A., Stogova Ya.A., Solopenko D.V.**
Transformation of the Region's Population Life Quality: Indicators, Trends and Paradoxes of Development
- 27 **Chistnikova I.V.**
Modeling of Endogenous Economic Growth in Russian Regions
- 35 **Shleenko A.V., Vaganova O.V.**
Modeling the Interaction between Regional Environments Based on a Methodological and Mathematical Approach

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 45 **Kleshchunova A.O., Pryadko S.N., Kovalenko M.N.**
Designing the Consumer Experience: CJM Testing Using Neuromarketing Technologies

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 65 **Korobeynikov D.A., Korabelnikov I.S., Telekabel V.K.**
Principles and Models for the Development of Equidistant Digital Infrastructure in the Agro-Industrial Complex
- 74 **Stepchenkova O.S.**
Economic Security of Research and Development in the Pharmaceutical Industry: Modeling a Tokenized Ecosystem

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

- 85 **Malyshev A.A., Borodin A.I., Gordienko M.S.**
The Impact of the Anchoring Effect on Acquirer Returns in Mergers and Acquisitions
- 96 **Pashkova E.N., Bykanova N.I., Karlovskaya E.A.**
Formation of an Ecosystem of Financial Literacy for Young People

COMPUTER SIMULATION

- 111 **Khamitov R.M., Kutsenko S.M., Saltanaeva E.A.**
Application of Machine Learning Methods to Detect Fraud in Bank Transactions
- 122 **Najajra M.H., Bobyshev P.P., Fedorov V.I., Lozovaya S.Yu., Babenko A.A.**
Method of System-Object Modeling of Document Flow
- 136 **Koptelova L.V., Matorin S.I.**
Structural Synthesis of Material Systems

SYSTEM ANALYSIS AND MANAGEMENT

- 144 **Katyshev A.M., Anikin A.V.**
Effective BERT and GPT Integration for Ontology Development
- 153 **Vishtak O.V., Ochkur G.V., Vishtak N.M., Grachev V.A.**
Intelligent Chatbot as a Tool for Digital Support of Continuing Education
- 164 **Dmitrieva Yu.V., Zhikharev A.G.**
Automation of System-Object Graphical Modeling of Processes
- 179 **Kolesenkov A.N.**
Intelligent Analysis of Spatial Data for Forecasting Socio-Economic and Environmental Processes
- 191 **Galushin P.V., Galushina E.N.**
Typology of Russian Regions by Crime Indicators: Information Model

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 203 **Gavrishev A.A., Osipov D.L.**
Application of a Clipped Reference Signal in a Coherent Radio Communication System Based on Multilevel Chaotic Signals
- 216 **Polshchikov K.A., Terskiy M.O.**
Model for Transmitting Messages in a Narrowband Internet of Things Network of a Gas Producing Enterprise
- 227 **Chursin D.S., Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A.**
On the Method of Hidden Subband Embedding of Control Information in Digital Images

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.13
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-5-17
EDN AXORJC

Территориальный капитал Центрального федерального округа: подходы к пространственному картографированию с использованием ГИС-технологий

¹Бухвальд Е.М., ²Соловей Ю.А., ²Стрябкова Е.А.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экономики Российской академии наук,
Россия, 117218, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 32

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
buchvald@mail.ru, 1134971@bsuedu.ru, stryabkova@bsuedu.ru

Аннотация. В данной статье представлены научно обоснованные подходы к оценке и пространственному картографированию территориального капитала субъектов Центрального федерального округа с применением геоинформационных систем (ГИС). В условиях усиления роли территориального развития в стратегии социально-экономического роста страны актуализируется необходимость комплексной визуализации и анализа многомерных показателей, отражающих экономический, человеческий, инфраструктурный и социальный потенциал регионов. Авторами разработана методика построения композитного индекса территориального капитала, включающая нормализацию и взвешивание ключевых индикаторов по группам. На основе данных Росстата и отраслевых ведомств выполнена оценка уровня капитала в регионах ЦФО за 2024 год. С использованием ГИС-технологий (QGIS, ArcGIS) реализовано пространственное моделирование и построение тематических карт, выявляющих чёткую иерархию развития: от высококонцентрированных ядер (Москва, Московская область) до периферийных территорий с низким уровнем капитализации. Выявлены пространственные паттерны, включая линейную концентрацию капитала вдоль магистральных транспортных коридоров и формирование промышленно-логистических кластеров. Показано, что ГИС-поддержка позволяет не только визуализировать, но и прогнозировать тенденции территориального развития, что делает её эффективным инструментом для органов государственной власти и стратегического планирования. Результаты исследования могут быть востребованы при разработке региональных программ модернизации, инвестиционной привлекательности и сбалансированного пространственного развития.

Ключевые слова: территориальный капитал, Центральный федеральный округ, ГИС, пространственный анализ, картографирование, композитный индекс, региональное развитие, визуализация данных, социально-экономическая дифференциация, цифровые платформы, государственное управление

Для цитирования: Бухвальд Е.М., Соловей Ю.А., Стрябкова Е.А. 2026. Территориальный капитал Центрального федерального округа: подходы к пространственному картографированию с использованием ГИС-технологий. *Экономика. Информатика*, 53(1): 5–17. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-5-17. EDN AXORJC



Territorial Capital of the Central Federal District: Approaches to Spatial Mapping Using GIS Technologies

¹Evgeniy M. Buchwald, ²Yulia A. Solovey, ²Elena A. Stryabkova

¹Federal State Budgetary Institution of Science
Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences
32 Nakhimovsky Ave., Moscow 117218, Russia

²Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
buchvald@mail.ru, 1134971@bsuedu.ru, stryabkova@bsuedu.ru

Abstract. This article presents scientifically based approaches to assessing and spatially mapping the territorial capital of the constituent entities of the Central Federal District using geographic information systems (GIS). With territorial development playing an increasingly important role in the country's socioeconomic growth strategy, the need for comprehensive visualization and analysis of multidimensional indicators reflecting the economic, human, infrastructural, and social potential of the regions has become increasingly urgent. The authors have developed a methodology for constructing a composite index of territorial capital, including the normalization and weighting of key indicators by group. Based on data from Rosstat and industry agencies, an assessment of capital levels in the regions of the Central Federal District for 2024 was conducted. GIS technologies (QGIS, ArcGIS) allowed spatial modeling and compiling thematic maps, revealing a clear development hierarchy: from highly concentrated cores (Moscow, Moscow Region) to peripheral territories with low capitalization. Spatial patterns were identified, including the linear concentration of capital along main transport corridors and the formation of industrial and logistics clusters. The study shows that GIS support allows not only for visualization but also for forecasting territorial development trends, making it an effective tool for government agencies and strategic planners. The authors' findings can be used in developing regional modernization programs, investment attraction, and balanced spatial development.

Keywords: territorial capital, Central Federal District, GIS, spatial analysis, mapping, composite index, regional development, data visualization, socioeconomic differentiation, digital platforms, public administration

For citation: Buchwald E.M., Solovey Yu.A., Stryabkova E.A. 2026. Territorial Capital of the Central Federal District: Approaches to Spatial Mapping Using GIS Technologies. *Economics. Information technologies*, 53(1): 5–17 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-5-17. EDN AXORJC

Введение

В условиях нарастающих социально-экономических и экологических вызовов критически возрастает потребность в точных инструментах для управления развитием территорий. Именно поэтому исследование, представленное в статье, является актуальным. ГИС-технологии позволяют реализовать потенциал концепции территориального капитала – комплексного подхода, объединяющего природные, инфраструктурные, человеческие, культурные и институциональные ресурсы. Современные методы пространственного анализа и визуализации необходимы для того, чтобы наглядно отобразить и проанализировать сложную структуру и неравномерное распределение этих активов на карте.

Геоинформационные системы (ГИС) выступают ключевым технологическим решением, позволяющим интегрировать разнородные данные – от официальной статистики и кадастровых сведений до результатов социологических опросов и спутниковых снимков. Благодаря возможностям пространственного анализа, ГИС дают возможность не только фиксировать текущее состояние территориального капитала, но и моделировать сценарии его трансформации под влиянием управленческих решений, инфраструктурных проектов или внешних шоков. Это особенно важно для России с её выраженной межрегиональной

дифференциацией: выявление «горячих точек» концентрации капитала и зон его дефицита становится основой для сбалансированной региональной политики.

На уровне государственного управления актуальность темы подкрепляется реализацией Стратегии пространственного развития РФ, где акцент сделан на развитие опорных населённых пунктов, геостратегических территорий и транспортной инфраструктуры. ГИС-картографирование позволяет визуализировать целевые показатели стратегии, отслеживать динамику их достижения и корректировать меры поддержки регионов. Например, анализ пространственного распределения человеческого капитала помогает планировать размещение образовательных учреждений, а моделирование экологических рисков – оптимизировать землепользование.

С научной точки зрения проблема остаётся недостаточно разработанной: отсутствуют унифицированные методики картографирования нематериальных компонентов территориального капитала (социальных сетей, репутационного потенциала, локальной идентичности). Исследования в этой области могут предложить новые подходы к оценке, например, через интеграцию данных социальных медиа с геопространственными слоями или анализ плотности культурных объектов на карте. Это расширит теоретическую базу региональной экономики и повысит точность прогнозных моделей.

Практическая значимость ГИС-анализа проявляется в решении прикладных задач: от оптимизации логистических коридоров до развития туризма и охраны наследия. Так, картографирование природного капитала позволяет выявлять территории с высоким экосистемным потенциалом для создания особо охраняемых зон, а анализ транспортной доступности – корректировать инвестиционные стратегии. Кроме того, визуализация данных через ГИС повышает прозрачность взаимодействия власти, бизнеса и местного сообщества, что критически важно для легитимации градостроительных решений.

Глобальные тренды – цифровизация, рост объёма открытых геоданных, развитие методов машинного обучения – создают дополнительные возможности для углублённого изучения территориального капитала. Интеграция ГИС с Big Data и искусственным интеллектом открывает перспективы для прогнозирования долгосрочных эффектов урбанизации, климатических изменений или миграционных потоков. В условиях усиления конкуренции между регионами способность оперативно анализировать и визуализировать пространственные данные становится конкурентным преимуществом, определяющим устойчивость территориального развития.

Таким образом, исследование на стыке картографирования, ГИС и территориального капитала отвечает актуальным запросам науки, управления и практики, предлагая инструменты для перехода от интуитивных решений к доказательной политике пространственного развития.

Обзор литературы

Понятие территориального капитала активно используется в современной региональной экономике для анализа факторов, влияющих на конкурентоспособность и устойчивое развитие регионов. Картографирование этого капитала – важный инструмент для визуализации и оценки распределения ресурсов на территории, что позволяет выявлять зоны роста, а также ареалы, находящиеся в состоянии отставания.

Зарубежная научная мысль рассматривает территориальный капитал как совокупность материальных и нематериальных активов, способных генерировать экономическое развитие. Одними из ключевых исследователей в этой области являются Роберта Капелло, Андреа Каралью и Питер Нийкамп. В их работах (в частности, в дискуссионном документе Tinbergen Institute, 2009) территориальный капитал структурируется по следующим компонентам:

- природный капитал – природные ресурсы и экосистемные услуги;

- производственный капитал – инфраструктура, промышленные мощности, транспортные сети;
- человеческий капитал – уровень образования, квалификации, инновационная активность населения;
- социальный капитал – сети доверия, институты, культура сотрудничества;
- институциональный капитал – качество управления, прозрачность, эффективность местного самоуправления;
- креативный (инновационный) капитал – научные центры, кластеры, патентная активность [Capello, Caragliu, Nijkamp, 2009].

Картографирование в этом контексте позволяет выявить пространственные диспропорции и зоны с высокой концентрацией когнитивных ресурсов. Например, исследования Р. Гиффингера (2008) показывают, что успешные города и регионы обладают высоким уровнем территориального интеллекта, который становится основой для устойчивого роста [Giffinger, Fertner, Kramar, Kalasek, Pichler-Milanovic, Meijers, 2007].

Российские экономисты также активно развивают эту тему, адаптируя западные концепции к специфике российского пространства. Среди ведущих авторов – А.В. Суворова, которая в своих работах (2021–2022) предлагает методологию измерения и пространственной организации территориального капитала [Суворова, 2021; Суворова, 2022].

По её мнению, в России можно выделить три ключевых компонента:

- природно-ресурсный капитал – доминирует в арктических и восточных регионах (Якутия, ХМАО, ЯНАО);
- производственный капитал – сконцентрирован в Центральном, Приволжском и Уральском федеральных округах;
- креативный капитал – крайне неравномерно распределён, с явной концентрацией в Москве, Санкт-Петербурге и крупных университетских центрах (Новосибирск, Екатеринбург, Казань).

Суворова А.В. отмечает, что наименее оптимально организовано пространство функционирования креативного капитала, что препятствует его превращению в драйвер национального роста. Также выявлены ареалы, удалённые от зон концентрации активов, которые находятся под угрозой «выпадения» из экономического пространства [Суворова, 2021; Суворова, 2022].

Другие российские исследователи, такие как В.В. Столбов, М.Д. Шарыгин, Ю.А. Соловьёва, подчёркивают важность институциональной среды и качества регионального управления как факторов, усиливающих или, наоборот, ослабляющих территориальный капитал [Столбов, Шарыгин, 2016].

И отечественные, и зарубежные учёные сходятся во мнении, что территориальный капитал – это многомерное понятие, требующее комплексного подхода к измерению и управлению. Картографирование позволяет не просто «увидеть» экономическое неравенство, но и обосновать управленческие решения, направленные на сбалансированное развитие регионов.

Результаты исследования и дискуссия

Применение ГИС, статистических и экспертных методов в картографировании территориального капитала

Под картографированием территориального капитала следует понимать процесс создания карт, которые отражают компоненты территориального капитала – совокупности активов и ресурсов, локализованных на территории.

Цель картографирования – наглядно представить пространственную организацию элементов территориального капитала, сравнить распределение ресурсов в разных территориях, проанализировать потенциал территорий для дальнейшего развития.

Для картографирования территориального капитала (набора активов, локализованных на территории, которые обеспечивают потенциал развития) используют разные методы, которые могут быть статистическими, геоинформационными (ГИС) или основанными на экспертных оценках.

В практике картографического моделирования территориального капитала применяются статистические методы визуализации пространственных данных.

Картограммы – способ схематического представления сравнительной интенсивности исследуемого явления в разрезе территориальных единиц. В рамках данного метода выделяют:

- фоновые картограммы – используются для визуализации средних величин или относительных показателей (например, уровня безработицы по регионам, плотности населения на единицу площади и т. д.);
- точечные картограммы – предназначены для отображения абсолютных показателей (например, общего числа предприятий, количества образовательных учреждений в пределах административной единицы и пр.).

Картодиаграммы – метод картографического представления абсолютных суммарных показателей, характеризующих территориальную ячейку как целостную единицу. Графические элементы (столбцы, круги, структурные диаграммы и т. п.) размещаются в соответствии с сеткой административного или иного территориального деления и отражают агрегированные значения для каждой ячейки (например, совокупный объём промышленного производства, общую площадь сельскохозяйственных угодий и т. д.).

Метод изолиний и псевдоизолиний – техника картографического моделирования, основанная на интерполяции данных и соединении точек с идентичными значениями показателя плавными линиями (изолиниями). Метод применим для отображения как абсолютных, так и относительных величин (например, уровня доходов населения, плотности транспортной сети).

В социально-экономической картографии широко используется модификация метода – псевдоизолинии. В отличие от классических изолиний, они строятся не по непрерывным данным, а через геометрические центры территориальных ячеек. Каждой такой точке присваиваются средние или суммарные показатели, рассчитанные для соответствующей территориальной единицы. Это позволяет адаптировать метод к дискретным пространственным данным административного деления и визуализировать тенденции распределения явления в условиях ограниченной плотности исходной информации [Замков, Толкачёв, 2023].

Геоинформационные системы (ГИС) представляют собой эффективный инструмент анализа и визуализации пространственных данных, связанных с территориальным капиталом. Ключевыми особенностями их применения являются создание цифровых и электронных карт – с возможностью генерации производных картографических продуктов на основе базовой цифровой карты, интеграции её с тематическими данными из баз данных и установления пространственных связей и топологических отношений между объектами (соседства, пересечения, включения и т. д.), – а также использование в качестве базовых слоёв ГИС разнообразных картографических материалов с надёжной территориальной привязкой: топографических и общегеографических карт, карт административно-территориального деления, кадастровых планов и иных данных. Благодаря наличию координатной привязки, проекции и масштаба такие материалы легко импортируются и геореференцируются в ГИС, что позволяет на их основе анализировать компоненты территориального капитала (природные ресурсы, инфраструктуру, человеческий потенциал и пр.) и выявлять закономерности их пространственного распределения [Ковалёв, 2023].

ГИС помогают выявлять области концентрации активов, которые отличаются от соседних территорий или служат элементами больших центров ресурсов. Например, в исследованиях территориального капитала используют метод пространственной

автокорреляции, который позволяет обнаружить области концентрации (пространственные кластеры, включающие большое количество территориальных единиц).

В картографировании территориального капитала могут использоваться аналитические экспертные оценки и метод формализованных оценок. Например, в геоэкологическом картографировании применяют метод экспертных оценок для количественной оценки геоэкологической комфортности городской среды. Весовые коэффициенты важности, рассчитанные по результатам экспертного опроса, отображают вклад исследуемого фактора в результирующий индекс геоэкологической комфортности для определённого типа функциональной зоны.

Однако экспертные оценки основаны на субъективном мнении экспертов, поэтому результаты оценки одного и того же объекта, полученные разными специалистами, могут иметь значительные расхождения.

Применение ГИС-технологий и пространственного анализа для оценки территориального капитала регионов ЦФО

На период 2023–2025 гг. в России наблюдается активное развитие геоинформационных систем (ГИС) как ключевого инструмента для картографирования и анализа территориального капитала – совокупности природных, человеческих, институциональных и производственных ресурсов, определяющих экономический потенциал региона.

С 2023 года в России ускорился процесс импортозамещения геоинформационных технологий. В августе 2023 года был принят закон, запрещающий государственным органам и стратегическим организациям использовать иностранные ГИС-решения (включая ArcGIS, Google Maps и др.) для обработки пространственных данных. С 1 апреля 2024 года контроль за соблюдением этого требования перешёл к Минцифры России. Это стало мощным стимулом для развития отечественных ГИС-платформ (рис. 1).

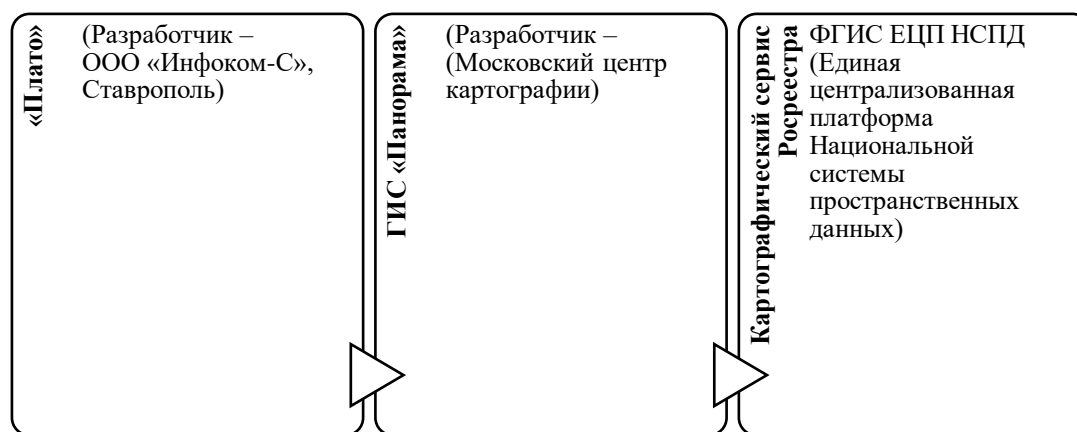


Рис. 1. Перечень отечественных ГИС-платформ
Fig. 1. List of domestic GIS platforms

Одним из ключевых проектов 2023–2025 гг. стала реализация Федерального проекта «Национальная система пространственных данных» (НСПД), инициированного распоряжением Правительства РФ от 06.10.2021 № 2816-р. Ключевыми функциями НСПД являются:

- создание единой электронной картографической основы для всей страны;
- интеграция данных из 27 федеральных информационных систем, включая ЕГРН, кадастр, градостроительные реестры, транспортные и экологические базы;
- обеспечение межведомственного взаимодействия в режиме «одного окна».

К ключевым сервисам НСПД по состоянию на 2025 год следует отнести:

- «Мой адрес» – точная привязка адресов к координатам;
- «Земля просто» – упрощённый доступ к сведениям о земельных участках;
- «Градостроительная проработка онлайн» – визуализация зонирования и разрешённого использования;
- «Умный кадастр» – аналитика по объектам недвижимости и земле;
- «Места для малого бизнеса» – подбор территорий под коммерческую деятельность.

К 2025 году платформа НСПД охватила 50 субъектов РФ, с более чем 3,8 млн просмотров в месяц и 3,2 млн визитов. Она стала основой для картографирования территориального капитала на региональном уровне.

ГИС-технологии активно применяются в аспекте территориального капитала – они позволяют интегрировать разнородные данные и визуализировать их на карте, что критически важно для анализа. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Применение ГИС в анализе территориального капитала
Application of GIS in the analysis of territorial capital

Компонент капитала	Источники данных в ГИС	Примеры анализа
Природный капитал	Цифровые топокарты, ортофотопланы, данные Роснедр	Оценка ресурсной базы региона, мониторинг землепользования
Производственный капитал	Реестры промышленных объектов, транспортные сети	Анализ логистических узлов, промышленных кластеров
Человеческий капитал	Данные Росстата, образовательные учреждения	Картирование образовательной доступности, миграционные потоки
Институциональный капитал	Реестры госуправления, данные по госзакупкам	Оценка эффективности местного самоуправления
Креативный капитал	Научные центры, патенты, IT-компании	Выявление инновационных кластеров, «умных городов»

Примечание. Составлено авторами

Особое внимание в 2024–2025 гг. уделяется цифровой платформе «Плато», разработанной компанией «Инфоком-С». В отличие от традиционных ГИС, «Плато» строится на единой онтологической модели данных, что позволяет:

- интегрировать разнородные источники без конфликтов (например, кадастровые и экологические данные);
- использовать No-Code интерфейс для создания специализированных приложений (например, «Карта инвестиционных проектов»);
- строить цифровые модели территорий (ЦМТ) – не просто карты, а динамические модели с возможностью симуляции сценариев (например, последствия застройки или изменения экосистемы).

Платформа уже используется в Ставропольском крае, Белгородской, Калужской и Новосибирской областях для планирования развития инфраструктуры и оценки инвестиционной привлекательности.

Современный пространственный анализ в России выходит за рамки простого отображения данных. В 2023–2025 гг. активно внедряются:

- машинное обучение для выявления паттернов (например, корреляции между уровнем образования и ВРП);
- индексы территориального капитала – агрегированные показатели, позволяющие ранжировать регионы;

• сценарное моделирование – например, оценка влияния строительства нового завода на занятость и миграцию.

Так, в 2024 году Росстат и Минэкономразвития совместно разработали Региональный индекс территориального потенциала, включающий 12 показателей, визуализированных через ГИС-интерфейс.

Ключевым инструментом для оценки и реализации картографирования территориального капитала с использованием ГИС-технологий и методов пространственного анализа выступает индекс территориального капитала регионов России, который следует интерпретировать как комплексный показатель, позволяющий объективно оценить, сравнить и визуализировать уровень развития территориального капитала в различных субъектах страны. Его построение и использование – ключевые элементы картографирования территориального капитала, поскольку индекс превращает разрозненные данные в пространственно интерпретируемый аналитический инструмент.

Следует отметить, что данного показателя в открытых официальных статистических источниках, к примеру, как Росстат, нет. Однако, сгруппировав все необходимые экономические, социальные и инфраструктурные данные, этот показатель может быть рассчитан самостоятельно, для этого предлагается следующая методика расчета, которая включает в себя 4 этапа (рис. 2).

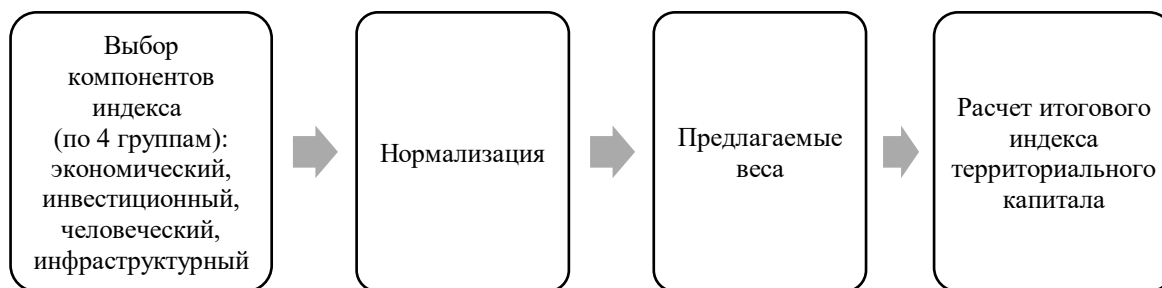


Рис. 2. Методология расчета индекса территориального капитала
 Fig. 2. Methodology for calculating the territorial capital index

Для сравнительного анализа регионов следует использовать объективные, статистически подтвержденные данные (Росстат, Минэкономразвития, Минздрав и др.).

Для стратегического планирования рекомендуется включать прогнозные показатели (например, рост IT-сектора, миграционный прирост).

Перейдем непосредственно к характеристике каждого этапа, представленного на рис. 2.

Первым этапом является выбор компонентов индекса. Выделим 4 группы, представим показатели и источники данных для их сбора (табл. 2).

Таблица 2
 Table 2

Компоненты для определения индекса территориального капитала
 Components for determining the territorial capital index

Группа капитала	Показатель	Источник данных
Экономический	ВРП на душу населения (тыс. руб.)	Росстат
Инвестиционный	Инвестиции в основной капитал на душу населения (тыс. руб.)	Росстат
Человеческий	Средний балл ЕГЭ (на базе доступных данных)	Минобрнауки
Инфраструктурный	Плотность автомобильных дорог (км/1000 км ²)	Росавтодор, Росстат

Примечание. Составлено авторами

Второй этап – нормализация, которая может быть осуществлена по следующей формуле:

$$x_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}. \quad (1)$$

При этом нормативом следует считать значение от 0 до 1, где 1 – лучшее значение.

Следующим этапом, исходя из данных рис. 2, являются предлагаемые веса. Так, веса имеют вид:

- экономический – 40 %;
- инвестиционный – 30 %;
- человеческий – 20 %;
- инфраструктурный – 10 %.

Последним завершающим этапом является определение самого индекса, который рассчитывается по следующей формуле, с учетом представленных выше этапов:

$$\text{Индекс территориального капитала} = 0.4 \cdot \text{ВРП}_{norm} + 0.3 \cdot \text{Инв}_{norm} + 0.2 \cdot \text{ЕГЭ}_{norm} + 0.1 \cdot \text{Дороги}_{norm} \quad (2)$$

В следующей табл. 3 представлен расчет.

Центральный федеральный округ (ЦФО) – один из ключевых экономических и демографических центров России, включающий 18 субъектов, в том числе Москву и Московскую область. Изучение территориального капитала регионов ЦФО с использованием ГИС-технологий и пространственного анализа позволяет не только оценить уровень развития, но и выявить внутриокружные диспропорции, определить полюса роста и зоны с отставанием.

Анализ расчётного индекса территориального капитала регионов ЦФО за 2024 год выявил четкие тенденции развития, внутриокружные диспропорции и стратегические точки роста, что позволяет сформулировать ряд ключевых выводов для государственного и муниципального управления (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Расчетный индекс территориального капитала регионов ЦФО за 2024 год
Estimated index of territorial capital of the Central Federal District regions for 2024

Субъект РФ	ВРП на душу населения (тыс. руб.)	Инвестиции на душу населения (тыс. руб.)	Средний балл ЕГЭ	Плотность дорог (км/1000 км ²)	Индекс (0–1)	Ранг
1	2	3	4	5	6	7
г. Москва	6 200	280	72.5	185	1,000	1
Московская область	1 850	95	68.0	85	0,782	2
Белгородская область	820	42	64.5	78	0,561	6
Липецкая область	1 150	68	63.0	72	0,613	5
Тульская область	780	45	62.8	70	0,532	7
Курская область	680	38	62.0	68	0,498	8
Воронежская область	720	40	63.5	75	0,547	9
Калужская область	1 020	75	66.0	80	0,674	3
Ярославская область	790	48	65.2	76	0,589	4
Орловская область	580	28	61.0	65	0,442	10

Окончание табл. 3
 End of Table 3

1	2	3	4	5	6	7
Смоленская область	620	30	61.5	67	0,463	11
Тверская область	690	35	62.2	69	0,481	12
Ивановская область	480	22	60.0	63	0,387	13
Брянская область	540	25	60.8	64	0,412	14
Владимирская область	600	29	61.8	66	0,431	15
Рязанская область	610	31	62.0	67	0,452	16
Тамбовская область	530	24	60.5	62	0,401	17

Примечание. Составлено авторами

С использованием ГИС-технологий реализовано цветовое разделение территорий и выполнено картографирование территориального капитала в регионах ЦФО (рис. 3). Такой подход позволяет быстро оценить распределение показателя по территории и сравнить регионы между собой. На карте цветовым кодированием выделены четыре группы субъектов: лидеры по всем компонентам, аутсайдеры, сильные регионы с промышленной базой и регионы со средними значениями по всем компонентам территориального капитала.

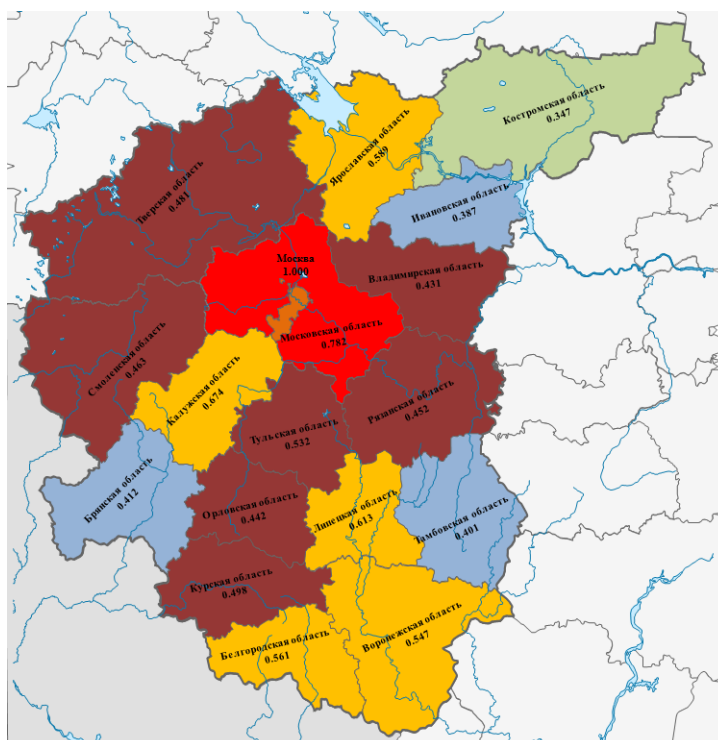


Рис. 3. Визуализация территориального капитала регионов ЦФО методом ГИС-картографирования
 Fig. 3. Visualization of the territorial capital of the Central Federal District regions using GIS mapping

Примечание. Составлено авторами

Из табл. 3 и рис. 3 следует сделать вывод, что лидерами по индексу территориального капитала являются Москва и Московская область – доминируют по всем параметрам.

Сильные регионы с промышленной базой – Калужская, Воронежская, Липецкая, Ярославская, Белгородская области – входят в топ-6–7. Белгородская область находится на 6-м месте, что отражает её стабильное развитие, особенно в промышленности и логистике (трасса М-2).

Средние регионы – Тульская, Курская, Орловская, Смоленская, Тверская, Владимирская и Рязанская области.

Аутсайдеры – Иваново, Брянск, Тамбов – низкие показатели по всем компонентам.

Расчётный индекс территориального капитала регионов ЦФО за 2024 год показывает, что:

- округ обладает высоким и средним потенциалом, но с острой неоднородностью;
- Москва доминирует, формируя «эффект тени» для соседей;
- регионы со средним индексом (включая Белгородскую область) имеют шанс на рост при условии целенаправленных инвестиций в креативный и институциональный капитал;
- ГИС и пространственный анализ позволяют не только измерить, но и спланировать развитие с учётом географической логики.

В 2026 году планируется расчёт индекса на уровне муниципалитетов ЦФО, что сделает политику ещё более точной и эффективной.

Заключение

Таким образом, территориальный капитал Центрального федерального округа представляет собой сложную многомерную систему, включающую природные, производственные, человеческие, социальные, институциональные и креативные ресурсы, пространственное распределение которых характеризуется значительной неоднородностью. Анализ с использованием расчётного индекса территориального капитала за 2024 год показал, что большая часть субъектов Центрального федерального округа обладает высоким и средним потенциалом, однако развитие его субъектов крайне поляризовано: Москва и Московская область с индексами 1 и 0,782 формируют мощное ядро роста, в то время как регионы периферийной зоны – Ивановская, Тамбовская области – демонстрируют низкие значения (0,387–0,401), что свидетельствует о сохраняющемся эффекте центробежной концентрации ресурсов и усилении географического неравенства.

ГИС-технологии стали основой для комплексного анализа территориального капитала в России. В 2025 году сообщалось о планах по расширению функционала НСПД, включая сервисы «Конструктор анализа пространственных данных» и «Аналитика рынка недвижимости».

Особую значимость приобретает переход от описательного подхода к активному использованию цифровых моделей территорий (ЦМТ) для сценарного моделирования развития, что особенно актуально для регионов со средним потенциалом, таких как Белгородская, Липецкая и Курская области, где при целенаправленной политике возможно существенное повышение уровня территориального капитала. Таким образом, сочетание расчётного индекса и ГИС-технологий формирует современную научно-методологическую базу для пространственного управления, позволяя перейти от интуитивных решений к управлению, основанному на данных, что особенно важно в условиях цифровой трансформации государственного управления и необходимости обеспечения сбалансированного и устойчивого развития территории.

В настоящее время Россия находится на этапе формирования единого цифрового геопространства, где картографирование территориального капитала становится не просто аналитическим инструментом, а основой государственной политики в области регионального развития.

Список источников

Министерство экономического развития Российской Федерации. Стратегия пространственного развития Российской Федерации до 2030 года. URL: <https://www.economy.gov.ru/> (дата обращения: 12.02.2025).

- Национальная система пространственных данных: принципы построения и функционирования. 2023. М. Минцифры России: 104–105.
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат). URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 25.02.2025).
- ФГБУ «Федеральная кадастровая палата Росреестра». Геопортал НСПД. URL: <https://rosreestr.gov.ru/> (дата обращения: 26.02.2025).
- Цифровая модель территории: методология и применение. 2024. М.: ООО «Инфоком-С»: 170–171.
- OECD. Handbook on Measuring the Space Economy. 2023. Paris: OECD Publishing, 245 p. DOI: 10.1787/9789264308988-en
- UN-Habitat. State of the World's Cities 2022/2023: Envisaging the Future of Cities. 2023. Nairobi: UN-Habitat, 198 p.

Список литературы

- Беляков А.В., Смирнова Е.Р. 2023. Пространственная автокорреляция социально-экономических показателей в российских регионах. *Регионоведение*, 31, 2: 112–1928. DOI: 10.15507/2413-1407.122.031.202302.112-128.
- Волков Д.Н. 2024. Геоинформационные системы в управлении территориальным развитием: от картографии к цифровым моделям. *Известия РАН. Серия географическая*, 1: 78–89.
- Григорьев Л.М., Кисляков В.Г. 2023. Индекс развития человеческого потенциала в российских регионах: методика расчёта и пространственный анализ. *Экономика региона*, 19, 4: 1034–1048.
- Замков О.О., Толкачев С.Н. 2023. Экономико-географическое прогнозирование с использованием ГИС-технологий. *География и природные ресурсы*, 2: 95–103.
- Иванов П.К., Соколова Т.Д. 2022. Территориальные кластеры и их роль в формировании региональной конкурентоспособности. *Проблемы прогнозирования*, 6: 56–69.
- Ковалёв А.И. 2023. Пространственный анализ в региональной экономике: методы и приложения. *Финансы и статистика*: 202–204.
- Петров А.А., Сидоров Д.В. 2024. ГИС-платформа «Плато» как инструмент цифрового управления территорией. *Информационные технологии в проектировании и управлении*, 1: 33–42.
- Савельева И.М., Фёдоров Д.Л. 2023. Креативный капитал региона: методика оценки и пространственное распределение. *Вестник Томского государственного университета*, 485: 156–167.
- Суворова А.В. 2021. Измерение территориального капитала: сущность и особенности. *Креативная экономика*, 15(9): 3593–3610. DOI: 10.18334/ce.15.9.113504.
- Суворова А.В. 2022. Территориальный капитал регионов России и его пространственная организация. *R-экономика*, 8(2): 106–119. DOI: 10.15826/recon.2022.8.2.009.
- Столбов В.А., Шарыгин М.Д. 2016. Региональный капитал: сущность и подходы к оценке. *Регион: системы, экономика, управление*, 4: 509–517.
- Тихонов А.И., Маслова И.С. 2022. Поляризация регионального развития в России: факторы и последствия. *Россия: регионы. Проблемы. Перспективы*, 4: 22–35.
- Шевяков А.Ю. 2023. Социальный капитал и устойчивое развитие региона. *Социология: теория, методология, маркетинг*, 2: 88–101.
- Capello R., Caragliu A., Nijkamp P. 2009. Territorial Capital and Regional Growth: Increasing Returns in Cognitive Knowledge Use. Tinbergen Institute Discussion Paper, 09-059/3. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/86826/1/09-059.pdf>
- Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanovic N., Meijers E. 2007. Smart cities Ranking of European medium-sized cities.

References

- Belyakov A.V., Smirnova E.R. 2023. Spatial autocorrelation of socio-economic indicators in Russian regions. *Regionology*, 31, 2: 112–128. DOI: 10.15507/2413-1407.122.031.202302.112-128.
- Volkov D.N. 2024. Geoinformation systems in territorial development management: from cartography to digital models. *News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*, 1: 78–89.
- Grigoriev L.M., Kislyakov V.G. 2023. Human Development Index in Russian regions: calculation methodology and spatial analysis. *Economics of the Region*, 19, 4: 1034–1048.
- Zamkov O.O., Tolkachev S.N. 2023. Economic and geographical forecasting using GIS technologies. *Geography and Natural Resources*, 2: 95–103.

- Ivanov P.K., Sokolova T.D. 2022. Territorial clusters and their role in shaping regional competitiveness. *Problems of forecasting*, 6: 56–69.
- Kovalev A.I. 2023. Spatial analysis in the regional economy: methods and applications. *Finance and Statistics*: 202–204.
- Petrov A.A., Sidorov D.V. 2024. The Plateau GIS platform as a tool for digital territory management. *Information Technologies in Design and Management*, 1: 33–42.
- Savelyeva I.M., Fedorov D.L. 2023. Creative capital of the region: assessment methodology and spatial distribution. *Bulletin of Tomsk State University*, 485: 156–167.
- Suvorova A.V. 2021. Measurement of territorial capital: the essence and features. *Creative Economy*, 15(9): 3593–3610. DOI:10.18334/ce.15.9.113504.
- Suvorova A.V. 2022. The territorial capital of the regions of Russia and its spatial organization. *R-economy*, 8(2): 106–119. DOI: 10.15826/recon.2022.8.2.009.
- Stolbov V.A., Sharygin M.D. 2016. Regional capital: the essence and approaches to assessment. *Region: Systems, Economics, Management*, 4: 509–517.
- Tikhonov A.I., Maslova I.S. 2022. The polarization of regional development in Russia: factors and consequences. *Russia: regions. Problems. Perspectives*, 4: 22–35.
- Shevyakov A.Y. 2023. Social capital and sustainable development of the region. *Sociology: Theory, Methodology, Marketing*, 2: 88–101.
- Capello R., Caragliu A., Nijkamp P. 2009. Territorial Capital and Regional Growth: Increasing Returns in Cognitive Knowledge Use. Tinbergen Institute Discussion Paper, 09-059/3. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/86826/1/09-059.pdf>
- Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanovic N., Meijers E. 2007. Smart cities Ranking of European medium-sized cities.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 15.12.2025

Поступила после рецензирования 22.01.2026

Принята к публикации 29.01.2026

Received December 15, 2025

Revised January 22, 2026

Accepted January 29, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бухвальд Евгений Моисеевич, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Центра федеративных отношений и регионального развития, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономики Российской академии наук, г. Москва, Россия

Соловей Юлия Александровна, 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

Evgeniy M. Buchwald, Doctor of Economics, Professor, Chief Scientific Officer of the Center for Federal Relations and Regional Development, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yulia A. Solovey, 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 332.1

DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-18-26

EDN AZDSSS

Трансформация качества жизни населения региона: индикаторы, тренды и парадоксы развития

¹Самарина В.П., ²Склярова Е.А., ³Стогова Я.А., ¹Солопенко Д.В.

¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС»,
Россия, 309516, Белгородская область, г. Старый Оскол, м-н Макаренко, д. 42

²Старооскольский филиал Белгородского государственного университета,
Россия, 309502, Белгородская область, г. Старый Оскол, м-н Солнечный, д. 18

³Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»,
Россия, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 14

samarina_vp@mail.ru, katia.nekrasova96@yandex.ru, ya.strogoва@ksc.ru, sherlok mood@yandex.ru

Аннотация. В условиях усиления региональной дифференциации и новых социально-экономических вызовов проблема адекватной оценки качества жизни населения приобретает первостепенное значение. Отсутствие унифицированной методики оценки и сложность учета многокомпонентной природы данной категории обуславливают необходимость поиска обоснованного и информативного инструментария. В статье предложен авторский подход к оценке качества жизни на региональном уровне, базирующийся на анализе динамики узкого круга результирующих показателей, интегрирующих влияние ключевых факторов социально-экономического развития и отражающих конечную эффективность региональной политики. Новизна подхода заключается в фокусировании не на статическом наборе индикаторов, а на выявлении противоречий в их динамике, что позволяет диагностировать глубинные проблемы и «точки роста» территории. Апробация методики проведена на материалах Воронежской области – региона-лидера Центральной России, стратегия развития которого до 2035 года декларирует достижение высокого качества жизни. Эмпирическая база исследования охватывает период 2013–2024 гг. и основана на данных официальной статистики. Результаты демонстрируют неоднозначную картину: на фоне безусловного прогресса в росте реальных доходов (снижение доли бедного населения на 30 %) и покупательной способности заработной платы (рост соотношения с продуктовой корзиной с 7,9 до 9 раз), фиксируется устойчивый тренд депопуляции. Выявленный парадокс «экономического роста без демографического воспроизводства» ставит под сомнение линейную трактовку понятия «качество жизни» и указывает на наличие неучтенных факторов, снижающих привлекательность региона для постоянного проживания. Статья имеет высокую практическую значимость, предлагая инструмент для мониторинга эффективности социальной политики и обоснования управленческих решений, направленных на преодоление выявленных диспропорций.

Ключевые слова: качество жизни, региональная экономика, социально-экономическое развитие, результирующие показатели, демографическая динамика, уровень бедности, покупательная способность, численность населения, естественный прирост, уровень бедности, заработная плата

Для цитирования: Самарина В.П., Склярова Е.А., Стогова Я.А., Солопенко Д.В. 2026. Трансформация качества жизни населения региона: индикаторы, тренды и парадоксы развития. *Экономика. Информатика*, 53(1): 18–26. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-18-26. EDN AZDSSS

Transformation of the Region's Population Life Quality: Indicators, Trends and Paradoxes of Development

¹Vera P. Samarina, ²Elena A. Sklyarova, ³Yana A. Stogova, ¹Darya V. Solopenko

¹Stary Oskol Technological Institute (branch) of the National Research Technological Institute MISIS
42 Makarenko microdistrict, Stary Oskol 309516, Belgorod Region, Russia

²Stary Oskol branch of Belgorod State National Research University

18 Solnechny microdistrict, Stary Oskol 309502, Belgorod Region, Russia

³Federal Research Center "Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences"

14 Fersman St., Apatity 184209, Russia

samarina_vp@mail.ru, katia.nekrasova96@yandex.ru, ya.stogova@ksc.ru, sherlok mood@yandex.ru

Abstract. In the context of increasing regional differentiation and new socio-economic challenges, the problem of adequately assessing the population's quality of life becomes of paramount importance. The absence of a unified assessment methodology and the complexity of accounting for the multicomponent nature of this category necessitate the search for valid and informative tools. The article proposes an original approach to assessing the quality of life at the regional level. It is based on analyzing the dynamics of a narrow set of resulting indicators that integrate the influence of key factors of socio-economic development and reflect the ultimate effectiveness of regional policy. The novelty of the approach lies in focusing not on a static set of indicators but on identifying contradictions in their dynamics, which makes it possible to diagnose deep-seated problems and "growth points" of the territory. The methodology was tested using data from the Voronezh Region, a leading region in Central Russia whose development strategy until 2035 declares the achievement of a high quality of life. The empirical base covers the period 2013–2024 and relies on official statistics. The results reveal an ambiguous picture: against the backdrop of undeniable progress in the growth of real incomes (a 30 % reduction in the poor population share) and the purchasing power of wages (an increase in the ratio to the food basket from 7.9 to 9 times), a steady trend of depopulation is recorded. The revealed paradox of "economic growth without demographic reproduction" challenges the linear interpretation of the "quality of life" concept and indicates the presence of unaccounted factors that reduce the region's attractiveness for permanent residence. The article has high practical significance, offering a tool for monitoring the effectiveness of social policy and substantiating management decisions aimed at overcoming the identified imbalances.

Keywords: quality of life, regional economy, socio-economic development, resulting indicators, demographic dynamics, poverty level, purchasing power, population size, natural growth, poverty rate, wages

For citation: Samarina V.P., Sklyarova E.A., Stogova Ya.A., Solopenko D.V. 2026. Transformation of the Region's Population Life Quality: Indicators, Trends and Paradoxes of Development. *Economics. Information technologies*, 53(1): 18–26 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-18-26. EDN AZDSSS

Введение

Качество жизни населения является интегральным показателем эффективности государственного управления и стратегическим ориентиром развития территорий в условиях современной России, характеризующейся высокой степенью межрегиональной дифференциации. Проблема его объективной оценки приобретает особую остроту в связи с необходимостью не просто констатировать достигнутый уровень, но и выявлять структурные диспропорции, препятствующие устойчивому человеческому развитию.

Несмотря на многообразие существующих подходов к измерению качества жизни – от расширенных наборов демографических, экономических и социальных индикаторов до композитных индексов – в академической среде отсутствует консенсус относительно унифицированной методики региональной оценки [Лугонова, Семина, Федотов, 2014; Строев, Низамутдинов, Орешников, 2024]. Многие исследования либо перегружены статистическими

данными, затрудняя интерпретацию, либо, напротив, используют узкие индикаторы, не отражающие системного эффекта.

В данной работе качество жизни населения региона рассматривается не просто как совокупность статистических показателей, а как степень комфортности среды для жизнедеятельности человека, проявляющаяся в конечных результатах социально-экономического развития. Мы исходим из гипотезы, что наиболее информативной является оценка динамики ограниченного числа результирующих показателей, которые аккумулируют влияние множества факторов и позволяют выявить не только позитивные сдвиги, но и скрытые противоречия. Цель исследования – обосновать систему таких результирующих показателей и апробировать ее на примере Воронежской области, выявив ключевые тренды и парадоксы трансформации качества жизни населения в 2013–2024 гг.

Выбор Воронежской области в качестве объекта исследования не случаен. Это один из крупнейших и экономически развитых регионов Центральной России с диверсифицированной структурой экономики (наукоемкая промышленность, АПК, ВПК) и развитой социальной инфраструктурой. Важнейшей целью его Стратегии-2035 провозглашено достижение лидерских позиций по качеству жизни [Закон Воронежской области, 2018]. Однако вопрос о том, насколько экономические успехи региона конвертируются в реальное демографическое благополучие, остается открытым. В этой связи цель настоящего исследования заключается в разработке и апробации методического подхода к оценке качества жизни населения на региональном уровне, основанного на анализе динамики результирующих показателей, который позволяет не только фиксировать изменения уровня благосостояния, но и диагностировать структурные противоречия и скрытые проблемы социально-экономического развития региона (на примере Воронежской области).

Объект и методы исследования

Объект исследования – качество жизни населения Воронежской области. Предмет исследования – динамические изменения результирующих показателей, комплексно характеризующих качество жизни в регионе.

Методологическую основу составили системный и сравнительный анализ, методы синтеза и обобщения, а также графический метод для визуализации временных рядов. Теоретической базой послужили работы отечественных ученых в области региональной экономики, демографии и оценки уровня жизни [Борзова, Стрябкова, 2023; Скуфьина, Митрошина, 2020; Файзуллин, Файзуллин, 2022].

Критериями отбора результирующих показателей для авторской методики выступили:

- интегральность – способность показателя отражать воздействие совокупности факторов;
- результативность – отражение конечного эффекта региональной политики, а не промежуточных процессов;
- доступность и оперативность – наличие данных в открытых источниках и их регулярная актуализация для целей мониторинга;
- диагностичность – способность выявлять противоречия и проблемные зоны развития.

На основе данных критериев были отобраны три ключевых индикатора оценки качества жизни населения на региональном уровне, связанных с основными сферами жизнедеятельности:

1. Демографический индикатор: естественный прирост населения. Отражает состояние здоровья, социальную защищенность и долгосрочный демографический потенциал.
2. Социально-имущественный индикатор: доля населения с доходами ниже границы бедности. Характеризует уровень социального неравенства и материальное благополучие.

3. Экономический индикатор: соотношение номинальной и реальной заработной платы со стоимостью минимального набора продуктов питания. Показывает покупательную способность доходов и уровень материальной обеспеченности работающего населения.

Исследование базируется на данных Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области за 2013–2024 гг.

Результаты и их обсуждение

Проведенный анализ динамики отобранных показателей позволил выявить как позитивные тенденции, так и системные проблемы, характеризующие качество жизни в регионе.

1. Демографический индикатор. Анализ естественного движения населения (рис. 1) выявил его крайнюю неустойчивость.

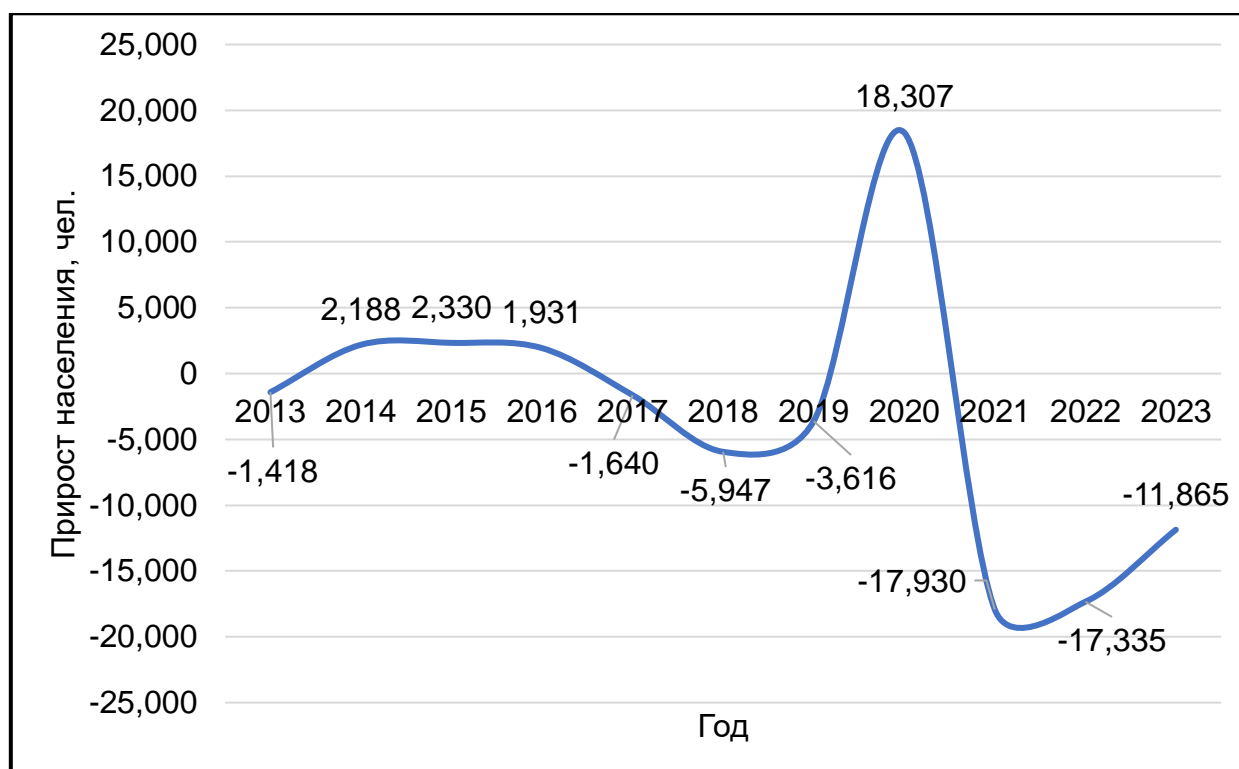


Рис. 1. Естественный прирост населения в Воронежской области в 2013–2023 гг.

Fig. 1. Natural population growth in the Voronezh Region, 2013–2023

Примечание. Составлено авторами по данным [Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области].

На протяжении большей части исследуемого периода в регионе фиксируется естественная убыль населения. Всплеск положительного прироста в 2020 году (+18,3 тыс. чел.), вероятно, связан с эффектом реализации мер демографической политики, однако он был нивелирован глубоким спадом 2021 года (-17,9 тыс. чел.), обусловленным, помимо прочего, последствиями пандемии COVID-19. В 2022–2023 гг. убыль продолжилась, хотя и с меньшей интенсивностью. Данная динамика свидетельствует о наличии устойчивого тренда депопуляции, который усилился после 2018 года, несмотря на декларируемые цели социально-экономической стратегии. Это позволяет сделать вывод о недостаточной эффективности мер, направленных на долгосрочное улучшение демографической ситуации, и указывает на необходимость поиска глубинных причин, снижающих репродуктивные установки населения.

2. Социально-имущественный индикатор. За период 2013–2023 гг. в Воронежской области достигнуто существенное сокращение абсолютной бедности (рис. 2).

Численность населения с доходами ниже прожиточного минимума уменьшилась на 30 % (с 219,3 до 152,2 тыс. чел.). Это безусловно позитивный результат, свидетельствующий об эффективности социальной политики и программ поддержки наиболее уязвимых слоев населения. Однако этот успех проецируется на тревожный фон: общая численность населения региона за тот же период сократилась на 2,8 % (с 2,33 до 2,28 млн чел.). Возникает парадокс: качество жизни, измеряемое через уровень доходов, улучшается, но регион теряет население. Это позволяет предположить, что либо рост доходов касается преимущественно старших возрастных групп и не создает достаточных стимулов для молодежи, либо существуют иные, не учтенные данным показателем факторы (отсутствие карьерных перспектив, качество городской среды, экология), подталкивающие к миграции.



Рис. 2. Сравнительная динамика численности населения и численности населения с доходами ниже границы бедности в Воронежской области в 2013–2023 гг.

Fig. 2. Comparative dynamics of total population size and population with incomes below the poverty line in the Voronezh Region, 2013–2023

Примечание. Составлено авторами по данным [Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области].

3. Экономический индикатор: рост благосостояния работающих. Динамика заработной платы и стоимости продуктовой корзины (рис. 3) демонстрирует наиболее оптимистичную картину.

За 2013–2024 гг. номинальная зарплата выросла в 2,9 раза, реальная (скорректированная на инфляцию) – в 2,8 раза, а стоимость минимального набора продуктов – в 2,5 раза. Как следствие, покупательная способность заработной платы неуклонно повышалась: соотношение номинальной зарплаты и стоимости набора выросло с 8,4 до 9,9 раза, а реальной – с 7,9 до 9,0 раза. Это означает, что работающее население региона имеет возможность потреблять больше качественных продуктов и товаров, что коррелирует с выводами других исследований о снижении доли расходов на питание в семейных бюджетах [Измайлова, Русакова, 2023].

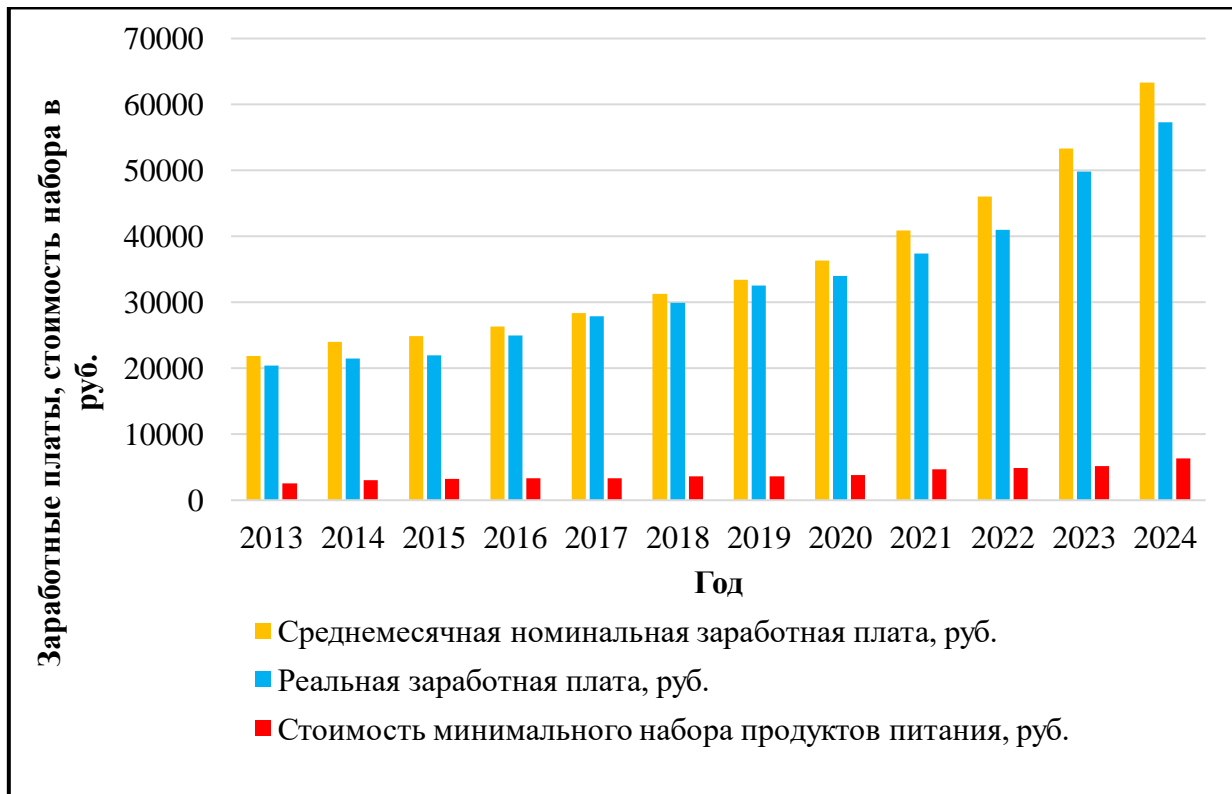


Рис. 3. Соотношение среднемесячной номинальной заработной платы, реальной заработной платы и стоимости минимального набора продуктов питания в Воронежской области в 2013–2024 гг.

Fig. 3. Ratio of average monthly nominal wages, real wages, and the cost of a minimum food basket in the Voronezh Region, 2013–2024

Примечание. Составлено авторами по данным [Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области].

Обсуждение результатов

Таким образом, исследование выявило асинхронность в динамике различных аспектов качества жизни в Воронежской области. С одной стороны, налицо значительный прогресс в экономической сфере (рост доходов, снижение бедности, повышение покупательной способности). С другой стороны, демографическая ситуация продолжает ухудшаться, что указывает на наличие структурных проблем. Это противоречие позволяет говорить не просто об улучшении качества жизни, а о его трансформации, в ходе которой экономические достижения пока не конвертируются в демографическое благополучие.

Данный вывод имеет важное значение для корректировки региональной политики. Несмотря на реализацию крупных инфраструктурных проектов, ввод жилья и цифровизацию социальной сферы [Портал региональных проектов], они, вероятно, не в полной мере компенсируют факторы, ведущие к оттоку и естественной убыли населения. Стратегическая цель № 1 Стратегии-2035 [Закон Воронежской области, 2018] не может считаться полностью достигнутой, пока позитивные сдвиги в доходах сопровождаются сокращением численности населения. Требуется переход к политике, нацеленной не только на «удержание» и поддержку, но и на активное привлечение и закрепление населения, в первую очередь молодежи, через создание качественно иной среды обитания.

Заключение

Проведенное исследование убедительно показывает, что предложенный подход к оценке качества жизни через динамику нескольких результирующих показателей является

информативным инструментом, позволяющим диагностировать фундаментальные противоречия в развитии региона. Он позволяет не только зафиксировать разнонаправленные тренды, но и выявить глубинные противоречия развития, что является необходимым условием для выработки эффективной социально-экономической политики.

Апробация методики на материалах Воронежской области позволила зафиксировать ключевой парадокс современного этапа развития региона: устойчивый рост реальных доходов и сокращение бедности сочетаются с прогрессирующей депопуляцией. Это свидетельствует о том, что качество жизни является более сложной категорией, чем простая сумма экономических достижений, и включает в себя такие трудноизмеримые компоненты, как чувство защищенности, перспективы для будущего детей, качество социальной среды и экологии.

Для Воронежской области, стремящейся к лидерству по качеству жизни, выводы исследования означают необходимость пересмотра приоритетов. Экономический рост и борьба с бедностью должны быть дополнены мощным блоком демографической и миграционной политики, ориентированной на создание условий, при которых люди не просто имеют высокий доход, но и хотят рожать детей и оставаться жить в регионе. Регулярный мониторинг выявленных противоречий должен стать неотъемлемой частью системы управления региональным развитием, позволяя своевременно корректировать курс и достигать поставленных стратегических целей.

Список источников

- ИИ для региона: Сбер и Воронежская область реализуют совместные проекты. URL: WWW.VRN.KP.RU: <https://www.vrn.kp.ru/daily/27753/5182378/>
- Закон Воронежской области от 20.12.2018 № 168-ОЗ «О стратегии социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года» (в ред. Закона Воронежской области от 23.12.2019 № 165-ОЗ). URL: <https://docs.cntd.ru/document/550300779> (дата обращения: 10.12.2025).
- Портал региональных проектов Воронежской области. URL: <https://web.archive.org/web/20240418113123/https://np.govvrn.ru/#projects> (дата обращения: 10.12.2025).
- Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области. URL: <https://36.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 10.12.2025).

Список литературы

- Борзова А.Д., Стрябкова Е.А. 2023. Развитие межрегиональной интеграции субъектов Дальневосточного макрорегиона. *Экономика. Информатика*, 50 (3): 501–513.
- Виноградова И.А., Горанская С.В. 2024. Демография как индикатор качества жизни населения пожилого возраста в Карелии. *Успехи геронтологии*, 37 (3): 299.
- Измайлова Л.Н., Русакова Д.А. 2023. Статистический анализ уровня жизни населения Воронежской области. *Тенденции развития науки и образования*, 99-4: 119–123.
- Крюков С.В. 2022. Сравнительный анализ уровня и динамики социально-экономического развития регионов России. *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*, 4 (72): 7223.
- Куролуп С.А., Киреева-Гененко И.А., Клепиков О.В. 2022. Методические подходы к изучению качества жизни населения и оценке медико-демографических рисков территорий интенсивного агропромышленного освоения. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 4: 141–148.
- Логинова Н.Н., Семина И.А., Федотов Ю.Д. 2014. Качество жизни населения региона. *Наука и Мир*, 3(7): 180–182.
- Макиева А. 2025. Экономика, демография, культура как составляющие качества жизни населения. *Стандарты и качество*, 6: 12-13.
- Самарина В.П., Баранов С.В., Скуфьина Т.П. 2007. Особенности территориальной организации населения регионов Севера. *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*, 3: 204–212.

- Самарина В.П., Новикова О.А., Полякова Е.Ю. 2021. Региональная экономика: Центральное Черноземье. Курск: *Университетская книга*, 97 с.
- Скуфьина Т.П., Митрошина М.Н. 2020. Трансформация социально-экономического пространства российской Арктики в контексте геополитики, макроэкономики, внутренних факторов развития. *Арктика и Север*, 41: 87–112.
- Скуфьина Т.П., Самарина В.П., Баранов С.В., Бажутова Е.А. 2021. Социально-демографические процессы в российской Арктике в статистических оценках и опросах населения. *Арктика и Север*, 45: 127–149.
- Строев П.В., Низамутдинов М.М., Орешников В.В. 2024. Комплексная оценка уровня жизни в регионах России: среднесрочные перспективы. *Искусство управления*, 16 (2): 324–352.
- Стрябкова Е.А., Герасимова Н.А., Кулик А.М., Хребтов Д.В. 2023. Отраслевая структура экономики региона: базовые характеристики, факторы формирования. *Экономика и предпринимательство*, 9 (158): 516–521.
- Файзуллин Ф.С., Файзуллин И.Ф. 2022. Роль образовательного потенциала в формировании и развитии человеческого капитала региона. *Евразийский юридический журнал*, 5 (168): 470–474.
- Черных Е.А. 2022. Качество трудовой жизни и удовлетворённость занятостью на российском рынке труда. *Уровень жизни населения регионов России*, 18 (2): 214–226.

References

- Borzova A.D., Stryabkova E.A. 2023. Development of Interregional Integration of the Subjects of the Far Eastern Macroregion. *Economics. Informatics*, 50 (3): 501–513 (in Russian).
- Vinogradova I.A., Goranskaya S.V. 2024. Demography as an Indicator of the Quality of Life of the Elderly Population in Karelia. *Advances in Gerontology*, 37 (3): 299 (in Russian).
- Izmailova L.N., Rusakova D.A. 2023. Statistical Analysis of the Living Standards of the Population of the Voronezh Region. *Trends in Science and Education*, 99-4: 119–123 (in Russian).
- Kryukov S.V. 2022. Comparative Analysis of the Level and Dynamics of Socio-Economic Development of Russian Regions. *Regional Economics and Management: Electronic Scientific Journal*, 4 (72): 7223 (in Russian).
- Kurolap S.A., Kireeva-Genenko I.A., Klepikov O.V. 2022. Methodological Approaches to Studying the Quality of Life of the Population and Assessing the Medical and Demographic Risks of Areas of Intensive Agro-Industrial Development. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 4: 141–148 (in Russian).
- Loginova N.N., Semina I.A., Fedotov Yu.D. 2014. Quality of life of the population of the region. *Science and the World*, 3 (7): 180–182 (in Russian).
- Makieva A. 2025. Economics, Demography, and Culture as Components of the Population's Quality of Life. *Standards and Quality*, 6: 12–13 (in Russian).
- Samarina V.P., Baranov S.V., Skufina T.P. 2007. Features of the Territorial Organization of the Population in the Northern Regions. *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and Natural Resources Management*, 3: 204–212 (in Russian).
- Samarina V.P., Novikova O.A., Polyakova E.Yu. 2021. Regional Economy: Central Chernozem Region. Kursk: University Book, 97 p (in Russian).
- Skufina T.P., Mitroshina M.N. 2020. Transformation of the Socio-Economic Space of the Russian Arctic in the Context of Geopolitics, Macroeconomics, and Internal Development Factors. *Arctic and North*, 41: 87–112 (in Russian).
- Skufina T.P., Samarina V.P., Baranov S.V., Bazhitova E.A. 2021. Social and demographic processes in the Russian Arctic in statistical estimates and population surveys. *Arctic and North*, 45: 127–149 (in Russian).
- Stroev P.V., Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. 2024. Comprehensive Assessment of the Standard of Living in Russian Regions: Medium-Term Prospects. *Art of Management*, 16 (2): 324–352 (in Russian).
- Stryabkova E.A., Gerasimova N.A., Kulik A.M., Khrebtov D.V. 2023. Sectoral Structure of the Regional Economy: Basic Characteristics and Formation Factors. *Economics and Entrepreneurship*, 9 (158): 516–521 (in Russian).
- Fayzullin F.S., Fayzullin I.F. 2022. The Role of Educational Potential in the Formation and Development of Human Capital in the Region. *Eurasian Law Journal*, 5 (168): 470–474 (in Russian).



Chernykh, E.A. 2022. Quality of Working Life and Job Satisfaction in the Russian Labor Market. *Living Standards in Russian Regions*, 18 (2): 214–226 (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 11.12.2025
Поступила после рецензирования 04.03.2026
Принята к публикации 10.03.2026

Received December 11, 2025
Revised March 04, 2026
Accepted March 10, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Самарина Вера Петровна, доктор экономических наук, профессор, профессор Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС», г. Старый Оскол, Россия

Vera P. Samarina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Stary Oskol Technological Institute (branch) of the National Research Technological Institute MISIS, Stary Oskol, Russia

Склярова Екатерина Александровна, старший преподаватель, Старооскольский филиал Белгородского государственного университета, г. Старый Оскол, Россия

Ekaterina A. Sklyarova, Senior Lecturer, Stary Oskol branch of Belgorod State National Research University, Stary Oskol, Russia

Стогова Яна Андреевна, начальник научно-организационного отдела Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Россия

Yana A. Stogova, Head of the Scientific and Organizational Department of the Federal Research Center "Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences", Apatity, Russia

Солопенко Дарья Валерьевна, студент, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический институт «МИСИС», г. Старый Оскол, Россия

Darya V. Solopenko, Student, Stary Oskol Technological Institute (branch) of the National Research Technological Institute MISIS, Stary Oskol, Russia



УДК 332.14
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-27-34
EDN BASQDQ

Моделирование эндогенного экономического роста регионов России

Чистникова И.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
chistnikova@bsuedu.ru

Аннотация. Моделирование эндогенного экономического роста регионов России является актуальной задачей в современных экономических условиях в связи с необходимостью снижения сырьевой зависимости, перехода к инновационной экономике, адаптации к санкционному давлению и геополитическим изменениям, а также усиления роли территорий в обеспечении технологического суверенитета страны. Эндогенный рост важен для региональных экономик, так как его ключевые факторы (технологии, знания, человеческий капитал) формируются внутри территориальной системы, а не задаются извне. Цель исследования стоит в поиске и обосновании факторов экономического роста субъектов РФ, находящихся внутри регионов, с опорой на собственные ресурсы, компетенции и взаимосвязи, а не на внешние вливания (экспорт сырья, федеральные трансферты, иностранные инвестиции). Выявлены детерминанты эндогенного роста регионов России и представлены уравнения регрессии для целей прогнозирования экономических результатов территориальных систем на их основе.

Ключевые слова: эндогенный рост, региональная экономика, экономика регионов России, факторы эндогенного роста, моделирование эндогенного роста

Для цитирования: Чистникова И.В. 2026. Моделирование эндогенного экономического роста регионов России. *Экономика. Информатика*, 53(1): 27–34. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-27-34. EDN BASQDQ

Modeling of Endogenous Economic Growth in Russian Regions

Irina V. Chistnikova

Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
chistnikova@bsuedu.ru

Abstract. Modeling the endogenous growth of Russian regions is a pressing issue in the current economic environment, driven by the need to reduce dependence on raw materials, transition to an innovative economy, adapt to sanctions pressure and geopolitical changes, and strengthen the role of territories in ensuring the country's technological sovereignty. Endogenous growth is important for regional economies, as its key factors (technology, knowledge, and human capital) are formed within the territorial system rather than imposed externally. The purpose of this study is to identify and substantiate the factors driving economic growth in constituent entities of the Russian Federation within regions, relying on their own resources, competencies, and interrelations instead of external infusions (raw material exports, federal transfers, and foreign investment). The paper identifies the determinants of endogenous growth in Russian regions and presents regression equations for forecasting the economic performance of territorial systems based on these equations.

Keywords: endogenous growth, regional economy, Russian regional economy, endogenous growth factors, endogenous growth modeling

For citation: Chistnikova I.V. 2026. Modeling of Endogenous Economic Growth in Russian Regions. *Economics. Information technologies*, 53(1): 27–34 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-27-34. EDN BASQDQ

Введение

В настоящее время все чаще возникает необходимость поиска ответов на вопросы о природе и причинах экономического роста региональных систем, различиях в их скорости и устойчивости в контексте стремления к достижению социального благополучия и комплексного развития территорий страны. Одной из теорий, объясняющих предпосылки благополучия регионов, является концепция эндогенного роста, формируемая более пяти десятилетий учеными разных стран мира и базирующаяся на признании пространственного характера и преобладающего значения внутренних факторов экономического развития [Багаутдинова, Кадочникова, 2023].

В условиях быстрого технологического развития и глобализации экономический рост все сильнее зависит от внутренних инноваций, а не от внешних шоков [Сорокина, Браткова, 2025]. Эндогенные модели позволяют отразить эту тенденцию, показывая, как инвестиции в знания, образование и исследования трансформируются в экономический рост [Антонова, 2022; Манаева, 2025].

Моделирование эндогенного роста регионов страны позволяет выявить внутренние источники развития территорий, оценить их потенциал и разработать эффективные стратегии управления [Huang, Dong, Li., 2025; Антонова, 2025].

Применение теории эндогенного роста позволяет обосновывать необходимость и объемы долгосрочных инвестиций в образование и науку, важность инновационной политики государства, роль кластеров и сетей знаний (технопарки, университетские города), значение международного обмена технологиями и кадрами.

Объект и методы исследования

Для анализа использованы доступные официальные региональные данные Росстата за 2024 год.

В качестве базовой концепции исследования применена теория эндогенного роста, развитие которой связано с работами нескольких ученых, включая Фрэнка Рамсея (1928), Дэвида Касса (1965), Тьяллинга Купманса (1965) и Йозефа Шумпетера (1934, 1947). Эти исследователи заложили основы для понимания того, как внутренние (эндогенные) факторы влияют на экономический рост.

Проведен контент-анализ и дана содержательная характеристика основных теоретических моделей эндогенного роста Лукаса Р., Ребело С. и Ромера П.

Методом квантификации качественных характеристик, предпосылок и факторов эндогенного роста регионов России определены количественные показатели для моделирования.

Корреляционный анализ применен для изучения взаимосвязи между ВРП регионов России и факторами, выражающими внутренние источники экономического роста территорий.

С помощью метода регрессионного анализа построены математические модели, позволяющие прогнозировать значения ВРП регионов России на основе значений независимых переменных, отражающих источники экономического роста.

Результаты и их обсуждение

Эндогенный рост региональных экономик как развитие за счет собственных внутренних источников может быть устойчивым и самоподдерживающимся за счет инвестиций в знания, человеческий капитал и инновации. Теория эндогенного роста является противоположным

подходом к объяснению экономического развития относительно неоклассической модели Солоу Р. Основное разногласие между ними заключается в трактовке источников роста и роли внутренних факторов в этом процессе [Матризаев, 2024]. Неоклассическая модель основывается на положениях, что региональный экономический рост в конечном счете замедляется из-за убывающей отдачи от капитала, технологический прогресс считается внешним, экзогенным фактором [Chandra, 2022]. В свою очередь, в концепции эндогенного роста знания и человеческий капитал не подвержены убывающей отдаче, инновации и обучение создают положительную обратную связь (рис. 1).

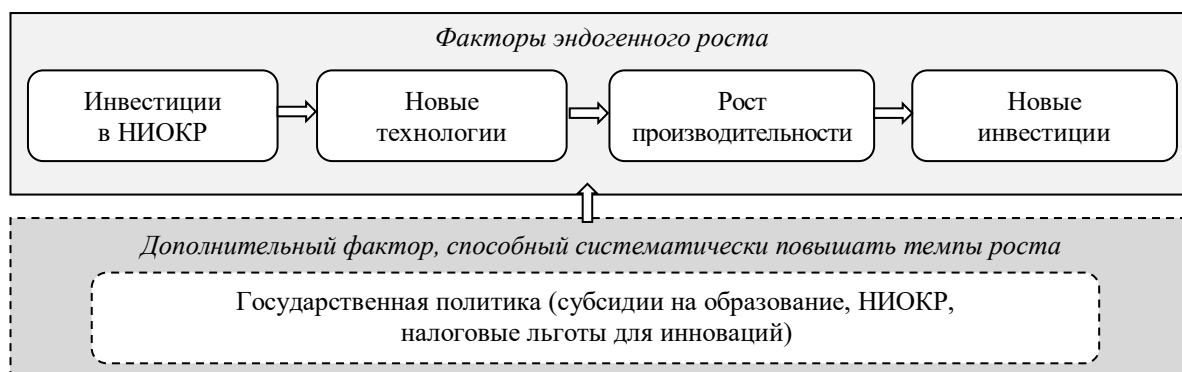


Рис. 1. Связь между факторами эндогенного роста региональной экономики
 Fig. 1. Relationship between endogenous growth factors in the regional economy

Составлено автором

Рассмотренная на рис. 1 связь между факторами эндогенного роста региональной экономики демонстрирует, что детерминанты не действуют изолированно, они взаимосвязаны и усиливают друг друга через сложные обратные связи, при этом источниками развития являются внутренние ресурсы.

Основные теоретические модели эндогенного роста регионов предложены учеными Робертом Лукасом, Серхиу Ребело и Полом Ромером (табл. 1).

Таблица 1
 Table 1

Основные теоретические модели эндогенного роста регионов
 The main theoretical models of endogenous regional growth

Название и авторы	Описание модели	Характеристика модели
Модель Лукаса Р. (Удзавы – Лукаса) (1988) [Lucas, 1988]	Региональный экономический рост формируется при накоплении человеческого капитала через образование.	Человеческий капитал (знания, навыки, образование работников) накапливается аналогично физическому капиталу, это позволяет поддерживать долговременный экономический рост на эндогенной основе.
АК-модель (Ребелу С., 1990) [Rebello, 1991]	$Y = AK$, где Y – выпуск, A – постоянная производительность, K – капитал.	Нет убывающей отдачи: постоянный рост возможен за счет накопления капитала.
Модель Ромера П. (1990) [Romer, 1994]	Региональный экономический рост обеспечивают три сектора: НИОКР, производство промежуточных товаров, производство конечных товаров.	Рост обеспечивается человеческим капиталом в НИОКР: чем больше ученых и инженеров, тем быстрее появляются новые технологии.

Составлено автором



Эти модели заложили основу для понимания эндогенного роста как стабильного экономического развития на основе фокусировки на внутренних источниках (знаниях, инновациях и человеческом капитале) и повлияли на формирование экономической политики, акцентируя внимание на инвестициях в образование, НИОКР и институциональных реформах.

В целом теория эндогенного роста как макроэкономическая концепция призвана объяснять долгосрочный экономический рост эндогенными факторами на основе формирования технологического прогресса внутри экономической системы [Šlander-Wostner, Križanič, Vojinović, 2025]. Последний определяется инвестициями в НИОКР, образование и накопление знаний. Знания как особый ресурс не истощаются при использовании, дают положительные внешние эффекты (инновации одной фирмы помогают другим), создают возрастающую отдачу от масштаба. Эндогенный рост регионов обеспечивается развитием человеческого капитала как ключевого фактора роста (образование, квалификация, здоровье населения), функционированием институтов (защита прав собственности, патенты, конкуренция стимулируют инновации), государственной политикой через поддержку науки, образования, инфраструктуры.

Для проверки гипотезы эндогенного роста в регионах России применим статистический метод множественной корреляции. Используем его в рамках оценки вероятностной зависимости переменной ВРП регионов России, характеризующей экономическое развитие территорий, и одновременно нескольких независимых переменных (факторов эндогенного роста) по данным всех субъектов РФ за 2024 год (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Матрица коэффициентов корреляции факторов эндогенного роста регионов России в 2024 году
 Matrix of correlation coefficients of endogenous growth factors in Russian regions in 2024

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y – ВРП регионов России, млн руб.	1								
x ₁ – Внутренние затраты на научные исследования и разработки в регионах России, млн руб.	0,961	1							
x ₂ – Затраты на инновационную деятельность организаций в регионах России, млн руб.	0,929	0,943	1						
x ₃ – Объем инновационных товаров, работ, услуг в регионах России, млн руб.	0,801	0,814	0,836	1					
x ₄ – Разработанные передовые производственные технологии, ед.	0,973	0,960	0,923	0,828	1				
x ₅ – Используемые передовые производственные технологии, млн ед.	0,673	0,661	0,569	0,754	0,702	1			

Окончание табл. 2
End of Table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
х ₆ – Коэффициенты миграционного прироста на 10 000 человек населения регионов России	0,195	0,194	0,178	0,232	0,209	0,204	1		
х ₇ – Заболеваемость на 1000 человек населения	0,023	-0,052	-0,073	-0,022	-0,061	0,107	-0,150	1	
х ₈ – Стоимость основных фондов, млн руб.	0,973	0,941	0,920	0,778	0,941	0,652	0,287	0,016	1

Составлено автором по данным Росстата

Из данных табл. 1 видна очень сильная связь между экономическими результатами экономик регионов России и показателями:

- внутренние затраты на научные исследования и разработки;
- затраты на инновационную деятельность организаций;
- разработанные передовые производственные технологии;
- стоимость основных фондов.

Также наблюдается сильная положительная линейная связь между валовым региональным продуктом (ВРП) и объемом инновационных товаров, работ, услуг регионов России. Умеренная зависимость существует между ВРП и количеством используемых передовых производственных технологий в территориальных системах страны. Это доказывает концепцию эндогенного роста на основе внутренних региональных инноваций и НИОКР. Создание новых технологий действительно является центральным механизмом развития: чем больше ресурсов направляется в исследования, тем выше потенциал экономического прогресса.

Динамика человеческого капитала, выраженная через коэффициенты миграционного прироста и заболеваемость населения в регионах России, имела очень слабую корреляцию с экономическими достижениями субъектов страны.

Уравнение регрессии, отражающее зависимость результативного признака (ВРП регионов России) от факторных признаков, имеет вид:

$$y = -464257,6 + 5,1x_1 - 0,2x_2 - 0,1x_3 + 20090,0x_4 - 17,1x_5 + 5277,1x_6 + 900,4x_7 + 0,2x_8. \quad (1)$$

Но в силу установленной мультиколлениарности между параметрами данная модель может быть корректно применена только для интерпретации влияния рассматриваемых факторов на ВРП регионов России, но не подходит для дальнейшего прогнозирования эндогенного роста.

Поэтому для целей предсказания и количественной оценки возможных значений зависимой переменной (ВРП) при изменении факторов осуществим эконометрическое моделирование линейных уравнений парной регрессии (табл. 3).

Эндогенные модели показывают, как инвестиции в знания и исследования превращаются в рост экономики. Представленные регрессионные модели позволяют оценить, как изменения внутренних факторов влияют на результат (ВРП регионов России), и построить прогноз. Как видно, в первую очередь рост валового регионального продукта в субъектах РФ может быть достигнут на 48,9 млн руб. за счет увеличения внутренних затрат на научные исследования и разработки на 1 млн руб., на 42491,4 млн руб. за счет каждой новой разработанной передовой производственной технологии, на 0,3 млн руб. за счет прироста основных фондов на 1 млн руб., на 20,2 млн руб. за счет повышения затрат на инновационную деятельность организаций на 1 млн руб.



Таблица 3
 Table 3

Уравнения парной регрессии факторов эндогенного роста регионов России в 2024 году
 Equations of pairwise regression of endogenous growth factors in Russian regions in 2024

	Регрессионные модели	R ²
x ₁ – Внутренние затраты на научные исследования и разработки в регионах России, млн руб.	$y = 831675,9 + 48,9x_1$	0,923
x ₂ – Затраты на инновационную деятельность организаций в регионах России, млн руб.	$y = 837824,0 + 20,2x_2$	0,862
x ₃ – Объем инновационных товаров, работ, услуг в регионах России, млн руб.	$y = 509616,8 + 12,1x_3$	0,641
x ₄ – Разработанные передовые производственные технологии, ед.	$y = 589120,0 + 42491,4x_4$	0,947
x ₅ – Используемые передовые производственные технологии, млн ед.	$y = -429836 + 669,0x_5$	0,452
x ₆ – Коэффициенты миграционного прироста на 10 000 человек населения регионов России	$y = 1858486,9 + 22405,5x_6$	0,038
x ₇ – Заболеваемость на 1000 человек населения	$y = 1522501,3 + 486,8x_7$	0,001
x ₈ – Стоимость основных фондов, млн руб.	$y = -73729,1 + 0,3x_8$	0,947

Составлено автором по данным Росстата

Заключение

В условиях глобальной технологической конкуренции и цифровой трансформации акцент смещается на развитие научно-технологического потенциала регионов.

Эндогенный рост предполагает использование внутренних ресурсов – человеческого капитала, инноваций, кластерных эффектов – как ключевых драйверов развития. Акцент на инновациях как результате инвестиционных решений, принимаемых экономическими агентами, приводит к непрерывному накоплению знаний и долгосрочному экономическому росту. Эндогенная модель объединяет роль исследований и разработок (НИОКР) и технологического прогресса в повышении эффективности производства и экономическом развитии. Методы исследования эндогенного развития ориентированы на выявление и количественную оценку внутренних источников роста.

Исследование показывает, что инвестиции в НИОКР, разработанные передовые производственные технологии, накопленные основные фонды оказывают значительное влияние на наращивание объема выпуска товаров и услуг и одновременное повышение их качества, а также совершенствование ресурсов и технологии, задействованных в производстве.

Меры современной государственной политики акцентируют внимание на инновациях, технологическом развитии, поддержке малого и среднего бизнеса. Модели эндогенного роста могут служить инструментом для оценки эффективности таких мер и их корректировки.

Список литературы

- Антонова М.В. 2022. Влияние демографических факторов на финансово-экономические результаты региона (на примере Белгородской области). *Экономика. Информатика*, 49(3): 445–455. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-445-455
- Антонова М.В. 2025. Статистические показатели оценки Е-критерия устойчивого развития региона: методический аспект. Проблемы развития национальной экономики в цифрах статистики: Материалы XII международной научно-практической конференции. В 3-х томах, Тамбов, 11 ноября 2025 года. Тамбов: Издательский дом «Державинский», 2025: 36–40. EDN TIRDZT.
- Багаутдинова Н.Г., Кадочникова Е.И. 2023. К вопросу о факторах эндогенного роста в регионах. Анализ, Моделирование, Управление, Развитие социально-экономических систем (АМУР-2023): сборник научных трудов XVII Международной школы-симпозиума. К 105-летию ФГАОУ ВО

«КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь-Судак, 14–27 сентября 2023 года. Симферополь: Индивидуальный предприниматель Корниенко Андрей Анатольевич, 2023: 47–50. EDN OMLSFB.

- Манаева И.В. 2025. Здоровье населения и экономика в российских регионах: параметры и зависимости. *Проблемы развития территории*, 29 (1): 89–106. DOI 10.15838/ptd.2025.1.135.7. EDN KOUFGK.
- Матризаев Б.Д. 2024. Теория эндогенного роста: исследование исторических предпосылок и ретроспективных особенностей эволюции в рамках отдельных макроэкономических парадигм и моделей экономического роста. *Теоретическая экономика*, 8 (116): 61–73.
- Сорокина О.В., Браткова В.В. 2025. Институциональные детерминанты эндогенного экономического роста. *KANT*, 3 (56): 147–152. EDN: KBDALJ. DOI 10.24923/2222-243X.2025- 56.21
- Chandra R. 2022. Endogenous growth in historical perspective: From Adam Smith to Paul Romer. London: Palgrave Macmillan.
- Huang X., Dong J., Li X. 2025. Fintech, technological innovation and regional economic growth: Theoretical modeling and empirical evidence. *China Economic Review*, 91: 102397. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2025.102397>
- Lucas R.E. 1988. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22, 3–42.
- Rebelo S. 1991. Long-run policy analysis and long-run growth. *Journal of political Economy*, 99 (3): 500–521.
- Romer P.M. 1994. The origins of endogenous growth. *Journal of Economic perspectives*, 8 (1): 3–22.
- Šlander-Wostner S., Križanič F., Vojinovic B. 2025. Endogenous growth factors and economic development: An in-depth analysis of the impact of investments in R&D and human capital on total factor productivity and export dynamics. *Engineering Economics*, 36 (2): 255–267. DOI <https://doi.org/10.5755/j01.ee.36.2.35715>

References

- Antonova M.V. 2022. The Influence of Demographic Factors on the Financial and Economic Results of the Region (on the Example of the Belgorod Region). *Economics. Information technologies*, 49(3): 445–455 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-445-455
- Antonova M.V. 2025. Statistical indicators for assessing the E-criterion for sustainable regional development: a methodological aspect. Problems of national economic development in statistical figures: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. In 3 volumes, Tambov, November 11, 2025. Tambov: Derzhavinsky Publishing House: 36–40 (in Russian). EDN TIRDZT.
- Bagautdinova N.G., Kadochnikova E.I. 2023. On the Factors of Endogenous Growth in the Regions. Analysis, Modeling, Management, Development of Socio-Economic Systems (AMUR-2023): Collection of Scientific Papers of the XVII International School-Symposium. On the 105th Anniversary of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "KFU named after V.I. Vernadsky", Simferopol-Sudak, September 14–27, 2023. Simferopol: Individual Entrepreneur Kornienko Andrey Anatolyevich. 47–50 (in Russian). EDN OMLSFB.
- Manaeва I.V. 2025. Population health and economy in Russian regions: parameters and dependencies. *Problems of territorial development*, 29 (1): 89–106 (in Russian). DOI 10.15838/ptd.2025.1.135.7. EDN KOUFGK.
- Matrizaeв B.D. 2024. Theory of endogenous growth: a study of historical prerequisites and retrospective features of evolution within the framework of individual macroeconomic paradigms and models of economic growth. *Theoretical Economics*, 8 (116): 61–73 (in Russian).
- Sorokina O.V., Bratkova V.V. 2025. Institutional determinants of endogenous economic growth. *KANT*, 3 (56): 147–152 (in Russian). EDN: KBDALJ. DOI 10.24923/2222-243X.2025- 56.21
- Chandra R. 2022. Endogenous growth in historical perspective: From Adam Smith to Paul Romer. London: Palgrave Macmillan.
- Huang X., Dong J., Li X. 2025. Fintech, technological innovation and regional economic growth: Theoretical modeling and empirical evidence. *China Economic Review*, 91: 102397. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2025.102397>
- Lucas R.E. 1988. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22, 3–42.
- Rebelo S. 1991. Long-run policy analysis and long-run growth. *Journal of political Economy*, 99 (3): 500–521.
- Romer P.M. 1994. The origins of endogenous growth. *Journal of Economic perspectives*, 8 (1): 3–22.
- Šlander-Wostner S., Križanič F., Vojinovic B. 2025. Endogenous growth factors and economic development: An in-depth analysis of the impact of investments in R&D and human capital on total factor productivity



and export dynamics. *Engineering Economics*, 36 (2): 255–267. DOI
<https://doi.org/10.5755/j01.ee.36.2.35715>

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 15.12.2025

Received December 15, 2025

Поступила после рецензирования 12.01.2026

Revised January 12, 2026

Принята к публикации 12.02.2026

Accepted February 12, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Чистникова Ирина Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Irina V. Chistnikova, 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 332.1
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-35-44
EDN BZJYPC

Моделирование взаимодействия региональных сред на основе методолого-математического подхода

¹ Шлеенко А.В., ² Ваганова О.В.

¹Юго-Западный государственный университет,
Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9
shleenko77@mail.ru, vaganova@bsuedu.ru

Аннотация. В предлагаемой статье методологически обоснована логика разделения пространства региональных взаимодействий на селитебно-агломерационную и институционально-рыночную среды, совместно формирующие социально-экономическую среду региона. Произведена группировка статистических показателей, влияющих на качество жизни населения региона (селитебно-агломерационная среда), и условия ведения бизнеса в регионе (институционально-рыночная среда). Разработана экономическая модель, математически описывающая мультипликационный эффект влияния институциональных и рыночных трансформаций на устойчивое региональное развитие. Показано, что позитивные изменения в региональной институционально-рыночной среде являются драйвером комплексного устойчивого регионального развития. Основная цель исследования заключается в математическом описании мультипликационного эффекта, порождаемого позитивными изменениями в институционально-рыночной среде региона. Объект исследования: региональные среды. Предмет исследования: методолого-математический подход к анализу социально-экономической среды региона. Основные данные были получены из официальных источников. Задачи исследования: группировка статистических показателей в селитебно-агломерационной и институционально-рыночной средах региона; дихотомизация воздействия селитебно-агломерационной и институционально-рыночной региональных сред на комплексное устойчивое региональное развитие; математическое описание механизма воздействия селитебно-агломерационной и институционально-рыночной региональных сред на комплексное устойчивое развитие региона и выделение мультипликационного эффекта, порождаемого позитивными изменениями в институционально-рыночной среде. В результате исследования были выявлены следующие ключевые выводы. Комплексность и сбалансированность регионального развития определяются, в первую очередь, состоянием бизнеса, формирующего качество институционально-рыночной среды. Улучшение качества институтов и рынка порождает механизмы трансмиссии, положительно влияющие на качество жизни населения региона. Итогом взаимодействия институционально-рыночной и селитебно-агломерационной сред становится комплексное устойчивое развитие региона. Методологическая основа механизма взаимодействия региональных сред позволяет устранять региональные диспропорции и оптимизировать среднесрочную региональную политику.

Ключевые слова: институционально-рыночная среда, селитебно-агломерационная среда, социально-экономическая среда, комплексное устойчивое развитие, регион

Для цитирования: Шлеенко А.В., Ваганова О.В. 2026. Моделирование взаимодействия региональных сред на основе методолого-математического подхода. *Экономика. Информатика*, 53(1): 35–44. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-35-44. EDN BZJYPC



Modeling the Interaction between Regional Environments Based on a Methodological and Mathematical Approach

¹ **Aleksei V. Shleenko**, ² **Oksana V. Vaganova**,

¹Southwest State University

94 50 Let Oktyabrya St., Kursk 305040, Russia

²Emperor Alexander I St. Petersburg State University of Railway Engineering

9 Moskovsky Ave., Saint Petersburg 190031, Russia

shleenko77@mail.ru, vaganova@bsuedu.ru

Abstract. The article provides a methodological justification for dividing the space of regional interactions into the residential-agglomeration environment and the institutional-market environment, which jointly shape the socio-economic environment of the region. A grouping of statistical indicators affecting the quality of life of the region's population (residential-agglomeration environment) and conditions for doing business in the region (institutional-market environment) is undertaken. The authors propose an economic model that mathematically describes the multiplier effect of the influence exerted by institutional and market transformations on sustainable regional development. The paper shows that positive changes in the regional institutional-market environment are the driver of comprehensive sustainable regional development. The aim of the study is to mathematically describe the multiplier effect generated by positive changes in the institutional-market environment of the region. Regional environments have been selected as the object of the study. The subject of study is the methodological and mathematical approach to the analysis of the socio-economic environment of the region. The main data have been obtained from official sources. The objectives include grouping statistical indicators in the residential-agglomeration and institutional-market environments of the region; dichotomizing the impact of the residential-agglomeration and institutional-market regional environments on integrated sustainable development of the region; providing a mathematical description of the influence exerted by the residential-agglomeration and institutional-market regional environments on the region's integrated sustainable development, and highlighting the multiplier effect generated by positive changes in the institutional-market environment. The study allows drawing significant conclusions. First, the complexity and balance of regional development are mostly determined by the state of business, which shapes the quality of the institutional-market environment. Second, improvement in the quality of institutions and the market generates transmission mechanisms that have a positive impact on the region's population life quality. Third, the interaction between the institutional-market and residential-agglomeration environments results in an integrated sustainable development of the region. Fourth, the methodological basis for the mechanism of interaction between regional environments makes it possible to eliminate regional disproportions and optimize medium-term regional policy.

Keywords: institutional and market environment, residential and agglomeration environment, socio-economic environment, integrated sustainable development, region

For citation: Shleenko A.V., Vaganova O.V. 2026. Modeling the Interaction between Regional Environments Based on a Methodological and Mathematical Approach. *Economics. Information technologies*, 53(1): 35–44 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-35-44. EDN BZJYPC

Введение

Группировка факторов, определяющих комплексность и устойчивость регионального развития, является сложной как в методологическом, так и понятийном контексте.

Группировка статистических переменных в агрегированную общность, которую предлагаем называть средой, должна предполагать дихотомизацию этой среды, т. е. агрегирование параметров, определяющих условия ведения бизнеса в регионе (институционально-рыночная среда), и условия качества жизни населения региона (селитебно-агломерационная среда). Социально-экономическое развитие зависит, в конечном счете, от состояния бизнеса, координирующего и вовлекающего в процесс традиционные факторы производства – труд, капитал, природные ресурсы, и от качества жизни населения,

проживающего на территории региона. В работе сгруппированы статистические показатели, собираемые территориальными статистическими структурами, в две взаимодополняющие комплексные общности.

Обзор литературы

Российские исследователи А.Г. Гранберг, П.А. Минакир, Н.Г. Джурка, А.В. Шлеенко [Гранберг, 2007; Минакир, 2014; Минакир, Джурка, 2018; Шлеенко, 2021a] и ряд других активно занимаются поиском и апробацией комплексных критериев, сред и агрегированных общностей, определяющих региональное устойчивое развитие.

В научной литературе дается анализ различных видов региональных сред [Гончаров, Сироткина, 2015; Мухаметова, 2024]. Авторский анализ показал, что исследователи выделяют следующие виды региональных сред: бизнес-среда, научно-исследовательская среда, образовательная среда, институциональная среда, инвестиционная среда, научно-производственная среда, финансовая среда, внешняя среда, внутренняя среда, макроэкономическая среда, микроэкономическая среда, мезоэкономическая среда [Сорокина, 2015; Калашников, 2019; Рассанова, Денисова, 2019; Воронина, 2020].

По мнению авторов статьи, большое число типизаций различных региональных сред является умножением сущностей, которые без строгой необходимости, следуя бритве Оккама [Парето, 2022], увеличивать не нужно. Обоснования для этого три:

1. Все упомянутые в научной литературе среды можно агрегировать в институционально-рыночные и социально-экономические, включив их в предлагаемую авторами типизацию.

2. Некоторые из упоминаемых в научной литературе сред исследователи не умеют измерять, например, корректных методик оценки образовательной среды до сих пор не разработано [Польдин, Юдкевич, 2011].

3. Подход с делением на внешние и внутренние среды несколько тавтологичен. Если рассматривать регион в качестве объекта исследования, то так или иначе все факторы будут внутренними, а внешние воздействия могут быть объяснены с позиции положительных или отрицательных экстерналий [Ускова, Ворошилов, 2015]. То же касается и макро-, микро- и мезосред. Методология авторского подхода состоит в том, что каждый регион формирует собственную, зачастую уникальную, среду.

Концептуально предлагаемая авторами методологическая концепция деления на селитебно-агломерационную и институционально-рыночную среды обоснована с позиций подхода к региону Пола Кругмана.

Кругман выделяет факторы первой (географическо-климатические, долгосрочные), второй (инфраструктурные, среднесрочные), третьей (трудовые, среднесрочные) природы [Krugman, 1997]. Авторы статьи предлагают включить в кругмановскую триаду фактор четвертой природы (институционально-рыночные трансформации, катализатор) [Шлеенко, 2021b]. Эти факторы на уровне региона влияют на качество региональной отраслевой, рыночной и институциональной структуры и определяют комплексное устойчивое развитие.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследования брались статистические данные по Курской, Брянской, Орловской, Липецкой, Воронежской и Белгородской областям ЦФО РФ. По натуральным показателям данные брались с 1990 по 2023 годы. По стоимостным показателям – с 1995 по 2023 годы [Федеральная служба государственной статистики, 2026]. В целях оптимизации 11 анализируемых статистических показателей были сгруппированы в две региональных среды – селитебно-агломерационную, преимущественно натуральные показатели, и институционально-рыночную, преимущественно стоимостные показатели.

Факторы, определяющие комплексность и сбалансированность регионального развития, являются сложными как в методологическом, так и понятийном контексте.

Фундаментальные статистические факторы авторы группируют в категорию селитебно-агломерационная среда (САС), пространство взаимодействий населения, бизнеса и органов власти, связанных с уровнем и качеством жизни населения региона.

К ним относятся:

1. Численность населения региона (Численность). Показатель потенциала эмерджентности.
2. Плотность расселения в регионе (Плотность). Показатель потенциала трансформаций.
3. Доля населения региона, проживающего в городах (Урбанизация).
4. Количество занятых и самозанятых в регионе (Занятость).
5. Доля расходов на услуги в суммарных расходах населения (Расходы на услуги).

Операциональные факторы, связанные с условиями ведения бизнеса в регионе, объединены в категорию институционально-рыночная среда (ИРС), пространство взаимоотношений бизнеса и органов власти, связанное с экономической эффективностью, результативностью и продуктивностью.

К ним относятся:

1. Валовой региональный продукт (ВРП).
2. Стоимость накопленного капитала как сумма региональных инвестиций с учетом амортизации (Капитал).
3. Объем чистых иностранных инвестиций без учета амортизации (ИИ).
4. Расходы консолидированного регионального бюджета (Расх. бюджета).
5. Численность студентов на 10 тысяч населения региона (ВО).
6. Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг (Инновац. товары).

Анализ САС и ИРС позволил выявить одиннадцать базовых статистических показателей, характеризующих состояние регионов РФ. Указанные физические и стоимостные показатели, кроме показателя 5 в САС и показателя 6 и ИРС, отражаются в системе статистического учета России и доступны начиная с 1997 г.

Традиционный статистический подход сводит экзогенные факторы к достаточно большому количеству переменных, что порождает мультиколлениарность, или к ограниченному набору переменных, устраняя мультиколлениарность, что ведет к элиминации значимых переменных, влияющих на региональное развитие.

Альтернативным авторским подходом является группировка переменных в агрегированную общность, которую авторы предлагают называть средой. Данный авторский подход позволяет сгруппировать объективные статистические показатели в параметры институционально-рыночной (бизнес) и селитебно-агломерационной (качество жизни населения) сред. Преимуществом предлагаемого подхода является возможность его эмпирической верификации, дополнения или устранения исходных входных параметров, элиминирования дублирующих факторов, построения индекса комплексного сбалансированного регионального развития и последующего прогноза.

Таким образом:

Институционально-рыночная среда (ИРС) – пространство взаимоотношений бизнеса и органов власти, связанное с экономической эффективностью, результативностью и продуктивностью.

Селитебно-агломерационная среда (САС) – пространство взаимодействий населения, бизнеса и органов власти, связанное с удобством проживания и качеством жизни населения региона.

Взаимодействие ИРС и САС характеризует состояние социально-экономической среды региона.

Социально-экономическая среда (СЭС) – совокупность пространств взаимодействий между структурами федерального, регионального и муниципального управления, структурами рыночной организации, пространственно-гравитационными и отраслевыми структурами на территории региона.

Социально-экономическая среда обладает потенциальной энергией регионального развития, которая в итоге преобразуется в энергию кинетическую.

Экономисты традиционно для описания категории «среда» используют понятие «запас», а для категорий «развитие», т. е. связанных с изменением во времени, – «поток».

На состояние ИРС региона влияют как факторы, связанные с условиями ведения бизнеса, так и эндогенные факторы, к которым авторы относят:

Институциональные (базисные) трансформации – это фундаментальные технологические новшества, которые определяют формирование новых направлений в развитии науки и техники, и в том числе создание инновационных товаров, новых отраслей и направлений в экономической системе региона.

Рыночные (инкрементальные) трансформации – изменения в отрасли или структуре рынка, ведущие к усовершенствованиям полезных свойств существующих товаров, услуг и/или бизнес-процессов, в том числе связанные со снижением издержек производства, доставки и продвижения благ.

Институциональные и/или рыночные трансформации становятся катализатором или мультипликатором устойчивого регионального развития.

Катализатор – инструмент стимулирования определенного позитивного экономического или иного процесса в ИРС на уровне региона.

Мультипликатор – механизм трансмиссии, в котором развитие элементов СЭС, чаще всего ИРС, ведет к развитию САС и СЭС в целом, которая порождает дальнейшее развитие элементов системы и т. д.

Результаты исследования и дискуссия

В авторской концепции региональные структуры вместе с имеющимся объемом человеческого капитала определяют содержание и качество селитебно-агломерационной и институционально-рыночной сред, а их пространство взаимодействия задает вектор устойчивого регионального развития. Рис. 1 наглядно иллюстрирует эту логику.

Селитебно-агломерационная и институционально-рыночная среды на уровне региона формируют пространство взаимодействий, которое определяет комплексное устойчивое развитие системы через социально-экономическую среду. Это взаимодействие может быть как синергетическим или мультипликационным, т. е. когда развитие ИРС дает стимул к развитию САС, которое, в свою очередь, положительно влияет на развитие СЭС [Кейнс, 2022], так и катализационным, т. е. в ситуации воздействия трансформаций в ИРС на саму же ИРС.

Математически комплексное устойчивое развитие региона можно представить как сложную функцию с мультипликативным взаимодействием структур, обеспечивающих продовольственную безопасность региона, структур государственного и муниципального управления, обеспечивающих базовые блага, гарантированные конституцией (безопасность, образование, медицина, банковские услуги), жилищной инфраструктуры, формирующих селитебно-агломерационную региональную среду, и институционально-рыночную среду региона, формируемую отраслевыми бизнес-структурами. В этом пространственном разрезе трансформации в институционально-рыночной среде могут быть представлены как катализатор самой ИРС [Шлеенко, Кликунов, 2020], так и мультипликатор комплексного регионального развития.

Математическое описание модели взаимодействия институционально-рыночной и социально-экономической сред

Пусть параметр:

C_1 описывает структуры продовольственной безопасности региона;

C_2 – структуры государственного и муниципального управления;
 C_3 – структуры, обеспечивающие качество жилищных услуг в жизни населения региона;
 C_4 – институционально-рыночная среда региона, формируемая отраслевыми бизнес-структурами.

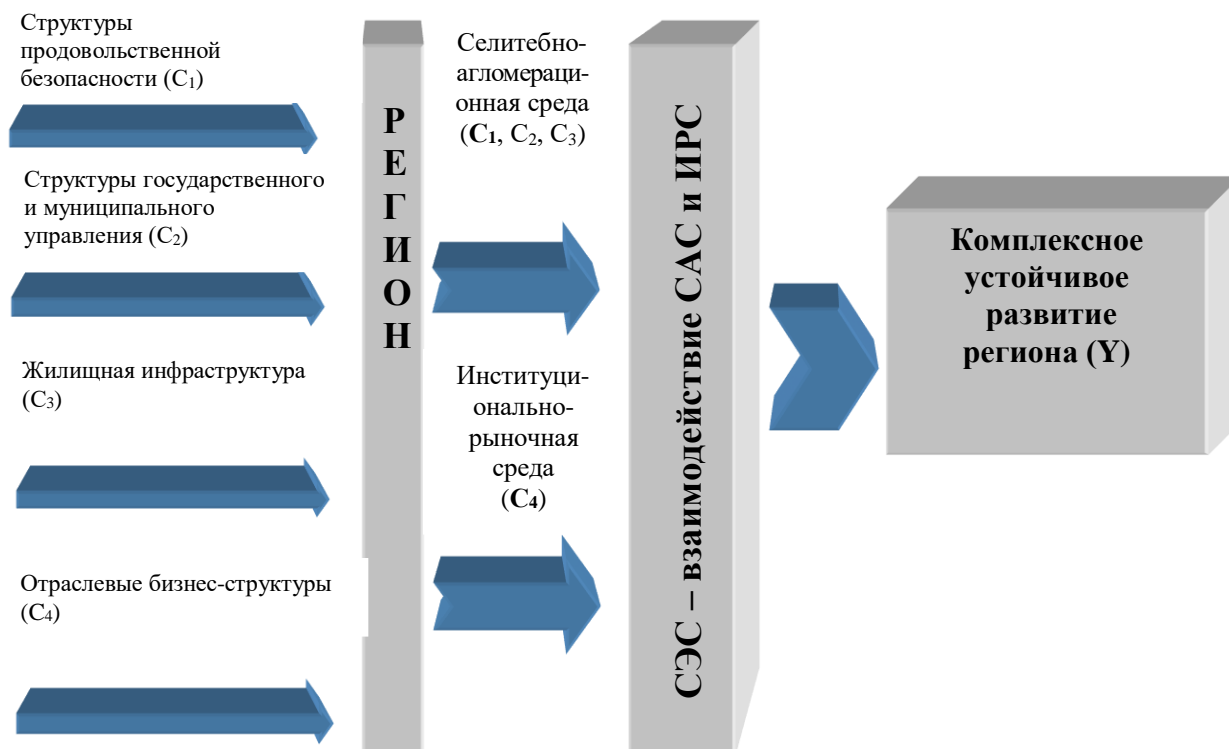


Рис. 1. Пространство взаимодействия селитебно-агломерационной и институционально-рыночной сред в регионе

Fig. 1. The space of interaction between the residential-agglomeration and institutional-market environment in the region

Функциональное взаимодействие между C_1 , C_2 , C_3 задает селитебно-агломерационную среду, обеспечивающую качество жизни населения региона. Селитебно-агломерационная среда, взаимодействуя с институционально-рыночной региональной средой, формирует качество социально-экономической среды и определяет эндогенный фактор Y – комплексное устойчивое развитие региона.

Функционально модель комплексного устойчивого развития региона представляется в следующем виде:

$$Y = F(C_1, C_2, C_3, C_4). \quad (1)$$

Или с учетом временного фактора t может быть представлена в виде сложной функции:

$$Y(t) = F(C_1(t), C_2(t), C_3(t), C_4(t)). \quad (2)$$

Полный дифференциал представленной функции будет выглядеть как:

$$dY = \frac{\partial Y}{\partial C_1} \frac{\partial C_1}{\partial t} dt + \frac{\partial Y}{\partial C_2} \frac{\partial C_2}{\partial t} dt + \frac{\partial Y}{\partial C_3} \frac{\partial C_3}{\partial t} dt + \frac{\partial Y}{\partial C_4} \frac{\partial C_4}{\partial t} dt. \quad (3)$$

Во временном континууме изменение структур задает изменение сред, которые, в свою очередь, приводят к развитию или деградации эндогенного фактора.

Наиболее подходящей для анализа была определена разновидность функции Кобба – Дугласа с возрастающим эффектом масштаба [Fujita, 1999]

$$Y = (C_1^\alpha \cdot C_2^\beta \cdot C_3^{(1-\alpha-\beta)}) \cdot C_4. \quad (4)$$

Следует отметить, что факторы, определяющие *селитебно-агломерационную* среду региона, в представленной функции характеризуются постоянством отдачи от масштаба, сумма степеней у структур C_1, C_2, C_3 дает значение единица. А взаимодействие *селитебно-агломерационной* и институционально-рыночной сред характеризуется возрастающим эффектом масштаба. Это является следствием предположения, что институционально-рыночная среда является катализатором комплексного устойчивого развития региона.

В динамическом виде модель представляется как

$$Y(t) = F(C_1^\alpha(t), C_2^\beta(t), C_3^{(1-\alpha-\beta)}(t)) \cdot C_4(t). \quad (5)$$

По правилу дифференцирования сложной функции, получаем

$$dY = \frac{\partial Y}{\partial C_1} dC_1 + \frac{\partial Y}{\partial C_2} dC_2 + \frac{\partial Y}{\partial C_3} dC_3 + \frac{\partial Y}{\partial C_4} dC_4. \quad (6)$$

Частная производная Y по C_1 будет выглядеть так:

$$\frac{\partial Y}{\partial C_1} = \alpha C_1^{\alpha-1} \cdot C_2^\beta \cdot C_3^{(1-\alpha-\beta)} \cdot C_4 = \frac{\alpha C_1^{\alpha-1} \cdot C_2^\beta \cdot C_3^{(1-\alpha-\beta)} \cdot C_4}{C_1} = \frac{\alpha Y}{C_1}. \quad (7)$$

Соответственно полный дифференциал функции можно представить как:

$$dY = \alpha \frac{Y}{C_1} dC_1 + \beta \frac{Y}{C_2} dC_2 + (1 - \alpha - \beta) \frac{Y}{C_3} dC_3 + \frac{Y}{C_4} dC_4. \quad (8)$$

Деление обеих частей уравнения на Y позволяет получить функцию процентного изменения комплексного развития региона от параметров региональных структур C_1, C_2, C_3 , и институционально-рыночной среды C_4

$$\frac{dY}{Y} = \alpha \frac{dC_1}{C_1} + \beta \frac{dC_2}{C_2} + (1 - \alpha - \beta) \frac{dC_3}{C_3} + \frac{dC_4}{C_4}. \quad (9)$$

Перейдя к процентным соотношениям, где $\Delta(\%)$ означает «процентное изменение» параметра, получаем итоговую формулу:

$$\Delta(\%)Y \approx \alpha \Delta(\%)C_1 + \beta \Delta(\%)C_2 + (1 - \alpha - \beta) \Delta(\%)C_3 + \Delta(\%)C_4. \quad (10)$$

Важно отметить, что изменения в институционально-рыночной среде региона оказывают прямой мультипликационный эффект на состояние социально-экономической среды. Коэффициенты альфа, бета и гамма $(1 - \alpha - \beta)$ эмпирически соответствуют вкладу каждой отдельной структуры в валовой региональный продукт региона. Так, на долю сельскохозяйственных и продовольственных отраслей приходится порядка 45 % ВРП типичного региона юга ЦФО [Беляев, 2020; Сергеева, 2022], доля в ВРП государственных и муниципальных услуг (включая банковский сектор, правовую, образовательную, медицинскую систему) – порядка 35 % ВРП, на ЖКХ и отрасли, обеспечивающие качество проживания населения – 20 % ВРП. Дальнейший статистическо-эконометрический анализ позволит более корректно определить эти коэффициенты эластичности.

Таким образом, предварительная формула комплексного устойчивого развития типичного южного региона ЦФО РФ может быть представлена в следующем параметрическом виде:

$$\Delta(\%)Y \approx 0,45 \cdot \Delta(\%)C_1 + 0,35 \cdot \Delta(\%)C_2 + 0,2 \cdot \Delta(\%)C_3 + \Delta(\%)C_4. \quad (11)$$

Важно отметить, что рыночные и институциональные трансформации ведут не только к переформированию и модернизации структур региона, но и к мультипликационному и катализационному эффектам. Трансформации становятся катализатором для развития ИРС региона и через мультипликационный эффект влияют на региональный потенциал СЭС и комплексное устойчивое развитие региона. Мультипликационного эффекта может и не быть,

если первоначальное развитие какой-либо структуры и, соответственно, среды в регионе шло гипертрофированно.

Таким образом, по аналогии с теоремой Рыбчинского [Rybczynski, 1955] можно сформулировать гипотезу пространственного взаимодействия институционально-рыночной и селитебно-агломерационной сред: гипертрофированное развитие институционально-рыночной среды ведет к стагнации среды селитебно-агломерационной и наоборот. Гармоничное развитие селитебно-агломерационной и институционально-рыночной сред является необходимым условием для комплексного устойчивого развития региона.

Заключение

В статье представлен авторский подход, позволивший сгруппировать объективные статистические показатели в параметры институционально-рыночной (бизнес) и селитебно-агломерационной (качество жизни населения) сред и на этой базе построить математическую модель комплексного устойчивого развития регионов. Преимуществом предлагаемой математической модели является возможность ее эмпирической верификации, дополнения или устранения исходных входных параметров, элиминирования дублирующих факторов, последующего построения индекса устойчивого регионального развития. Агрегация факторов, определяющих устойчивость и комплексность развития регионов, позволит получить методологическую основу для устранения региональных диспропорций и оптимизировать среднесрочную региональную политику.

Проведенная группировка статистических показателей в селитебно-агломерационной и институционально-рыночной средах региона позволяет обосновать дихотомизацию воздействия селитебно-агломерационной и институционально-рыночной региональных сред на комплексное устойчивое региональное развитие. Разработано математическое описание механизма воздействия селитебно-агломерационной и институционально-рыночной региональных сред на комплексное устойчивое развитие региона и выделение мультипликативного эффекта, порождаемого позитивными изменениями в институционально-рыночной среде. Представленная математическая модель демонстрирует операциональную значимость институционально-рыночной среды в комплексном устойчивом развитии региона и является полезным инструментом для дальнейшей эмпирической верификации.

Список источников

Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 28.09.2025).

Список литературы

- Беляев С.А. 2020. Исследование динамики и структуры ВРП региона. *Региональный вестник*, 13: 73–74.
- Воронина Е.А. 2020. Формирование инновационной среды региональной экономической системы. *Социально-политические исследования*, 1(6): 36–42.
- Гончаров А.Ю., Сироткина Н.В. 2015. Сбалансированное региональное развитие. Стейкхолдеровский и социодарвинистский подходы. *Регион: системы, экономика, управление*, 3: 10–17.
- Гранберг А.Г. 2007. Моделирование пространственного развития национальной и мировой экономики: эволюция подходов. *Регион: экономика и социология*, 1: 87–106.
- Калашников А.Н. 2019. Сбалансированное региональное развитие как стратегический приоритет современного этапа функционирования экономик российских регионов. *Региональные проблемы преобразования экономики*, 5(103): 39–48.
- Кейнс Дж.М. 2022. Общая теория занятости, процента и денег. М.: АСТ. 544 с. ISBN 978-5-17-148781-2.
- Минакир П.А. 2014. Экономический анализ и измерения в пространстве. *Пространственная экономика*, 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskij-analiz-i-izmereniya-v-prostranstve> (дата обращения: 28.09.2025).
- Минакир П.А., Джурка Н.Г. 2018. Методологические основания пространственных исследований в экономике. *Вестник Российской академии наук*, 88(7): 281–288. DOI: 10.1134/S1019331618040044.

- Мухаметова А.Д. 2024. Региональное экономическое развитие на основе эффективного использования трудовых ресурсов региона. *Экономика и управление: научно-практический журнал*, 1(175): 72–76.
- Парето В. 2022. Учебник политической экономии. М.: РИОР. 592 с.
- Польдин О.В., Юдкевич М.М. 2011. Эффекты сообучения в высшем образовании: обзор теоретических и эмпирических подходов. *Вопросы образования*, 4: 106–123.
- Рассанова О.Е., Денисова К.Э. 2018. Региональная экономическая политика. *Управленческая экономика: теория и практика*: 216–222.
- Сергеева Н.М., Соловьева Т.Н. 2022. Влияние специализации на экономическое развитие регионов. *Международный сельскохозяйственный журнал*, 1: 28–32.
- Сорокина Н.Ю. 2015. Содержание и направления устойчивого социально-экономического развития регионов России. *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*, 6(2-1): 143–147.
- Ускова Т.В., Ворошилов Н.В. 2015. Региональная политика территориального развития: монография. Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН. 156 с. ISBN 978-5-93299-305-7.
- Шлеенко А.В. 2021а. Современная методологическая концепция региона с позиций инновационного подхода. *Управленческий учет*, 8(2): 338–342.
- Шлеенко А.В. 2021б. Инновации, инновационная активность, инновационный потенциал, инновационная среда. К проблеме взаимосвязи понятий. *Управленческий учет*, 2: 132–137.
- Шлеенко А.В., Кликунов Н.Д. 2020. Влияние радикальных и нерадикальных инноваций на темпы достижения стационарного состояния экономической системы с учетом особенностей модели Солоу. *Экономические и гуманитарные науки*, 7(342): 17–26.
- Fujita M., Krugman P., Venables A. 1999. *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge: MIT Press. ISBN 0-262-06204-6.
- Krugman P. 1997. *Development, Geography, and Economic Theory*. Cambridge: The MIT Press. URL: [http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/GeographyPaul %20Krugman.pdf](http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/GeographyPaul%20Krugman.pdf) (дата обращения: 28.09.2025).
- Rybczynski T.M. 1955. Factor Endowment and Relative Commodity Prices. *Economica*, 22(88): 336–341. DOI: 10.2307/2551188.

References

- Belyaev S.A. 2020. Issledovanie dinamiki i struktury VRP regiona [Study of the dynamics and structure of the GRP of the region]. *Regional'nyy vestnik*, 13: 73–74.
- Voronina E.A. 2020. Formirovanie innovatsionnoy sredy regional'noy ekonomicheskoy sistemy [Formation of the innovative environment of the regional economic system]. *Sotsial'no-politicheskie issledovaniya*, 1(6): 36–42.
- Goncharov A.Yu., Sirotkina N.V. 2015. Sbalansirovannoe regional'noe razvitie. Steykkholderovskiy i sotsiodarvinistskiy podkhody [Balanced regional development. Stakeholder and social Darwinist approaches]. *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie*, 3: 10–17.
- Granberg A.G. 2007. Modelirovanie prostranstvennogo razvitiya natsional'noy i mirovoy ekonomiki: evolyutsiya podkhodov [Modeling the spatial development of national and world economy: evolution of approaches]. *Region: ekonomika i sotsiologiya*, 1: 87–106.
- Kalashnikov A.N. 2019. Sbalansirovannoe regional'noe razvitie kak strategicheskoy prioritet sovremennoy etapy funktsionirovaniya ekonomik rossiyskikh regionov [Balanced regional development as a strategic priority of the current stage of functioning of the economies of Russian regions]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki*, 5(103): 39–48.
- Keyns J.M. 2022. Obshchaya teoriya zanyatosti protsenta i deneg [The General Theory of Employment, Interest and Money]. Moscow: AST. 544 p. ISBN 978-5-17-148781-2.
- Minakir P.A. 2014. Ekonomicheskyy analiz i izmereniya v prostranstve [Economic analysis and measurement in space]. *Prostranstvennaya ekonomika*, 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskii-analiz-i-izmereniya-v-prostranstve> (accessed: 28.09.2025).
- Minakir P.A., Dzhurka N.G. 2018. Metodologicheskie osnovaniya prostranstvennykh issledovaniy v ekonomike [Methodological foundations of spatial research in economics]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 88(7): 281–288. DOI: 10.1134/S1019331618040044.
- Mukhametova A.D. 2024. Regional'noe ekonomicheskoe razvitie na osnove effektivnogo ispol'zovaniya trudovykh resursov regiona [Regional economic development based on the effective use of the region's labor resources]. *Экономика и управление: научно-практический журнал*, 1(175): 72–76.
- Pareto V. 2022. *Uchebnik politicheskoy ekonomii* [Manual of Political Economy]. Moscow: RIOR. 592 p.



- Poldin O.V., Yudkevich M.M. 2011. Effekty soobucheniya v vysshem obrazovanii: obzor teoreticheskikh i empiricheskikh podkhodov [Peer effects in higher education: a review of theoretical and empirical approaches]. *Voprosy obrazovaniya*, 4: 106–123.
- Rassanova O.E., Denisova K.E. 2018. Regional'naya ekonomicheskaya politika [Regional economic policy]. *Upravlencheskaya ekonomika: teoriya i praktika*: 216–222.
- Sergeeva N.M., Solov'eva T.N. 2022. Vliyanie spetsializatsii na ekonomicheskoe razvitiye regionov [Influence of specialization on the economic development of regions]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 1: 28–32.
- Sorokina N.Yu. 2015. Soderzhanie i napravleniya ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossii [Content and directions of sustainable socio-economic development of Russian regions]. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye)*, 6(2-1): 143–147.
- Uskova T.V., Voroshilov N.V. 2015. Regional'naya politika territorial'nogo razvitiya: monografiya [Regional policy of territorial development: monograph]. Vologda: FBGUN VolNTs RAN. 156 p. ISBN 978-5-93299-305-7.
- Shleenko A.V. 2021a. Sovremennaya metodologicheskaya kontseptsiya regiona s pozitsiy innovatsionnogo podkhoda [Modern methodological concept of the region from the standpoint of an innovative approach]. *Upravlencheskiy uchet*, 8(2): 338–342.
- Shleenko A.V. 2021b. Innovatsii, innovatsionnaya aktivnost', innovatsionnyy potentsial, innovatsionnaya sreda. K probleme vzaimosvyazi ponyatiy [Innovation, innovation activity, innovation potential, innovation environment. On the problem of the relationship of concepts]. *Upravlencheskiy uchet*, 2: 132–137.
- Shleenko A.V., Klikunov N.D. 2020. Vliyanie radikal'nykh i neradikal'nykh innovatsiy na tempy dostizheniya statsionarnogo sostoyaniya ekonomicheskoy sistemy s uchetom osobennostey modeli Solou [Influence of radical and non-radical innovations on the rate of achievement of a stationary state of the economic system, taking into account the features of the Solow model]. *Ekonomicheskie i gumanitarnye nauki*, 7(342): 17–26.
- Fujita M., Krugman P., Venables A. 1999. *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge: MIT Press. ISBN 0-262-06204-6.
- Krugman P. 1997. *Development, Geography, and Economic Theory*. Cambridge: The MIT Press. URL: [http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/GeographyPaul %20Krugman.pdf](http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/GeographyPaul%20Krugman.pdf) (дата обращения: 28.09.2025).
- Rybczynski T.M. 1955. Factor Endowment and Relative Commodity Prices. *Economica*, 22(88): 336–341. DOI: 10.2307/2551188.

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 17.01.2026

Поступила после рецензирования 06.02.2026

Принята к публикации 28.02.2026

Received January 17, 2026

Revised February 06, 2026

Accepted February 28, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шлеенко Алексей Васильевич, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Ваганова Оксана Валерьевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой менеджмента и маркетинга, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksei V. Shleenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial and Civil Engineering, Southwest State University, Kursk, Russia

Oksana V. Vaganova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Management and Marketing, Emperor Alexander I St. Petersburg State University of Railway Engineering, St. Petersburg, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 658.8:001.891(075.8)

DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-45-64

EDN CTGMDT

Проектирование потребительского опыта: тестирование CJM с использованием нейромаркетинговых технологий

¹ Клещунова А.О., ²Прядко С.Н., ^{2,3}Коваленко М.Н.

¹ООО «Газпром Поляна»,

Россия, 354392, г. Сочи, с. Эстосадок, ул. Ачипсинская, д. 28/10

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

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

³Белгородский кожно-венерологический диспансер,

Россия, 308000, г. Белгород, Белгородский пр-т, д. 97

anna.gradzion@yandex.ru, pryadko_s@bsuedu.ru, kovalenko_mn@bsuedu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты практического кейса интеграции высокоточных биометрических измерений (айтрекинг, пупиллометрия) в классический процесс проектирования потребительского опыта через формирование карты пути клиента (Customer Journey Map (CJM)). Проведенное исследование демонстрирует переход от описательного моделирования пути клиента к его объективному, измеряемому и управляемому прототипированию на основе данных о подсознательном внимании и эмоциональном отклике клиентов. Цель исследования – протестировать и верифицировать карту пути клиентов брендовой продукции с применением нейромаркетинговых технологий для выявления скрытых барьеров и точек роста в офлайн-ритейле. Исследование проверяет три ключевые гипотезы, касающиеся эффективности навигационных инструментов, наружной рекламы и выкладки товаров в контексте привлечения и удержания визуального внимания потребителей. Методология исследования, представленная в статье, является авторской и включает три последовательных этапа: 1) теоретико-методологическое обоснование на основе контент-анализа научной литературы в международной базе данных Google Scholar; 2) полевой нейромаркетинговый эксперимент с использованием eye-tracking системы Tobii PRO Glasses 3 для сбора объективных биометрических данных (фиксация взгляда, саккады, диаметр зрачка) в естественных условиях офлайн-ритейла; 3) обработка и анализ данных в программной среде Tobii PRO LAB с последующей интерпретацией результатов, проверкой гипотез и формированием практических рекомендаций. Такой подход обеспечил валидность, воспроизводимость и чёткую связь между измеряемыми нейрометриками и бизнес-инсайтами. В результате исследования подтверждена эффективность нейромаркетинга как инструмента аудита CJM. Проведенный эксперимент позволил не только подтвердить (или опровергнуть) выдвинутые гипотезы, но и выявить глубинные, неочевидные при традиционных опросах проблемы: сегментарные различия в когнитивной обработке информации между возрастными группами (20–30 и 31–40 лет), наличие обширных слепых зон в товарной выкладке, а также критический системный сбой – рассогласование рекламного сообщения и рекламируемого ассортимента. Теоретическое значение исследования заключается в развитии методологии проектирования потребительского опыта за счёт интеграции нейронаучного подхода, что углубляет парадигму «активности клиента». Прикладное значение состоит в формировании конкретных рекомендаций для бизнеса: от упрощения интерфейса навигационной панели и ребрендинга наружной рекламы до необходимости редизайна планограммы и налаживания процессов согласования рекламы и ассортимента в ритейле. Полученные результаты и апробированная методика может быть применена в офлайн-ритейле для аудита и оптимизации потребительских путей, повышения конверсии и лояльности.



Ключевые слова: потребительский опыт, карта пути клиента, CJM, нейромаркетинговые технологии, eye-tracking

Для цитирования: Клещунова А.О., Прядко С.Н., Коваленко М.Н. 2026. Проектирование потребительского опыта: тестирование CJM с использованием нейромаркетинговых технологий. *Экономика. Информатика*, 53(1): 45–64. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-45-64. EDN CTGMDT

Designing the Consumer Experience: CJM Testing Using Neuromarketing Technologies

¹Anna O. Kleshchunova, ²Svetlana N. Pryadko, ^{2,3}Margarita N. Kovalenko

¹Gazprom Polyana LLC

28/10 Achipsinskaya St., Estosadok, Sochi 354392, Russia

²Belgorod State National Research University

85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

³Belgorod Skin and Venereal Diseases Dispensary

97 Belgorodsky Ave., Belgorod 308000, Russia

anna.gradzion@yandex.ru, pryadko_s@bsuedu.ru, kovalenko_mn@bsuedu.ru

Abstract. This article presents the results of a practical case study integrating high-precision biometric measurements (eye-tracking, pupillometry) into the classic customer experience design process through the creation of a customer journey map (CJM). The study demonstrates the transition from descriptive modeling of the customer journey to objective, measurable, and controllable prototyping based on data on subconscious attention and emotional responses of customers. The aim of the study is to test and verify a customer journey map for branded products using neuromarketing technologies to identify hidden barriers and growth points in offline retail. The study tests three key hypotheses regarding the effectiveness of navigation tools, outdoor advertising, and product display in attracting and retaining consumer visual attention. The research methodology presented in the article is the authors' own and includes three sequential steps: 1) theoretical and methodological substantiation based on a content analysis of scientific literature in the international Google Scholar database; 2) a field neuromarketing experiment using the Tobii PRO Glasses 3 eye-tracking system to collect objective biometric data (gaze, saccades, pupil diameter) in a natural offline retail setting; 3) data processing and analysis in the Tobii PRO LAB software environment, followed by interpretation of the results, hypothesis testing, and the development of practical recommendations. This approach ensured validity, reproducibility, and a clear connection between the measured neurometrics and business insights. The study confirmed the effectiveness of neuromarketing as a CJM audit tool. The experiment not only confirmed (or refuted) the hypotheses but also identified underlying issues not readily apparent in traditional surveys: segmental differences in cognitive information processing between age groups (20-30 and 31-40 years old), the presence of extensive blind spots in product displays, and a critical systemic failure – a misalignment of advertising messages and advertised merchandise. The theoretical significance of the study lies in the development of a methodology for designing consumer experiences by integrating a neuroscientific approach, which deepens the "customer activity" paradigm. Its practical significance lies in the development of specific recommendations for businesses: from simplifying the navigation bar interface and rebranding outdoor advertising to the need for planogram redesign and streamlining advertising and merchandise coordination processes in retail. The obtained results and the proven methodology can be applied in offline retail to audit and optimize consumer journeys, increase conversion rates, and improve loyalty.

Keywords: customer experience, customer journey map, CJM, neuromarketing technologies, eye-tracking

For citation: Kleshchunova A.O., Pryadko S.N., Kovalenko M.N. 2026. Designing the Consumer Experience: CJM Testing Using Neuromarketing Technologies. *Economics. Information technologies*, 53(1): 45–64 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-45-64. EDN CTGMDT

Введение

Современное развитие потребительских рынков происходит в условиях замедления роста потребительского сектора из-за инфляции и ухудшения потребительских настроений; ужесточения конкурентной среды и изменения структуры рынка; влияния санкционных ограничений на ритейл, особенно в сегменте импортных продуктов.

Возможным подходом укрепления позиций компании и её продуктов на рынке является проектирование потребительского опыта, под которым понимается совокупность эмоций, впечатлений и ощущений, которые потребитель получает в процессе взаимодействия с продуктом. Одним из инструментов проектирования потребительского опыта является формирование карты пути клиента (Customer Journey Map (CJM)), которая включает в себя последовательный анализ каждой точки пересечения потребителя с продуктом компании (онлайн и офлайн).

Для формирования CJM используются традиционные методы маркетингового исследования, чаще всего – это наблюдение или проведение анкетирования клиентов. Применение нейромаркетинговых технологий позволяет расширить эти границы и дополнить субъективные отчеты пользователей объективными данными. В частности, применение eye-tracking систем позволяет регистрировать и анализировать движение глаз человека, определяя точки фиксации взгляда, траектории его перемещения, продолжительность концентрации и эмоциональный отклик на тестируемые стимулы. Объективными преимуществами данной технологии является: возможность точного (до миллисекунды) измерения визуального внимания потенциальных (или реальных клиентов); выявление подсознательных паттернов восприятия (недоступных при применении вербальных методов); наглядная визуализация полученных данных.

Обзор литературы

Для обоснования методологии и формирования инструментария исследования нами был проведён контент-анализ тематических научных данных в Google Scholar. Семантическим запросом для проведения контент-анализа выступил запрос «проектирование потребительского опыта» (customer experience design). Исследование показало, что в научной базе содержится 5 370 000 (0,10 сек.) тематических документов. Динамика тематических публикаций в базе научных данных Google Scholar представлена на рис. 1.



Рис. 1. Динамика тематических публикаций в базе научных данных Google Scholar (дата обращения 23.01.2026)

Fig. 1. Dynamics of thematic publications in the Google Scholar scientific database (accessed on 23.01.2026)

Согласно представленным данным видна возрастающая динамика исследовательского интереса к проблеме исследования. Значительное повышение числа публикаций, а соответственно и исследований, связанных с проектированием потребительского опыта, относится к периоду 2001–2010 годов.

Результаты краткого контент-анализа ключевых тематических публикаций с максимальными показателями цитирования в Google Scholar представлены в табл. 1.

Таблица 1
 Table 1

Краткий контент-анализ публикаций с максимальными показателями цитирования в Google Scholar
 A brief content analysis of publications with the highest citation rates in Google Scholar

Период / количество публикаций	Контекст упоминания / Автор(ы) / Год издания / Цитирование	Комментарий
1	2	3
1950–1960 гг. 13100 (0,07 сек.)	...паттерн – это дизайн или тип мышления. У каждого покупателя свои покупательские привычки. Паттерны покупательского поведения представляют собой дизайн поведения большого числа покупателей. [Applebaum, 1951] Цитируется: 560	В качестве методов проектирования потребительского опыта автор предлагает использование наблюдения и контролируемого эксперимента.
1961–1970 гг. 17600 (0,11 сек.)	... на удовлетворенность клиентов продуктом влияют усилия, которые они прикладывают для его приобретения, и их ожидания относительно продукта... [Cardozo, 1965] Цитируется: 3514	При проектировании потребительского опыта необходимо учитывать усилия, затраченные потребителем на поиск и приобретение продукта, и его ожидания (чем больше клиент прилагает усилий, тем степень удовлетворённости от покупки выше).
1971–1980 гг. 17500 (0,16 сек.)	... задача производителя – выбрать и привлечь группу клиентов для получения информации о проектировании продукта, их мнения о возможности совершения покупки... [Von Yipfel, 1978] Цитируется: 1116	При проектировании потребительского опыта необходимо сместить фокус парадигмы с «активности производителя» на «активность клиента» (клиент предлагает идею продукта и берёт на себя инициативу передать её заинтересованному производителю).
1981–1990 гг. 23100 (0,16 сек.)	... и недолговечный товар, с использованием экспериментальных процедур, в которых для каждого продукта в факторном дизайне манипулируются три уровня ожиданий и три уровня производительности... [Churchill, 1982] Цитируется: 8026	При проектировании потребительского опыта необходимо учитывать ожидания клиентов в контексте прогнозирования их удовлетворённости.
1991–2000 гг. 21300 (0,08 сек.)	... руководители онлайн-компаний отмечают, что создание привлекательного онлайн-опыта для киберклиентов критически важно для создания конкурентного преимущества в Интернете... [Novak, Hoffman, Yung, 2000] Цитируется: 5459	Для проектирования потребительского опыта необходимо формирование доступной и привлекательной онлайн-среды (качество онлайн-опыта можно определить, измерить и связать с важными маркетинговыми переменными).

1	2	3
2001–2010 гг. 54600 (0,11 сек.)	... клиенты получают отличный опыт взаимодействия по всем каналам. В статье представлен обзор существующей литературы по клиентскому опыту... и метрики для оценки эффективности... [Verhoef, Lemon, Parasuraman, Roggeveen, Tsiros, Schlesinger, 2009] Цитируется: 5831	Для проектирования потребительского опыта необходимо учитывать социальную среду, технологии самообслуживания и наличие сильного бренда.
2011–2020 22600 (0,09 сек.)	... анализ пути клиента, как в литературе по управлению, так и в литературе по многоканальному взаимодействию, начал рассматривать проектирование клиентского опыта, как способа взаимодействия с компанией... [Lemon, Verhoef, 2016] Цитируется: 10429	В исследовании авторы предлагают развить понимание клиентского опыта как многомерного концепта, который включает когнитивные, эмоциональные, сенсорные, социальные и духовные реакции клиентов на взаимодействия с компанией.
2021 – настоящее время 33700 (0,14 сек.)	... управление и маркетинг как часть процесса создания клиентского опыта и ценности. Создание клиентского опыта и ценности в сфере гостеприимства. Дизайн / методология/ подход... [Buhalis, Lin, Leung, 2023] Цитируется: 626	В исследовании авторы анализируют возможности трансформации клиентского опыта в условиях метавселенной. В статье обосновывается необходимость создания гибридного виртуального и физического опыта в условиях метавселенной.

Проведенный контент-анализ научной литературы показывает, что исследовательский интерес к проблематике проектирования потребительского опыта (поведения) имеет глубокие исторические корни и прошёл эволюцию от изучения базовых паттернов (1950–1970-е годы) до комплексного управления многоканальным клиентским опытом на протяжении всего пути клиента [Howkes, 1971; Bellos, Kavadis, 2021; Muller, Park, Park, 2019].

За анализируемый период произошёл ключевой сдвиг в научной парадигме: от активности производителя (производитель изучает и удовлетворяет нужды клиента) к активности клиента (клиент становится со-создателем ценности и центральным элементом проектирования опыта). Это отражает переход от транзакционного подхода к отношениям, основанным на вовлечении и лояльности [Chase, 1981; Chase, 2010].

На протяжении десятилетий были сформулированы и эмпирически проверены фундаментальные концепции, определяющие современное понимание научной проблемы: влияние усилий и ожиданий клиентов на степень их удовлетворенности; роль воспринимаемого качества; структурные модели изменения онлайн-опыта; многомерность потребительского опыта (когнитивный, эмоциональный и социальный аспекты) и его детерминанты [Johnston, Kong, 2011; Bellos, Kavadias, 2019; Bellos, Kavadias, 2020; Unal, Bagci, Tascioglu, 2025; Poka, Anukwe, 2020; Gheorghe, Purcarea, Gheorghe, 2023].

Пик публикационной активности и годы опубликования максимально цитируемых работ приходятся на период с 2000-х годов до настоящего времени, что свидетельствует о высокой актуальности проблемы исследования в условиях цифровизации и гиперконкуренции. Проанализированные исследования носят ярко выраженный прикладной характер и в основном фокусируются на создании конкурентных преимуществ через управление клиентским опытом.

Таким образом, проведенный обзор научной литературы подтверждает теоретическую обоснованность и практическую востребованность проблемы исследования, а также

демонстрирует логику развития научного исследовательского инструментария – от простого наблюдения за поведением клиентов до применения высокоточных когнитивных технологий (таких, как айтрекинг) для объективного анализа сложного многокомпонентного феномена потребительского опыта.

Методика и дизайн исследования

Целью данного исследования являлись разработка и апробация интегрированной методики тестирования карты пути клиента (СJM), основанной на комбинации классических маркетинговых инструментов и высокоточных нейромаркетинговых технологий для объективного аудита потребительского опыта в офлайн-ритейле. Методика исследования, представленная в данной работе, является авторской и реализована впервые для решения указанных задач. Она разработана с учетом принципов воспроизводимости и верифицируемости результатов и включает в себя три последовательных этапа (рис. 2).

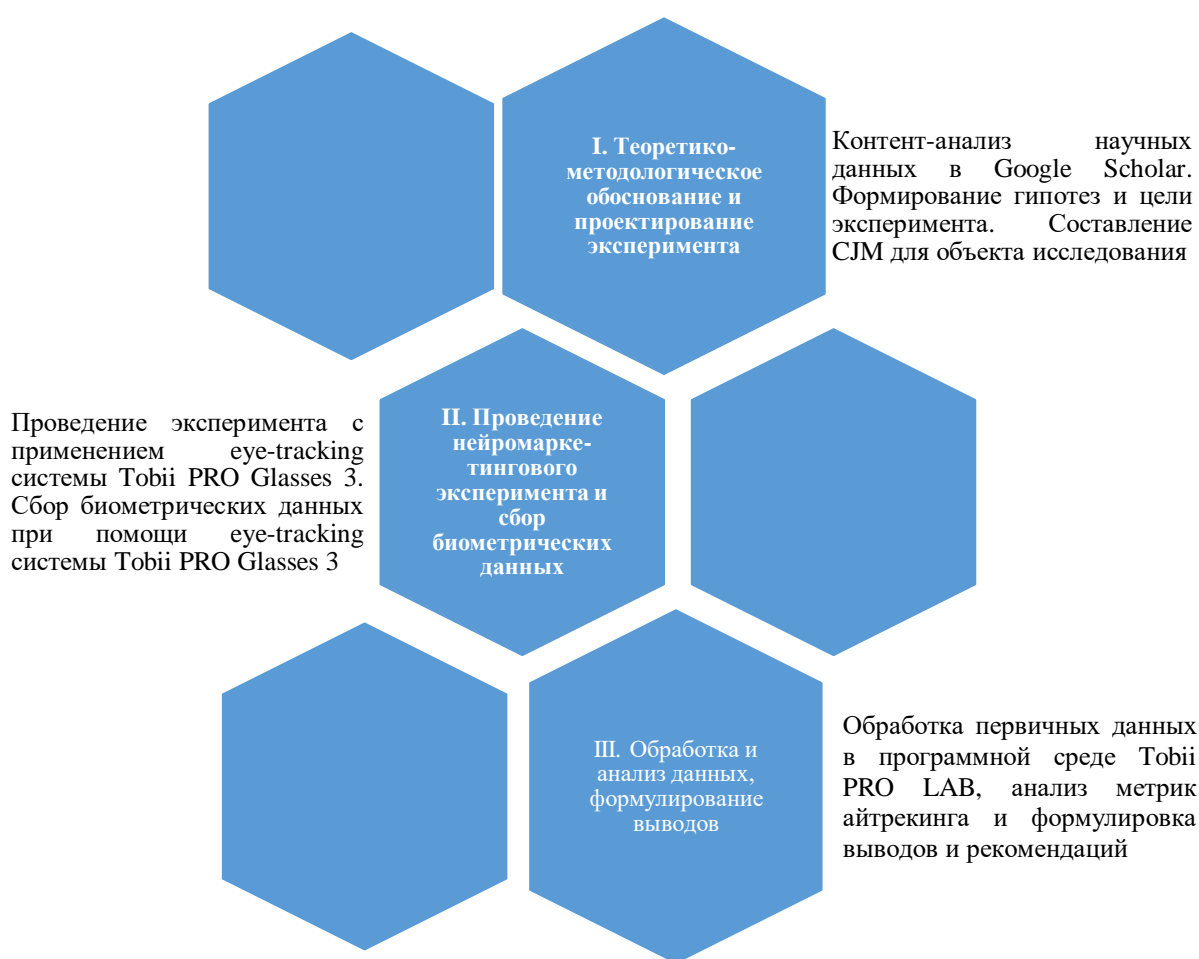


Рис. 2. Содержание основных этапов исследования
Fig. 2. The content of the main stages of the study

Первый этап – теоретико-методологическое обоснование и проектирование эксперимента.

На первом этапе была проведена систематизация теоретической базы и сформирован дизайн эмпирического исследования.

1) Для обоснования выбора инструментария и определения научного контекста был проведён контент-анализ публикаций в международной научной базе Google Scholar. Анализ выполнялся по следующему алгоритму:

✓ постановка запроса (в качестве семантического ядра использовался запрос «проектирование потребительского опыта» (customer experience design));

✓ сбор и фильтрация данных (анализировалась общая динамика публикационной активности по проблематике (рис. 1); отбирались работы с максимальными показателями цитируемости по десятилетиям с 1950 года до настоящего момента (табл. 1);

✓ в результате проведенного анализа была исследована эволюция методологии потребительского поведения, подтверждена актуальность применения CJM как ключевого инструмента дизайна потребительского опыта и обоснования необходимости её дополнения объективными нейрометриками; результатом анализа стало подтверждение исследовательского тренда на переход от вербальных отчетов к измерению подсознательных реакций.

2) Определение объекта, предмета и гипотезы исследования. Объект исследования – это процесс взаимодействия потенциального потребителя с брендом в офлайн-среде (на примере магазин подарков Modi в Торговом центре Меркурий (г. Белгород, ул. Победы, 147). Предмет исследования – визуальное внимание и эмоциональный отклик потребителя в ключевых точках контакта, зафиксированных при помощи нейромаркетинговых технологий. На основании анализа литературы и предварительного аудита точек контакта были выдвинуты три проверяемые гипотезы, касающиеся эффективности навигации, наружной рекламы и выкладки товаров (табл. 2). Для каждой гипотезы были определены конкретные биометрические метрики и их пороговое значение для статистической верификации.

3) Проектирование пути клиента для тестирования. Был построен детализированный CJM, состоящий из девяти ключевых шагов потребителя от входа в торговый центр до совершения (или несовершения) покупки. Данная карта послужила сценарием и структурной основой для проведения полевого эксперимента.

Второй этап – проведение нейромаркетингового эксперимента и сбор биометрических данных. Второй этап представлял собой полевое исследование, направленное на сбор объективных данных о поведении потребителей в естественной среде. Для проведения эксперимента была использована айтрекинг-система Tobii PRO Glasses 3. Данное оборудование представляет собой очки с интегрированными камерами, которые с частотой 100 Гц регистрируют движение глаз, обеспечивая точность измерения до 0.6° визуального угла. Система позволяет проводить исследования в неконтролируемых полевых условиях с сохранением свободы движения респондентов. В качестве биометрических параметров для оценки были выбраны следующие метрики:

✓ Time to first fixation (TTFF) – время до первой фиксации;

✓ Fixation hit интерактивной панели в биннах;

✓ Total duration on fixation – общая продолжительность фиксации на выделенных стимулах;

✓ Average duration of fixation – средняя продолжительность фиксации на выделенных стимулах;

✓ Average pupil diameter – средний диаметр зрачка участников эксперимента.

В исследовании приняли участие две группы респондентов, которые были разделены по возрастам (20–30 и 31–40 лет). Участники отбирались случайным образом среди посетителей торгового центра. Перед началом эксперимента каждому участнику разъяснялись его права, обеспечивалась анонимность и добровольность его участия. После калибровки оборудования участнику выдавалась нейтральная инструкция. Экспериментатор следовал на расстоянии, не вмешиваясь в процесс. Эксперимент проводился в стандартные часы работы торгового центра для обеспечения типичности условий. Все рекламные материалы и выкладка товаров в период исследования оставались неизменными.

Третий этап – обработка и анализ данных, формулирование выводов и рекомендаций. Собранные в ходе эксперимента биометрические данные были обобщены и систематизированы в аналитические инсайты и практические рекомендации. Данные были импортированы в программную среду Tobii PRO LAB. Обработка включала:

- ✓ сегментацию записи (разделение общего видеопотока на эпизоды, соответствующие точкам контакта на CJM);

- ✓ определение области интереса (AOI Areas of Interest) для каждой точки контакта CJM (информационная панель, рекламные баннеры и витрины);

- ✓ программа автоматически рассчитала для каждого AOI и для каждого участника набор количественных показателей, определённых для анализа.

Для интерпретации количественных данных была использована визуализация:

- ✓ тепловые карты (Heat Maps), отображающие плотность и интенсивность визуального внимания (рис. 4);

- ✓ карты путей взгляда (Gaze Plots), показывающих последовательность и длительность фиксаций (рис. 5);

- ✓ графики динамики метрик (TTFF, диаметр зрачка и пр.) по группам респондентов (рис. 6–11).

Визуализация позволила выделить «слепые зоны» (элементы без внимания), паттерны сканирования и визуальные барьеры.

На основании полученного массива данных проводилась проверка гипотез путём сравнения фактических значений метрик с пороговыми значениями (табл. 2). Результаты верификации и качественные инсайты по каждой точке контакта были систематизированы и обобщены в таблице 3. Это позволило не только подтвердить или опровергнуть гипотезы, но и выявить глубинные, неочевидные при опросах проблемы (например, рассогласование рекламы и ассортимента) и сегментные различия в поведении. В заключение нейромаркетингового эксперимента полученные аналитические выводы были переведены в конкретные рекомендации для бизнеса. Каждому выявленному барьеру или точке роста было поставлено в соответствие практическое действие.

Таким образом, представленная трёхэтапная методика обеспечивает полный цикл от теоретического обоснования до генерации практических решений. Её ключевыми отличиями являются:

- ✓ интеграция традиционного маркетингового инструмента (CJM) с объективными нейрометриками;

- ✓ полевой дизайн эксперимента, обеспечивающий экологическую валидность;

- ✓ четкая связь между измеряемыми биометрическими показателями, проверяемыми гипотезами и итоговыми бизнес-рекомендациями.

Пошаговое использование данной методики обеспечивает возможность воспроизведения данного исследования для аудита CJM других компаний и сегментов рынка.

Результаты исследования и дискуссия

В ноябре 2025 года нами был проведен нейромаркетинговый эксперимент с применением eye-tracking системы Tobii PRO Glasses 3. Цель нейромаркетингового эксперимента – спроектировать CJM потенциального потребителя бренда Modi в ТЦ Меркурий (Белгород) с применением нейромаркетинговых технологий.

Задачи эксперимента:

- 1) выявить и верифицировать реальные точки контакта потенциальных потребителей с брендом Modi в ТЦ Меркурий (Белгород);

- 2) объективно оценить эффективность существующих рекламных носителей (интерактивная панель, наружные баннеры, выкладка продуктов) в привлечении и удержании визуального внимания на каждом этапе потребительского пути;

- 3) обнаружить «слепые зоны» и «барьеры» на пути клиента – элементы, которые не замечаются, игнорируются или вызывают когнитивную нагрузку, затрудняя навигацию и принятие решения о покупке;

4) собрать и проанализировать объективные биометрические данные (характер и длительность фиксации, саккады, диаметр зрачка и пр.) для разработки рекомендаций на основании инсайтов, полученных в исследовании.

На основании контент-анализа научных данных [Von Hippel, 1982; Пока, Anukwe, 2020; Gheorghe, Purcărea, Gheorghe, 2023], а также в соответствии с целью и задачами эксперимента были сформулированы гипотезы эксперимента (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Гипотезы нейромаркетингового эксперимента
Hypotheses of the neuromarketing experiment

№	Формулировка гипотезы	Ключевые метрики	Пороговое значение для подтверждения гипотезы
H1	Гипотеза навигации (интерактивная информационная панель)		
	Интерактивная информационная панель является неэффективной точкой контакта, что выражается в ее низкой заметности и неспособности привлечь и удержать внимание	1) AOI Hit Rate 2) Time to First Fixation 3) Total Fixation Duration	1) <80 % респондентов 2) > 5 секунд 3) < 1,5 секунд (в среднем на человека)
H2	Гипотеза об эффективности и эмоциональном отклике наружной рекламы (рекламные баннеры и штендер)		
	Наружные рекламные баннеры и штендер выполняют свою коммуникативную функцию, так как ключевые элементы (рекламный слоган, бренд и цена) привлекают и удерживают внимание посетителей	1) Dwell Time (баннер в целом) 2) Total Fixation Duration (на AOI – бренд и цена) 3) Average Pupil Diameter (при просмотре ключевых AOI)	1) <2 секунд 2) <0,5 секунд 3) статистически значимое увеличение (>5 %) по сравнению с базовым уровнем / нейтральным стимулом
H3	Гипотеза о выкладке продукта и ассортименте (когнитивная нагрузка и «слепые» зоны)		
	Визуальное представление ассортимента в магазине не создает когнитивной перегрузки и не имеет значительных «слепых зон», что способствует процессу выбора	1) Average Fixation Duration (по выкладке продуктов и ассортименту) 2) Revision Count (количество возвратов к рекламируемым продуктам) 3) Percentage of Products Not Fixated («слепые зоны»)	1) < 200 мс или > 600 мс 2) > 5 возвратов на респондента 3) > 20 % товаров не получили ни одной фиксации

На подготовительном этапе проведения эксперимента нами были выявлены и верифицированы основные точки контакта потенциальных потребителей с брендом Modi в ТЦ Меркурий (дополнительная информация¹⁾:

✓ потенциальный потребитель магазина подарков Modi заходит в Торговый центр Меркурий;

✓ потенциальный потребитель видит интерактивную информационную панель на первом этаже Торгового центра Меркурий;

¹ Прядко, С.Н. Нейромаркетинговые исследования для науки и бизнеса: Электронный ресурс: учебное пособие / С.Н. Прядко. – Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2025. – 106 с. ISBN 978-5-9571-3912-6. – URL: <http://dspace.bsuedu.ru/handle/123456789/65452>

- ✓ потенциальный потребитель находит магазин подарков Modi, согласно информации, расположенной на панели; и видит наружную рекламу (рекламные баннеры), расположенные на внешней стене магазина подарков Modi;
- ✓ потенциальный потребитель видит указатель входа в стеклянный короб магазина подарков Modi;
- ✓ потенциальный потребитель заходит в торговое пространство магазина подарков Modi;
- ✓ потенциальный потребитель знакомится с ассортиментом продуктов Modi и выбирает;
- ✓ потенциальный потребитель видит наружную рекламу (рекламные баннеры), расположенные на внутренней стороне магазина подарков Modi;
- ✓ потенциальный потребитель выбирает (или не выбирает) продукт бренда Modi, расположенный на рекламном баннере;
- ✓ потребитель покупает продукт Modi (или не покупает рекламируемый продукт) и покидает торговое пространство.

Визуализированный CJM потенциальных потребителей продуктов бренда Modi представлен на рис. 3.

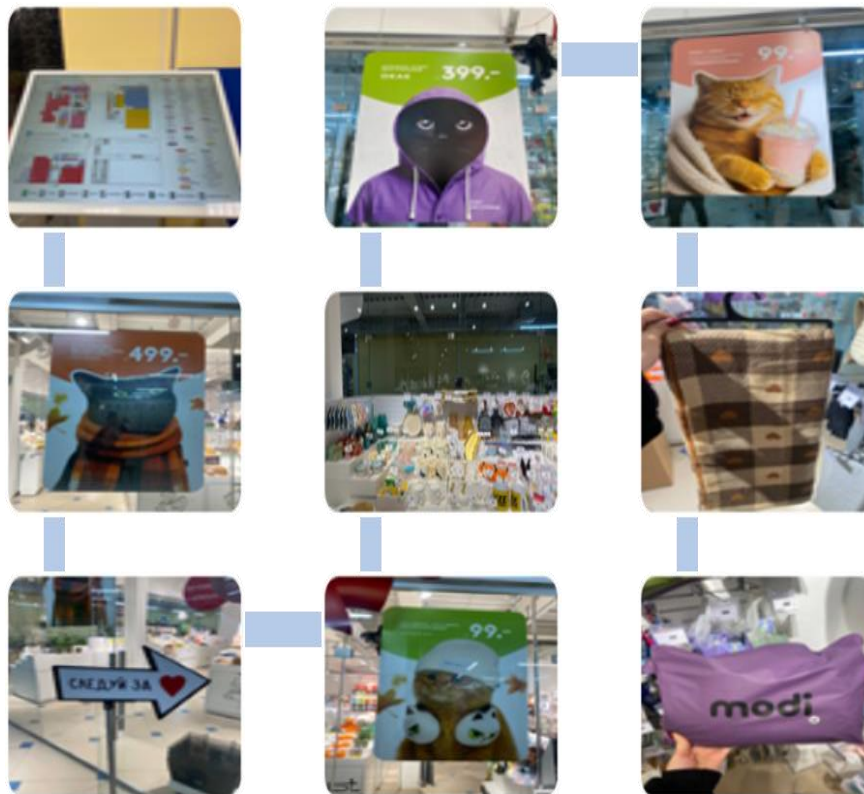


Рис. 3. Визуализированный CJM для тестирования
Fig. 3. Visualized CJM for testing

Эксперимент проходил в естественных условиях. Сценарий для участников эксперимента был сформулирован следующим образом: «Мы изучаем потребительское поведение и навигацию в торговом центре. Вам нужно будет надеть очки, которые запишут ваш маршрут и фокус внимания. Если у Вас появится желание, то Вы можете совершить обычную покупку в магазине подарков Modi. Участие в эксперименте является анонимным и добровольным».

Полученные данные были обработаны при помощи программного продукта Tobbi PRO LAB. Визуализированные количественные и качественные метрики eye-tracking для первой

точки контакта (интерактивная информационная панель) представлены на рисунках 4–11 (дополнительная информация¹).

Анализ эффективности навигации в ТЦ Меркурий показал, что 100 % участников эксперимента воспользовались интерактивной информационной панелью для поиска магазина подарков Modi. Общая продолжительность изучения интерактивной панели (Total duration of fixation in AOI (including zeroes)) составила 219,18 мс. Общий срок действия интереса составил 28,36 мс. Показатель TTFF (Time to First Fixation) в среднем составил 14,18 сек.

Тепловая карта внимания и траектория движения взгляда участников эксперимента по выделенным зонам информационной панели (визуальная карта, информационный блок, условные обозначения) представлены на рисунках 4 и 5.

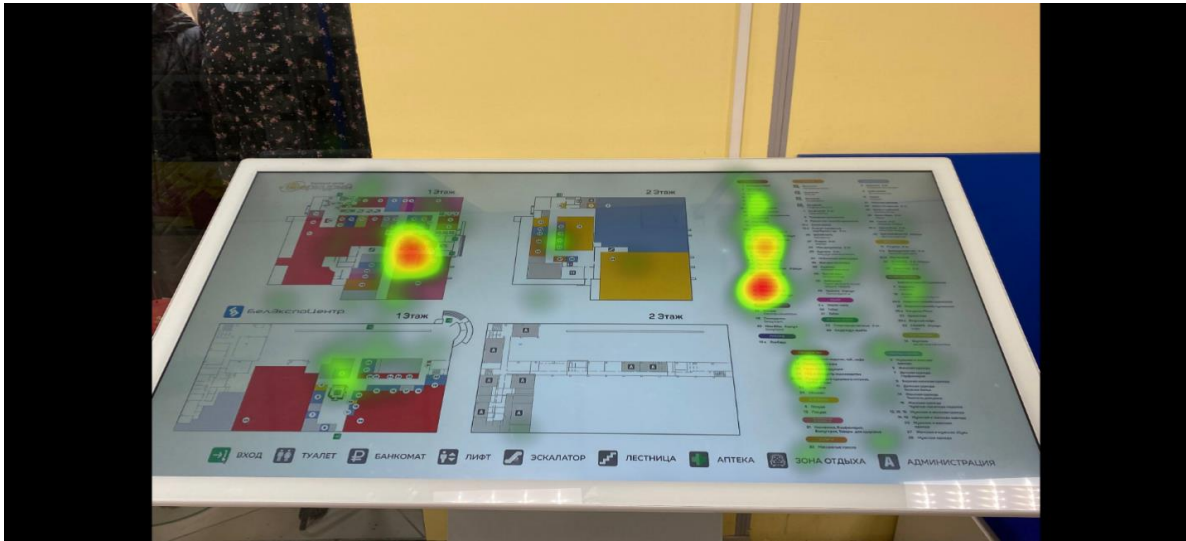


Рис. 4. Тепловая карта внимания участников эксперимента на выделенных стимулах информационной панели

Fig. 4. Heat map of the participants' attention on the highlighted stimuli on the information panel

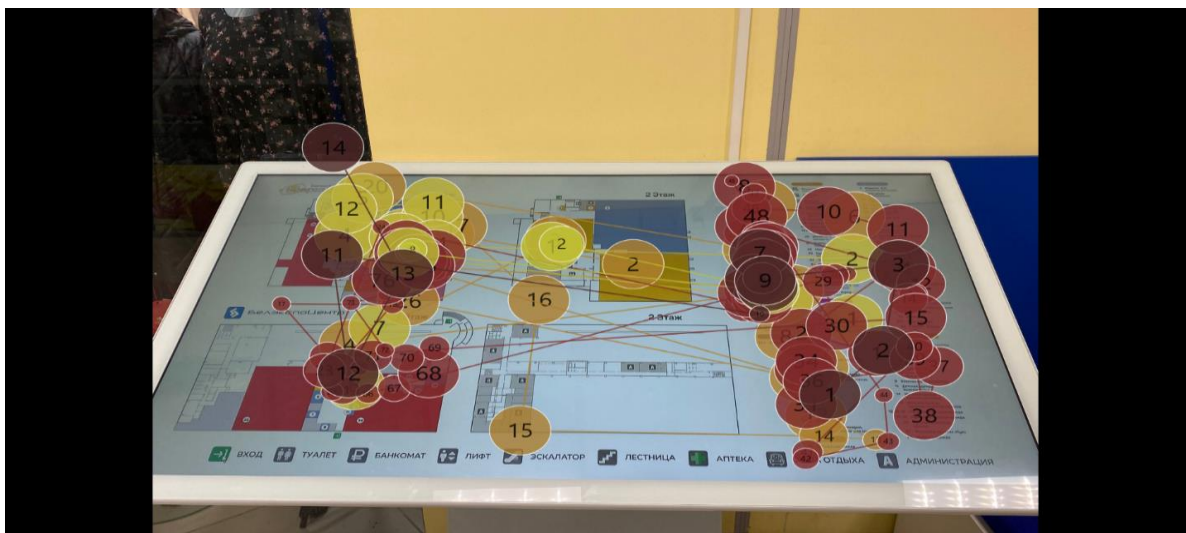


Рис. 5. Траектория движения взгляда участников эксперимента и продолжительность фиксации на выделенных стимулах информационной панели

Fig. 5. The trajectory of the participants' gaze movement and the duration of fixations on the highlighted stimuli on the information panel

¹ Нейромаркетинговые исследования для науки и бизнеса: канал на RUTUBE.
URL: <https://rutube.ru/channel/15929939/>

Согласно представленным данным видно, что первая точка контакта потенциальных потребителей с брендом Modi в ТЦ Меркурий обладает высокой заметностью: 100 % участников эксперимента увидели интерактивную панель и воспользовались ей для поиска тестируемого магазина подарков. Time to first fixation (TTFF) представлена на рис. 6.

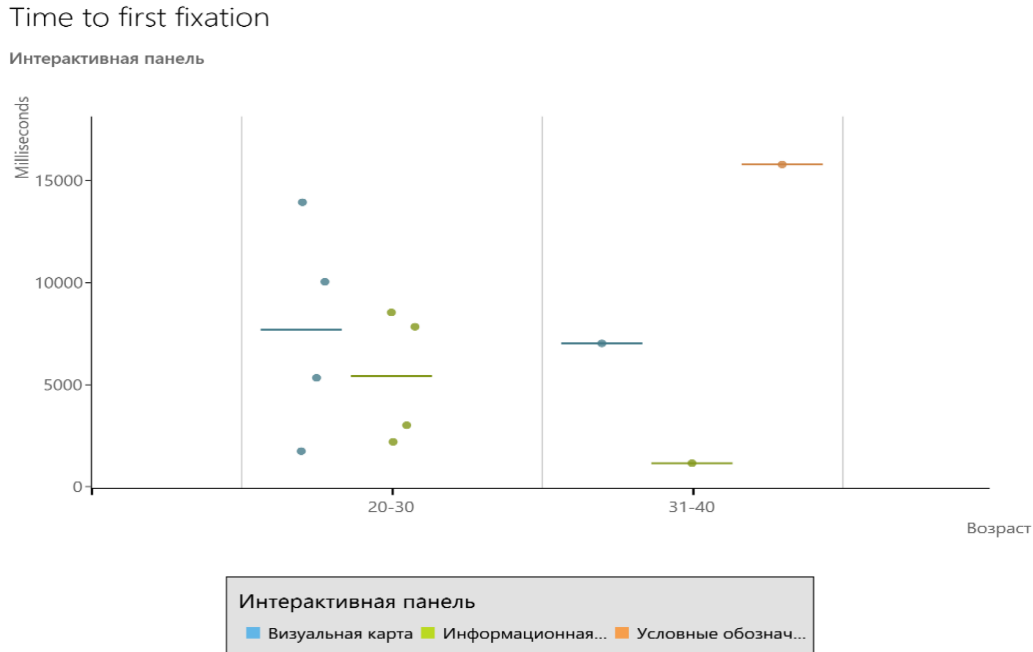


Рис. 6. Time to first fixation (TTFF) – время до первой фиксации
Fig. 6. Time to first fixation (TTFF)

Анализ TTFF показал, что в выделенных группах участников эксперимента время до первой фиксации выглядело следующим образом:

- 1) сегмент потенциальных покупателей от 20 до 30 лет: визуальная карта – 7649,5 мс; информационный блок – 5386 мс; условные обозначения – 0 мс;
- 2) сегмент потенциальных потребителей от 30 до 40 лет: визуальная карта – 6984 мс; информационный блок – 1113 мс; условные обозначения – 15750 мс.

Fixation hit – это показатель фиксации внимания потребителя на маркетинговом стимуле. До фиксации внимания информация обрабатывается подсознательно, на уровне фона. Fixation hit означает, что тестируемый элемент преодолел фильтр внимания и попал в фокус обработки информации. Во время фиксации взгляда мозг потребителя:

- кодирует информацию в память;
- оценивает её важность;
- сравнивает с предыдущим опытом;
- принимает микроконтрольные решения (дополнительная информация¹).

Визуализация Fixation hit интерактивной панели в биннах (интеллектуально сгруппированных данных) об изменении диаметра зрачка в тестируемых группах представлена на рис. 7.

Согласно представленным данным видно, что фиксация внимания при просмотре информационной панели была сосредоточена на: 1) визуальной карте (плана первого и второго этажа ТЦ); 2) информационном блоке (перечне магазинов, расположенных в ТЦ). Условные обозначения (легенда панели) внимание пользователей практически не привлекли и были изучены только одним участником эксперимента.

¹ Нейромаркетинговые исследования для науки и бизнеса: канал в ДЗЕН. URL: <https://dzen.ru/id/67e3fb0af580b555b1c37fbc>

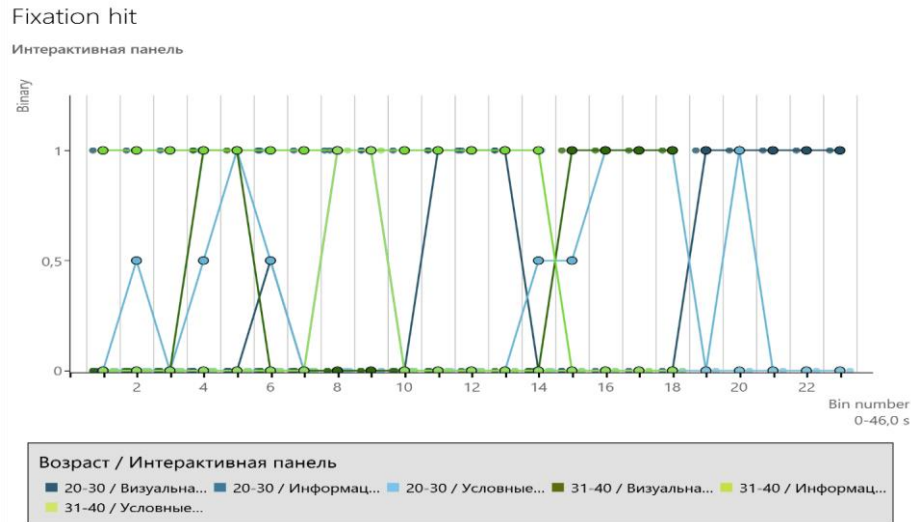


Рис. 7. Fixation hit (обнаружение стимула интерактивной панели) в биннах
Fig. 7. Fixation hit of the interactive panel in bins

Для того чтобы определить, насколько тестируемая точка контакта заинтересовала респондентов и какие тестируемые элементы вызвали когнитивный (или эмоциональный) отклик при её изучении, были проанализированы показатели Average duration of fixation (как активно изучали?) и Average pupil diameter (что при этом чувствовали?).

Общая продолжительность фиксации на выделенных зонах интегративной панели представлена на рис. 8.

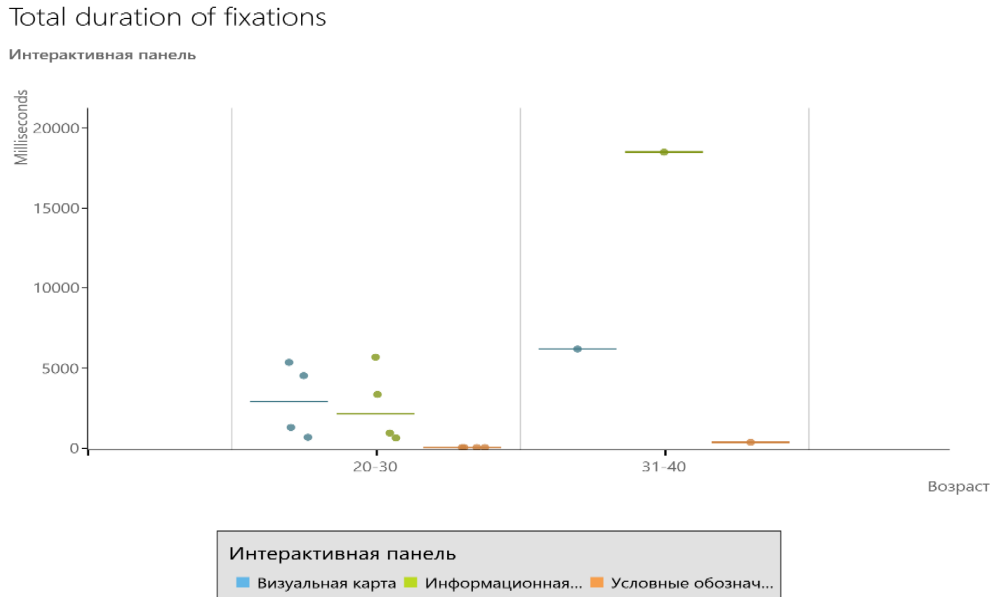


Рис. 8. Total duration on fixation – общая продолжительность фиксации на выделенных стимулах
Fig. 8. Total duration on fixation on selected stimuli

Более детальный анализ данных показывает, что внутри тестируемых групп участников эксперимента общая продолжительность фиксации выглядела следующим образом:

- 1) сегмент потенциальных покупателей от 20 до 30 лет: фиксация на визуальной карте составила 2869 мс; информационном блоке – 2105,5 мс; условных обозначениях – 0 мс;
- 2) сегмент потенциальных потребителей от 30 до 40 лет: фиксация на визуальной карте – 6151 мс; информационном блоке – 18453 мс; условных обозначениях – 321 мс.

Средняя продолжительность фиксации на тестируемых элементах представлена на рис. 9.

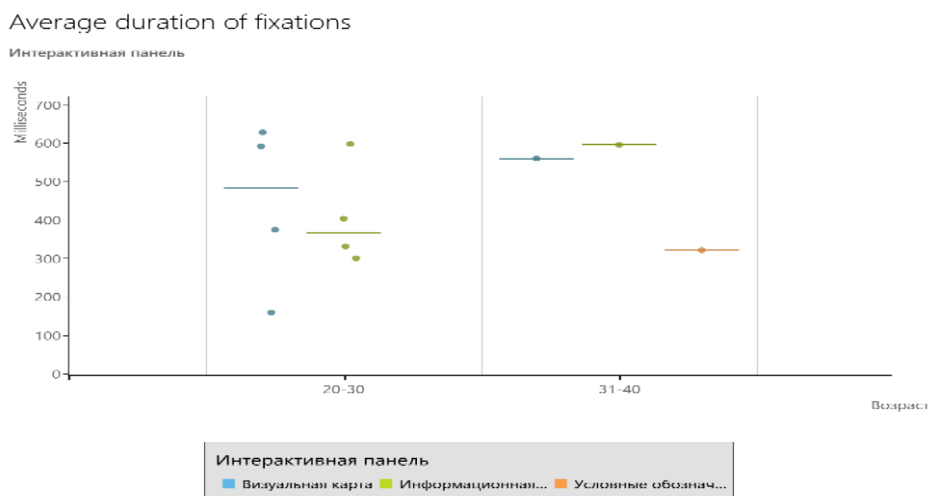


Рис. 9. Average duration of fixation – средняя продолжительность фиксации на выделенных стимулах
Fig. 9. Average duration of fixation on selected stimuli

Средняя продолжительность фиксации в сегменте от 20 до 30 лет на визуальной карте составила 482, 5 мс; на информационном блоке – 367 мс.

Первичной метрикой пупиллометрии является Average pupil diameter – средний диаметр зрачка участников в течение прохождения эксперимента. Average pupil diameter представлен на рис. 10.

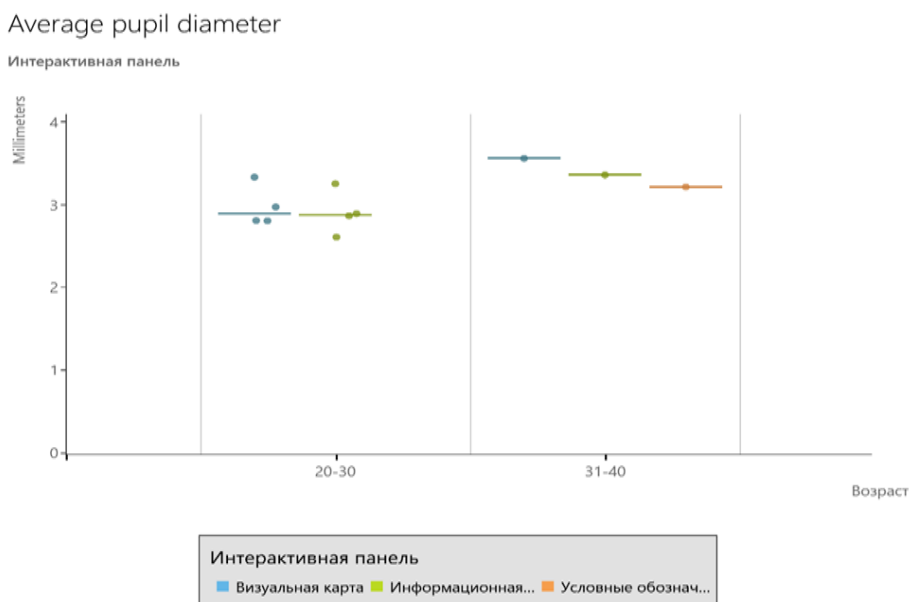


Рис. 10. Average pupil diameter – средний диаметр зрачка участников эксперимента
Fig. 10. Average pupil diameter of the participants in the experiment

Согласно представленным данным видно, что средний диаметр зрачка в тестируемых группах составил:

- 1) сегмент от 20 до 30 лет: на визуальной карте – 2,89 мм; на информационном блоке – 2,87 мм;
- 2) сегмент потенциальных потребителей от 30 до 40 лет: на визуальной карте – 3,56 мм; на информационном блоке – 3,36 мм; условных обозначениях – 3,21 мм.

Интеллектуально сгруппированные данные об изменении диаметра зрачка в тестируемых группах (Average pupil diameter binner) представлены на рис. 11.

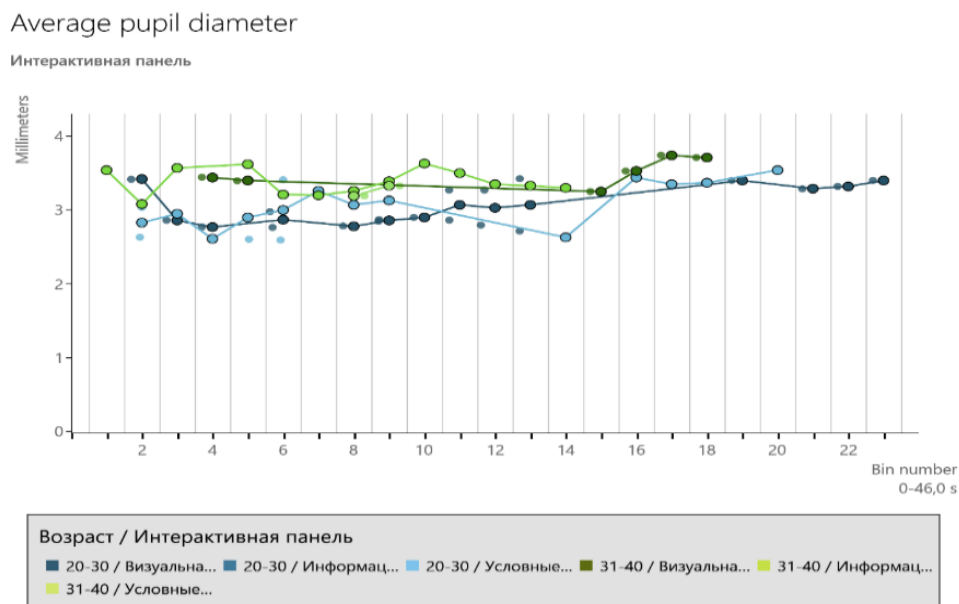


Рис. 11. Average pupil diameter – средний диаметр зрачка в биннах
 Fig. 11. Average pupil diameter binner – average pupil diameter, bins

Исследование показало, что участники эксперимента сегмента от 30 до 40 лет продемонстрировали более высокий эмоциональный отклик при просмотре тестируемых элементов интерактивной информационно панели. Но в данном случае речь может идти не столько об эмоциональной вовлеченности, сколько об обработке и запоминании информации.

Результаты нейромаркетингового эксперимента позволили опровергнуть первую гипотезу о неэффективности интерактивной информационной панели как первой точки контакта. Панель успешно выполняет навигационную задачу: 100 % респондентов заметили и использовали её для поиска тестируемого магазина. Анализ данных айтрекера выявил избирательное внимание пользователей: основной фокус был сосредоточен на визуальной карте этажей и информационном блоке со списком магазинов. Условные обозначения (легенда карты) была проигнорирована большинством участников. Когнитивная и эмоциональная реакции различались в разных группах потребителей: участники сегмента 20–30 лет взаимодействовали с панелью быстрее и с меньшей фиксацией внимания; участники сегмента 31–40 лет проявили более глубокую вовлеченность, что интерпретируется, как более интенсивная когнитивная обработка информации.

Аналогичным способом были протестированы все ключевые точки CJM потенциальных потребителей продуктов бренда Modi в Торговом центре Меркурий (табл. 3).

Проведенный эксперимент позволил проанализировать подсознательный фокус внимания и «слепые зоны», неочевидные при традиционных опросах. Это подтвердило основную гипотезу исследования о необходимости дополнять субъективные отчеты объективными биометрическими данными для проектирования и корректировки CJM. В результате проведенного эксперимента обнаружены ключевые различия в двух тестируемых группах потребителей (20–30 и 31–40 лет). Это обосновывает необходимость сегментированных CJM и персонализированных маркетинговых решений. Наибольшее количество барьеров и проблем выявлено не на этапе поиска и навигации, а внутри магазина на этапе знакомства с ассортиментом и принятия решения. Это является в то же время основным потенциалом для роста конверсии. Основным выявленным барьером – это отсутствие в продаже одного из рекламируемых продуктов.



Таблица 3
 Table 3

Краткие обобщенные результаты верификации тестируемого CJM
 Summary of the verification results of the CJM under test

Проверяемый элемент / гипотеза / статус	Ключевые доказательства / данные айтрекинга	Основной инсайт и рекомендуемое действие
1	2	3
Интерактивная навигационная панель / Н1 / не подтверждена	AOI Hit Rate = 100 % (все респонденты использовали) TTFF = 14,18 сек. (медленное обнаружение) Total duration on fixation (игнорирование условных обозначений (легенды) у группы 20–30 лет). Average pupil diameter > 3 мм (высокая вовлеченность у группы 31–40 лет на информационном блоке панели).	Инсайт: информационная интерактивная панель эффективна, но интерфейс перегружен; легенда панели – «слепая зона». Действие: упростить интерфейс; интегрировать легенду в карту; добавить акценты (световой или звуковой сигнал) для скорейшего обнаружения панели.
Наружные рекламные баннеры / Н2 / частично опровергнута	Fixation Hit: ключевые элементы (название, цена) в большинстве случаев игнорируются, особенно у группы 20–30 лет (например, для рекламного баннера «шарф» зафиксировано внимание только на визуальном элементе (на цене и тексте – фиксации не отмечено). Total duration / Pupil diameter: активное внимание и отклик (3,5–3,7 мм) только у группы 31–40 лет.	Инсайт: реклама является эффективной только в сегменте 31–40 лет. Для более молодой аудитории рекламные баннеры бренда – белый шум. Ключевая информация – бренд и цена – осознанно не воспринималась (не запомнилась). Действия: увеличить контраст и размер шрифта для ключевой информации (бренд и цена). Пересмотреть дизайн для аудитории 20–30 лет.
Рекламный штендер / Н2 / частично опровергнута	Fixation Hit: практически полное игнорирование в обеих тестируемых группах. Total duration / Pupil diameter: 230 мс / 3,67 мм. в группе 31–40 лет.	Инсайт: штендер не выполняет функцию навигации. Действия: убрать или кардинально переработать (изменить цвет, добавить звуковой или световой сигнал при приближении).
Выкладка ассортимента в магазине / Н3 / частично опровергнута	Выявлены обширные «слепые зоны», до трети ассортимента магазина не получили ни одной фиксации взгляда.	Инсайт: текущая выкладка неэффективна, большое количество продуктов невидимы для посетителей. Действия: провести редизайн планограммы, ввести аукционные маркеры, улучшить расстановку «слепых зон».
Выкладка рекламируемых новинок / Н3 / частично опровергнута	Данные пупиллометрии и анализа фиксации указывают на отсутствие ожидаемого эмоционального отклика и повышенного интереса.	Инсайт: новинки представлены как рядовой товар и не выделяются на уровне другого ассортимента. Действия: создать отдельную ярко выделенную зону «новинки»; добавить динамичный контент (например, экран с видео), добавить ценники с тегом «Новинки / NEW».

1	2	3
Согласованность рекламы и ассортимента	Выявлен критический барьер – рекламируемый продукт (кружка) – отсутствует в ассортименте магазина.	Инсайт: разрыв между рекламным обращением и реальным предложением подрывает доверие потребителей. Действие: добавить рекламируемый продукт в ассортимент; внедрить процесс проверки согласованности рекламируемых продуктов с наличием в магазине.

Заключение

Проведенное исследование было направлено на развитие методологии проектирования потребительского опыта на основании интеграции нейромаркетинговых технологий и традиционного процесса построения и тестирования пути клиента (СJM). Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. Подтверждена эффективность использования нейромаркетинга как инструмента объективного аудита СJM. Использование метрик айтрекинга позволило перейти от субъективных вербальных отчетов к измеряемому анализу из подсознательного внимания и эмоционального отклика в процессе контакта с продуктом в СJV.

2. Апробирована методика тестирования СJV с использованием биометрических данных. В исследовании реализована методика, включающая в себя контент-анализ научных данных; полевой эксперимент с применением eye-tracking системы Tobii PRO Glasses 3 и обработкой данных в Tobii PRO LAB; формирование рекомендаций по оптимизации СJM клиентов.

3. Применённый подход позволяет протестировать реальные, а не предполагаемые точки контакта в процессе СJM, а также количественно оценить эффективность маркетинговых стимулов (рекламных носителей, навигации, выкладки) через метрики визуального внимания и эмоциональной вовлеченности клиентов.

4. В результате проведенного эксперимента были обнаружены «слепые зоны» в выкладке, когнитивные барьеры и скрытые паттерны поведения, неочевидные для традиционных исследований.

5. На примере офлайн-ритейла были выделены и проанализированы ключевые дисфункции в тестируемом СJM. Проведенный эксперимент не только подтвердил и опровергнул отдельные гипотезы, но и позволил выделить критические разрывы в потребительском опыте:

– сегментные различия (обнаружены статистически значимые различия в когнитивной обработке информации и эмоциональном отклике между возрастными группами (20–30 и 31–40 лет), что научно обосновывает необходимость разработки сегментированных и персонализированных СJM;

– смещение проблемной зоны (основные проблемы, снижающие конверсию, локализованы не на этапе навигации, а на этапе выбора продукта внутри магазина (неэффективная планиграмма, наличие «слепых зон», отсутствие акцента на новинках));

– критический системный сбой (выявлен основной барьер – рассогласование рекламного сообщения и реального ассортимента), что на уровне нейрофизиологических данных подтверждает подрыв доверия и является ключевой точкой роста при ее устранении.

6. Сформирован практический инструментарий для оптимизации потребительского опыта. На основе биометрических данных разработан пакет конкретных измеримых рекомендаций для бизнеса (упрощение интерфейса навигационной панели; редизайн наружной рекламы с учётом сегментных предпочтений и другое).

Таким образом, проведенное исследование заключается в углублении парадигмы «активности клиента» за счет интеграции нейронаучного подхода к проектированию потребительского опыта. Исследование подтверждает, что современное проектирование CJM требует комбинации традиционного маркетингового анализа и анализа объективных данных о бессознательных процессах внимания потребителей. Практический вклад состоит в верификации методики проектирования CJM с использованием eye-tracking системы и доказательстве того, что комбинированный подход позволяет выявить скрытые, но управляемые ресурсы для повышения эффективности пути клиента.

Результаты работы демонстрируют, что современное проектирование и аудит CJM требует синергии классического маркетингового анализа и анализа объективных биометрических данных. В качестве пути дальнейших исследований и работ по внедрению полученных результатов можно выделить следующие направления.

Масштабирование и валидация методики:

✓ необходимо протестировать предложенный подход на различных объектах розничной торговли (разных форматов, ценовых сегментов и локаций), а также в онлайн-среде (веб-сайты, мобильные приложения и другое) для формирования универсальных или отраслевых стандартов нейромаркетингового аудита CJM;

✓ углубление мультимодального анализа (перспективным представляется дополнение айтрекинга и пупиллометрии другими нейрофизиологическими методами, такими как энцефалография (ЭЭГ), для оценки когнитивной нагрузки и эмоциональных паттернов, или гаптических датчиками для анализа взаимодействия с продуктом, что позволит сформировать более целостную картину потребительского опыта);

✓ внедрение в процессы бизнес-аналитики и управления (ключевой задачей является интеграция полученных объективных инсайтов в циклы непрерывного улучшения клиентского опыта компаний), для чего необходимы:

– разработка протоколов перевода нейрометрики в конкретные дизайн-требования и бизнес-задачи;

– создание кросс-функциональных рабочих групп, обученных интерпретировать биометрические данные;

– внедрение системы KRI, включающей как традиционные маркетинговые показатели (конверсия, средний чек), так и нейрометрики для оценки эффективности измерений;

✓ долгосрочные лонгитюдные исследования (для оценки устойчивого эффекта от оптимизации CJM на основе нейроинсайтов необходимы исследования, отслеживающие изменения в поведении, лояльности и клиентской ценности (LTV) потребителей после внедрения рекомендаций).

Таким образом, проведенное исследование закладывает научно-методическую основу для перехода к «управлению потребительским опытом, основанному на данных о внимании». Дальнейшее развитие этого направления способно обеспечить компаниям не только тактическое улучшение в точках контакта, но и стратегическое конкурентное преимущество за счет глубокого эмпирически подтвержденного понимания бессознательного поведения своих клиентов.

Список литературы

- Прядко С.Н. 2025. Формирование гипотезы нейромаркетингового исследования: кейс разработки и реализация. *Маркетинг и маркетинговые исследования*, 30, 4: 589–612. DOI: 10.18334/marketing.30.4.124466. EDN MZPMMK.
- Applebaum W. 1951. Studying customer behavior in retail stores. *Journal of marketing*, 16, 2: 172–178. DOI: 10.1177/002224295101600204
- Bellos I., Kavadias S. 2019. When should customers control service delivery? Implications for service design. *Production and Operations Management*, 28, 4: 890–907. DOI: 10.1111/poms.12956
- Bellos I., Kavadias S. 2020. Service design for a holistic customer experience: A process framework. *Management Science*, 67, 3: 718–736. DOI: 10.1287/mnsc.2020.3609

- Buhalis D., Lin M. S., Leung D. 2023. Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: implications for hospitality and tourism management and marketing. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 35, 2: 701–716. DOI: 10.1108/IJCHM-05-2022-0631
- Cardozo R.N. 1965. An experimental study of customer effort, expectation, and satisfaction. *Journal of marketing research*, 2, 3: 244–249. DOI: 10.2307/3150182
- Chase R.B. 1981. The customer contact approach to services: theoretical bases and practical extensions. *Operations research*, 29, 4: 698–706. <https://doi.org/10.1287/opre.29.4.698>
- Chase R.B. 2010. Revisiting “Where Does the Customer Fit in a Service Operation?” Background and Future Development of Contact Theory, *Handbook of service science*, Boston, MA: Springer US: 11–17.
- Churchill Jr G.A., Surprenant C. 1982 An investigation into the determinants of customer satisfaction. *Journal of marketing research*, 19, 4: 491–504. DOI: 10.1177/002224378201900410
- Hawkes A.G. 1971. Spectra of some self-exciting and mutually exciting point processes. *Biometrika*, 58, 1: 83–90. DOI: 10.1093/BIOMET/58.1.83
- Johnston R., Kong X. 2011. The customer experience: a road-map for improvement. *Managing Service Quality: An International Journal*, 21, 1: 5–24. DOI: 10.1108/09604521111100225
- Lemon K.N., Verhoef P.C. 2016. Understanding customer experience throughout the customer journey. *Journal of marketing*, 80, 6: 69–96. <https://doi.org/10.1509/JM.15.0420>
- Müller V., Park V., Park Z. 2019. Systematic evaluation of customer experience optimization in multi-channel banking service delivery. URL: academia.edu/145046001/Systematic_evaluation_of_customer_experience_optimization_in_multi_channel_banking_service_delivery.
- Novak T.P., Hoffman D.L., Yung Y.F. 2000. Measuring the customer experience in online environments: A structural modeling approach. *Marketing science*, 19, 1: 22–42. DOI: 10.1287/mksc.19.1.22.15184
- Unal U., Bağcı R.B., Taşcıoğlu M. 2025. Multidimensional customer experience in the sustainability context. *Management Decision*. DOI:10.1108/MD-12-2023-2316
- Verhoef P.C. et al. 2009. Customer experience creation: Determinants, dynamics and management strategies. *Journal of retailing*, 85, 1: 31–41. DOI: 10.1016/j.jretai.2008.11.001
- Von Hippel E. 1982. Successful Industrial Products from Customer Ideas: Presentation of a new cus Churchill Jr G. A., Surprenant C. An investigation into the determinants of customer satisfaction. *Journal of marketing research*, 19, 4: 491–504. doi:10.1016/0048-7333(82)90037-3.
- Iloka B.C., Anukwe G.I. 2020. Review of eye-tracking: A neuromarketing technique. *Neuroscience Research Notes*, 3, 4: 29–34. DOI: 10.31117/neuroscirn.v3i4.61
- Gheorghe C.M., Purcărea V.L., Gheorghe I.R. 2023. Using eye-tracking technology in Neuromarketing. *Romanian journal of ophthalmology*, 67, 1: 2. DOI: 10.22336/rjo.2023.2

References

- Pryadko S.N. 2025. Formirovanie hipotezi neiromarketingovogo issledovaniy: keys razrabotki i realizaciy [Formation of a hypothesis for neuromarketing research: a case study of development and implementation]. *Marketing and marketing research*, 30, 4: 589–612. DOI: 10.18334/marketing.30.4.124466. EDN MZPMKM.
- Applebaum W. 1951. Studying customer behavior in retail stores. *Journal of marketing*, 16, 2: 172–178. DOI: 10.1177/002224295101600204
- Bellos I., Kavadias S. 2019. When should customers control service delivery? Implications for service design. *Production and Operations Management*, 28, 4: 890–907. DOI: 10.1111/poms.12956
- Bellos I., Kavadias S. 2020. Service design for a holistic customer experience: A process framework. *Management Science*, 67, 3: 718–736. DOI: 10.1287/mnsc.2020.3609
- Buhalis D., Lin M.S., Leung D. 2023. Metaverse as a driver for customer experience and value co-creation: implications for hospitality and tourism management and marketing. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 35, 2: 701–716. DOI: 10.1108/IJCHM-05-2022-0631
- Cardozo R.N. 1965. An experimental study of customer effort, expectation, and satisfaction. *Journal of marketing research*, 2, 3: 244–249. DOI: 10.2307/3150182
- Chase R.B. 1981. The customer contact approach to services: theoretical bases and practical extensions. *Operations research*, 29, 4: 698–706. <https://doi.org/10.1287/opre.29.4.698>
- Chase R.B. 2010. Revisiting “Where Does the Customer Fit in a Service Operation?” Background and Future Development of Contact Theory, *Handbook of service science*, Boston, MA: Springer US: 11–17.



- Churchill Jr G. A., Surprenant C. 1982 An investigation into the determinants of customer satisfaction. *Journal of marketing research*, 19, 4: 491–504. DOI: 10.1177/002224378201900410
- Hawkes A.G. 1971. Spectra of some self-exciting and mutually exciting point processes. *Biometrika*, 58, 1: 83–90. DOI: 10.1093/BIOMET/58.1.83
- Johnston R., Kong X. 2011. The customer experience: a road-map for improvement. *Managing Service Quality: An International Journal*, 21, 1: 5–24. 10.1108/09604521111100225
- Lemon K.N., Verhoef P.C. 2016. Understanding customer experience throughout the customer journey. *Journal of marketing*, 80, 6: 69–96. <https://doi.org/10.1509/JM.15.0420>
- Müller V., Park V., Park Z. 2019. Systematic evaluation of customer experience optimization in multi-channel banking service delivery. URL: academia.edu/145046001/Systematic_evaluation_of_customer_experience_optimization_in_multi_channel_banking_service_delivery.
- Novak T.P., Hoffman D.L., Yung Y.F. 2000. Measuring the customer experience in online environments: A structural modeling approach. *Marketing science*, 19, 1: 22–42. DOI: 10.1287/mksc.19.1.22.15184
- Unal U., Bağcı R.B., Taşcıoğlu M. 2025. Multidimensional customer experience in the sustainability context. *Management Decision*. DOI:10.1108/MD-12-2023-2316
- Verhoef P.C. et al. 2009. Customer experience creation: Determinants, dynamics and management strategies. *Journal of retailing*, 85, 1: 31–41. DOI: 10.1016/j.jretai.2008.11.001
- Von Hippel E. 1982. Successful Industrial Products from Customer Ideas: Presentation of a new cus Churchill Jr G.A., Surprenant C. An investigation into the determinants of customer satisfaction. *Journal of marketing research*, 19, 4: 491–504. doi:10.1016/0048-7333(82)90037-3.
- Пока В.С., Anukwe G.I. 2020. Review of eye-tracking: A neuromarketing technique. *Neuroscience Research Notes*, 3, 4: 29–34. DOI: 10.31117/neuroscirn.v3i4.61
- Gheorghe C.M., Purcărea V.L., Gheorghe I.R. 2023. Using eye-tracking technology in Neuromarketing. *Romanian journal of ophthalmology*, 67, 1: 2. DOI: 10.22336/rjo.2023.2

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 28.11.2025

Поступила после рецензирования 22.12.2025

Принята к публикации 29.12.2025

Received November 28, 2025

Revised December 22, 2025

Accepted December 29, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Клещунова Анна Олеговна, главный специалист службы продаж ООО «Газпром Поляна», г. Сочи, Россия

Прядко Светлана Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и маркетинга, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Коваленко Маргарита Николаевна, заместитель главного врача ОГБУЗ «Кожно-венерологический диспансер»; старший преподаватель кафедры пропедевтики внутренних болезней и клинических информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna O. Kleshchunova, Chief Sales Specialist, Gazprom Polyana LLC, Sochi, Russia

Svetlana N. Pryadko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Marketing, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Margarita N. Kovalenko, Deputy Chief Physician of the Skin and Venereal Diseases Dispensary; Senior Lecturer of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases and Clinical Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 336.77:338.43

DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-65-73

EDN CXQFWV

Принципы и модели формирования равноудаленной цифровой инфраструктуры в агропромышленном комплексе

Коробейников Д.А., Корабельников И.С., Телекабель В.К.

Волгоградский государственный аграрный университет,
Россия, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26
korobeinikov77@yandex.ru

Аннотация. Цифровизация и платформизация сферы государственного управления в агропромышленном комплексе актуализирует необходимость исследований в области формирования общедоступной и единой цифровой инфраструктуры. Авторами рассмотрены функционирующие в отрасли государственные информационные системы, сформулированы принципы их интеграции, с учетом которых предложены две альтернативные модели формирования равноудаленной цифровой инфраструктуры: 1) развитие информационной системы цифровых сервисов в сфере сельского хозяйства, создаваемой Минсельхозом России; 2) формирование единой экосистемы государственных цифровых сервисов в агропромышленном комплексе. Первая модель предусматривает использование ведомственной информационной системы цифровых сервисов для обеспечения бесшовного доступа пользователей к разным ГИС и проактивного предоставления мер государственной поддержки. Вторая – формирование мультиплатформенной цифровой экосистемы для автоматизации функций государственного управления, а также взаимодействия с финансовыми и корпоративными цифровыми платформами и сервисами.

Ключевые слова: государственные информационные системы, цифровые экосистемы, государственная поддержка, государственное управление, цифровые платформы

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-01117 «Разработка экосистемной модели функционирования сельскохозяйственного кредита», <https://rscf.ru/project/24-28-01117/>

Для цитирования: Коробейников Д.А., Корабельников И.С., Телекабель В.К. 2026. Принципы и модели формирования равноудаленной цифровой инфраструктуры в агропромышленном комплексе. *Экономика. Информатика*, 53(1): 65–73. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-65-73. EDN CXQFWV

Principles and Models for the Development of Equidistant Digital Infrastructure in the Agro-Industrial Complex

Dmitry A. Korobeynikov, Ivan S. Korabelnikov, Victoria K. Telekabel

Volgograd State Agrarian University
26 Universitetsky Ave., Volgograd 400002, Russia
korobeinikov77@yandex.ru

Abstract. The digitalization and platformization of public administration in the agro-industrial complex highlight the need for research into the development of a publicly accessible and unified digital infrastructure. The authors



examine the existing state information systems in the sector and formulate principles for their integration, proposing two alternative models for creating an equidistant digital infrastructure: 1) development of an information system of digital services in agriculture, created by the Russian Ministry of Agriculture; 2) the formation of a unified ecosystem of state digital services in the agro-industrial complex. The first model envisions the use of a departmental information system of digital services to ensure seamless user access to various GIS and the proactive provision of state support measures. The second model envisions the development of a multi-platform digital ecosystem for the automation of public administration functions, as well as interaction with financial and corporate digital platforms and services.

Keywords: government information systems, digital ecosystems, government support, public administration, digital platforms

Acknowledgements: the research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-28-01117 "Development of an ecosystem model of the functioning of agricultural credit", <https://rscf.ru/project/24-28-01117/>

For citation: Korobeynikov D.A., Korabelnikov I.S., Telekabel V.K. 2026. Principles and Models for the Development of Equidistant Digital Infrastructure in the Agro-Industrial Complex. *Economics. Information technologies*, 53(1): 65–73 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-65-73. EDN CXQFWV

Введение

В последние годы экосистемные и платформенные бизнес-модели всё активнее проникают в традиционные отрасли экономики [Шаститко, Курдин, Филиппова, 2023; Rietveld, Schilling, 2021], в том числе в агропромышленный комплекс [Коробейникова и др., 2022; Treiber at all, 2023]. В современных исследованиях [Gawer, 2021] платформы и экосистемы рассматриваются как доминирующая организационная форма цифровой экономики, как механизм воспроизводства инноваций [Езангина, Маловичко, Хрысева, 2023; Silva at all, 2024; Thomas, Autio, 2020], перспективная модель развития финансовых [Степнов, Ковальчук, 2023] и кредитных [Коробейников, 2024] отношений, новые стратегии [Kretschmer at all, 2020.] и источники создания стоимости для компаний, основанные на комплементации предложения [Carliss, 2020; Thomas at all, 2024].

Вместе с тем для агропромышленного комплекса, с учетом его роли в обеспечении национальной безопасности и зависимости от бюджетной поддержки, отмечается [Меденников, 2021] необходимость «оцифровки» не только бизнес-процессов, но и функций государственного управления, что актуализирует применение концепции экосистем [Раменская, 2020] на уровне отраслевых систем управления. Фактически в отрасли уже функционирует большое количество мониторинговых и информационных элементов экосистемы государственного управления [Korobeynikova at all, 2022], формирующих цифровую инфраструктуру контроля и надзора. Однако ее фрагментарность и дублирование функций определяет необходимость разработки принципов и моделей их интеграции для формирования единой равноудаленной цифровой инфраструктуры в агропромышленном комплексе, обслуживающей не только государственное управление, но и бизнес-потребности отраслевых производителей.

Объект и методы исследования

Методологическую основу исследования составили методы абстрагирования, формализации, аналогий, сценарного прогнозирования, анализа, моделирования, а также методы систематизации и обобщения эмпирических данных.

Информационной базой послужили данные Минсельхоза России, Россельхознадзора, Гостехнадзора, ФГБУ «Центр Агроаналитики» и других операторов государственных информационных систем в агропромышленном комплексе.

Объектом исследования в статье являются государственные информационные системы (ГИС) в агропромышленном комплексе, формирующие цифровую инфраструктуру государственного управления, мониторинга и оказания государственных услуг в отрасли. Предмет исследования – принципы и модели их интеграции в единую экосистему цифровых сервисов, позволяющую перевести процессы получения мер государственной поддержки отраслевыми производителями в проактивный и удаленный формат, а также их встраивание в отраслевые цепочки стоимости.

Результаты и их обсуждение

Задачи управления растениеводством обслуживают четыре государственные информационные системы, частично интегрированные между собой: ФГИС «Зерно», ЕФГИС ЗСН и ФГИС «Семеноводство», ФГИС «Агус-ФИТО» (рис. 1). Первая обеспечивает сбор и автоматическую обработку данных о движении товарных партий зерна и продуктов его переработки, обеспечивая прослеживаемость с момента производства до конечного потребления. Вторая – оцифровку и мониторинг данных о землях сельскохозяйственного назначения (правовой статус, почвенное плодородие и его воспроизводство, севообороты и т. д.). Третья – ведение государственного реестра сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, контроль за деятельностью семеноводческих предприятий, а также мониторинг движения семян от производителей и импортеров к потребителям. Четвертая – автоматизацию фитосанитарного контроля и сертификации.

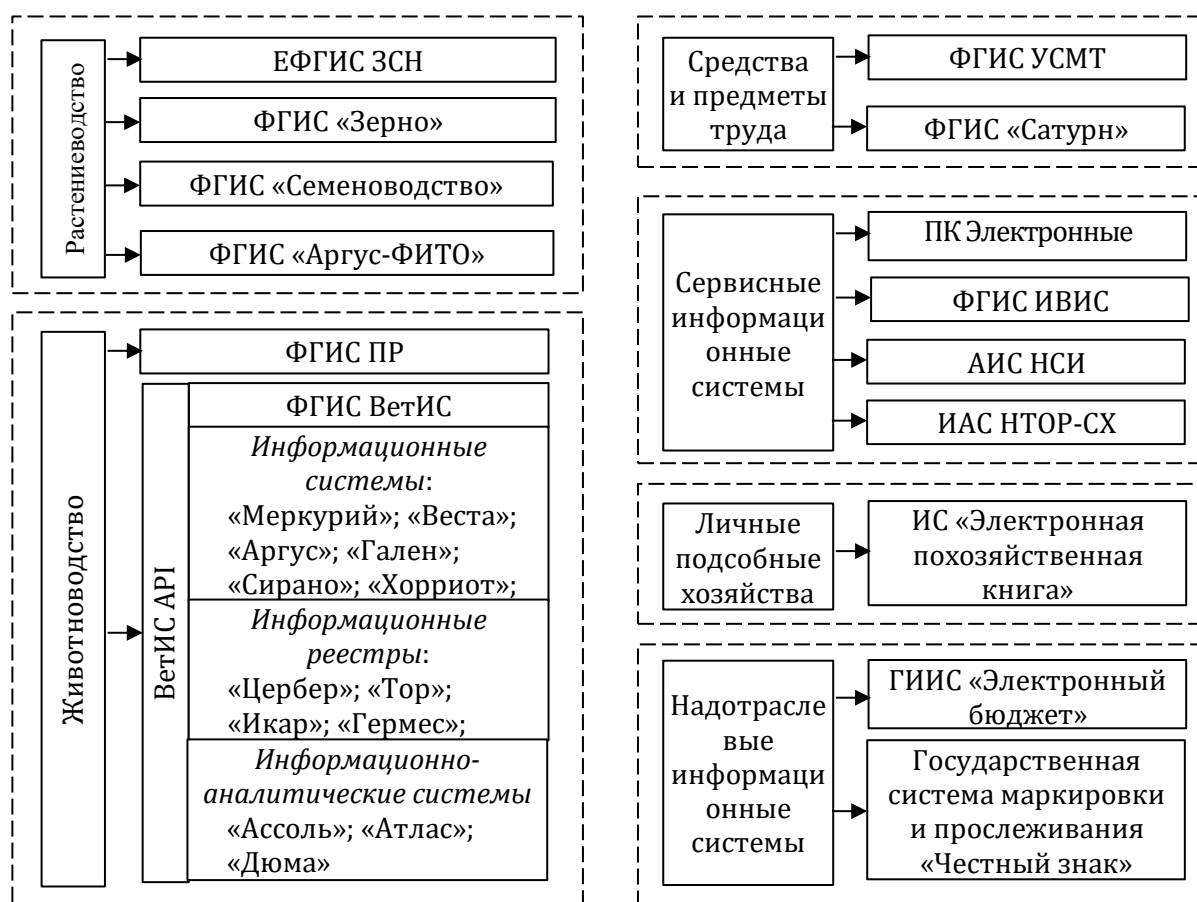


Рис. 1. Государственные информационные системы в сельском хозяйстве РФ

Fig. 1. State information systems in the Russian Federation's agriculture

В животноводстве функционирует многофункциональная информационная система в области ветеринарии ФГИС ВетИС, оператором которой выступает Россельхознадзор.

Архитектура системы включает семь самостоятельных информационных систем, дифференцированных по группам бизнес-процессов (ветеринарно-санитарная экспертиза, регистрация лабораторных исследований, оформление разрешений, мониторинг ветпрепаратов и т. д.), шесть информационных реестров («Цербер», «Тор», «Икар», «Гермес», «Ирена», «Паспорт»), используемых для хранения данных о юридически значимых действиях в области ветеринарного надзора, лицензирования производства ветпрепаратов, регистрации кормовых добавок и т. д., а также три информационно-аналитических компонента («Ассоль», «Атлас», «Дюма»), агрегирующих информацию из различных источников. Интеграцию компонентов и взаимодействие с внешней средой обеспечивает собственная инфраструктура открытых интерфейсов – «ВетИС.АРІ». К концу 2025 года также начнет работу ФГИАС ПР в области племенной деятельности.

В области регистрации, контроля и мониторинга средств и предметов труда функционируют две информационные системы. ФГИС УСМТ обеспечивает учет самоходных сельскохозяйственных машин и прицепов к ним. ФГИС «Сатурн» автоматизирует контроль за оборотом и использованием пестицидов и ядохимикатов.

В отрасли функционирует большое количество сервисных информационных систем. В качестве примера можно отметить ПК «Электронные госуслуги», обеспечивающую возможность удаленного получения государственных услуг от Минсельхоза России. ФГИС ИВИС формирует электронную среду для межведомственного и внутриведомственного взаимодействия. АИС НСИ автоматизирует ведение ведомственных реестров и нормативно-справочной информации. ИАС НТОР-СХ предназначен для мониторинга научно-технического обеспечения развития сельского хозяйства. Сюда же можно отнести и ГИИС «Электронный бюджет», позволяющую контролировать движение бюджетных субсидий до конечных получателей.

Обобщение подходов Минсельхоза России к созданию отраслевых информационных систем (в частности тенденции к интеграции ГИС при сохранении множественности операторов таких систем и фрагментарности цифровой инфраструктуры в целом), Банка России к формированию национальной цифровой инфраструктуры финансового рынка [Нац. цифр. инфр., 2025] и практических кейсов развития финансовых и нефинансовых экосистем [Jacobides, Lianos, 2021] позволили выделить ряд принципов, актуальных для формирования полноценной цифровой инфраструктуры в аграрном секторе:

– *равноудаленность и общедоступность* – отсутствие информационной асимметрии в пользу центрального актора, характерной для платформенных экосистем [Foss, Schmidt, Teece, 2022], может обеспечить отсутствие у него собственных коммерческих интересов, что возможно только в случае с государственными институтами;

– *полифункциональность* – в настоящее время ГИС выполняют функции контроля и мониторинга, что исключает какую-либо экономическую мотивацию пользователей к их использованию (такая необходимость закрепляется законодательно). При изменении концепции функционирования ГИС в части развития сервисных функций (например, в части использования накапливаемых данных для проактивного предоставления мер государственной поддержки, автоматического определения лимитов льготного кредитования и т. д.) они из источника дополнительных транзакционных затрат для сельхозпроизводителей трансформируются в удобный сервис для получения государственных услуг, что будет способствовать росту прозрачности аграрных рынков (появятся стимулы для раскрытия информации);

– *конвергентность* – формирование единой цифровой экосистемы, интегрированной с Единой системой идентификации и аутентификации, порталом «Госуслуги» и другими отраслевыми ГИС. Интеграция разрозненных ГИС в единую экосистему цифровых сервисов, реализующих функции государственного управления в АПК, позволит преодолеть фрагментацию цифровой среды, устранить дублирование данных, улучшит управляемость и координацию;

– *открытость* – технологическим условием, обеспечивающим возможность интеграции существующих ФГИС, является развитие национальной инфраструктуры цифрового обмена данными, в частности открытых АРІ по модели открытых данных, позволяющей отраслевым

ГИС обмениваться данными для устранения дублирования информации, вносимой пользователями в разные информационные системы и автоматического формирования единого цифрового профиля сельхозпроизводителя;

– *проактивность* – базовой моделью государственной поддержки агропромышленного комплекса должно стать удаленное и проактивное предоставление возможных мер на основе обновляющегося цифрового профиля сельхозпроизводителя, содержащего данные о его транзакциях и других основаниях для начисления субсидий или предоставления иных мер поддержки.

Рассмотренные принципы формирования равноудаленной цифровой инфраструктуры позволяют выделить две альтернативные модели их реализации в агропромышленном комплексе: 1) развитие информационной системы цифровых сервисов в сфере сельского хозяйства, создаваемой Минсельхозом России; 2) формирование единой экосистемы государственных цифровых сервисов в АПК.

1) *Информационная система цифровых сервисов в сфере сельского хозяйства.* Начало практической реализации проекта создания государственной информационной системы цифровых сервисов в сельском хозяйстве (ИС ЦС) запланировано на 1 марта 2026 г. Предполагается, что новая информационная система будет использоваться для информирования отраслевых производителей о доступных федеральных и региональных мерах поддержки, а также для удаленного получения мер поддержки в сфере развития сельского хозяйства и сельских территорий (формирования и подачи заявок, контроля исполнения, сбора отчетности и информации о социально-экономическом положении сельских территорий). Анонсированная Минсельхозом России архитектура информационной системы цифровых сервисов предполагает ее интеграцию с ЕСИА (единой системой идентификации и аутентификации), единой системой межведомственного электронного взаимодействия и единым порталом государственных и муниципальных услуг, но общая фрагментация цифровой среды в сфере государственного управления сельским хозяйством сохранится. В рамках предлагаемой нами модели (рис. 2) информационной системы цифровых сервисов в сфере сельского хозяйства обозначим ряд перспективных направлений ее развития, дополняющих исходные представления о её функциях и организационной структуре:

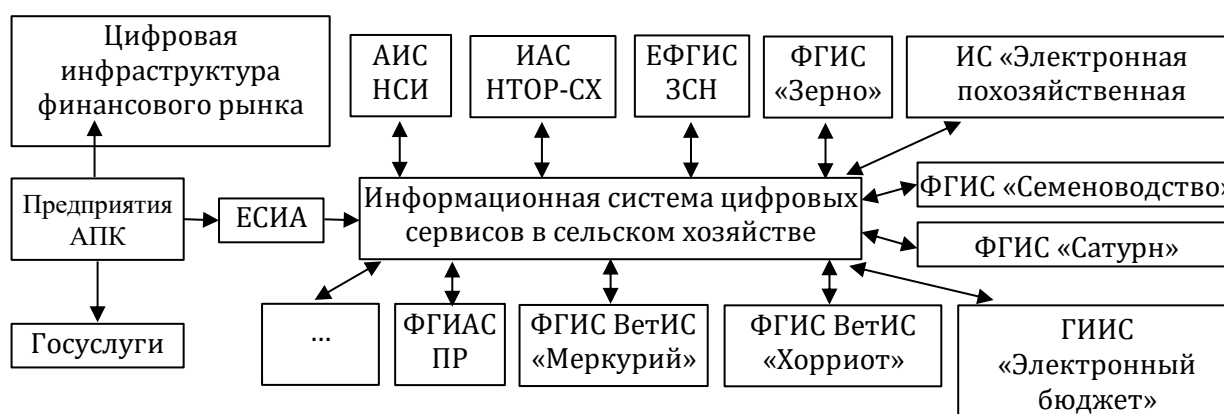


Рис. 2. Модель развития информационной системы цифровых сервисов в сельском хозяйстве
Fig. 2. Model for developing an information system for digital services in agriculture

а) Использование ИС ЦС для обеспечения бесшовного доступа пользователей к разным ГИС. Данное направление предусматривает расширение инкорпорирования по уровням национальной цифровой инфраструктуры финансовых рынков (помимо инфраструктуры цифровой идентификации ИС ЦС должна встраиваться в инфраструктуру цифрового обмена данными). Открытые API в модели открытых данных позволят упростить информационный обмен (значительный объем данных, вносимых пользователями в различные ГИС, в настоящее

время дублируется) и снизят транзакционные издержки сельхозтоваропроизводителей, особенно субъектов малого и среднего агробизнеса.

б) Переход к проактивному предоставлению мер государственной поддержки. Цифровой обмен данными между различными ГИС позволит сформировать достаточно подробный цифровой профиль потенциальных получателей субсидий (данные об отдельных параметрах имущественного состояния и производственной деятельности аграриев в настоящее время накапливаются в разных ГИС, что не позволяет получить обобщенное представление), а, следовательно, перейти не просто к удаленной подаче заявлений на получение мер поддержки, а к их проактивному предоставлению (подобные практики рассматриваются Минсельхозом как приоритетные), что станет главным экономическим стимулом для аграриев к использованию ИС ЦС и других государственных информационных систем в своей деятельности.

2) *Единая экосистема государственных цифровых сервисов в АПК*. Принципиальным отличием от предыдущей модели является её мультиплатформенная архитектура (типична для экосистем банков и BigTech компаний [Koch at all, 2022]), где существующие отраслевые ГИС в виде специализированных платформ интегрируются в единую отраслевую экосистему (рис. 3), что позволяет избежать фрагментации цифровой инфраструктуры государственного управления. Интегрирование разрозненных отраслевых ГИС в единую организационную структуру позволит оптимизировать контрольные и надзорные функции (устранив избыточные и дублируемые), снизить транзакционные издержки ведомства и пользователей, сформировать полноценную цифровую инфраструктуру для автоматизации государственного управления в агропромышленном комплексе.

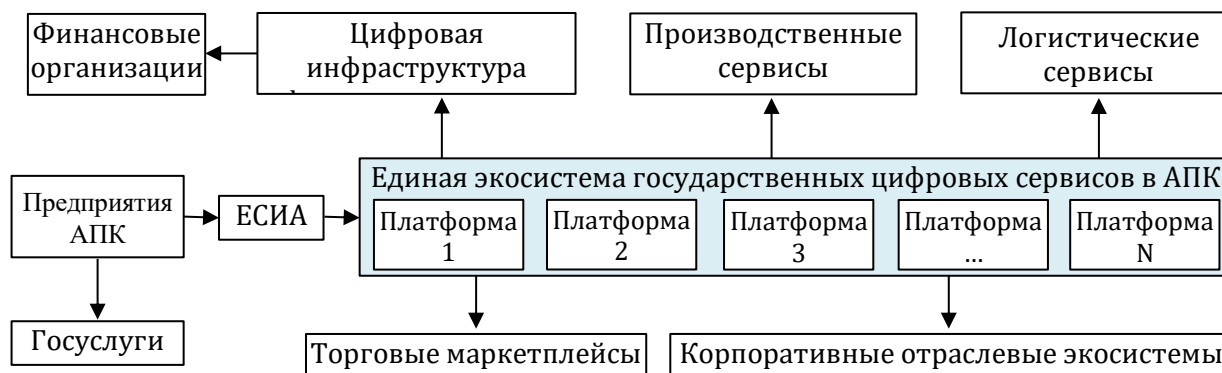


Рис. 3. Модель формирования единой экосистемы государственных цифровых сервисов в АПК
Fig. 3. Model for creating a unified ecosystem of public digital services in the agro-industrial complex

В более отдаленной перспективе по мере реализации модели открытых данных (открытых API) единая экосистема государственных цифровых сервисов через национальную цифровую инфраструктуру финансовых рынков может взаимодействовать с финансовыми экосистемами, в том числе банковскими. Данное направление имеет очевидную коммерческую привлекательность для финансовых организаций, в том числе для уполномоченных банков-участников механизма льготного кредитования АПК, поскольку «большие данные», генерируемые экосистемой о потенциальных заемщиках, имеют ценность для кредиторов как с точки зрения возможностей автоматизации процедур кредитного скоринга, так и повышения надежности самой оценки, а также использования в маркетинговых стратегиях.

Аналогичным образом через открытые API экосистема может взаимодействовать производственными и логистическими сервисами, торговыми платформами и корпоративными отраслевыми экосистемами [Rietveld, Ploog, Nieborg, 2020]. Обмен данными позволит встроить меры господдержки в любые транзакции, совершаемые с помощью

платформ и экосистем (например, получение льготного кредита с господдержкой в процессе приобретения сельскохозяйственной техники или субсидии на возмещение части затрат на приобретение минеральных удобрений на платформе торгового маркетплейса).

Заключение

Предлагаемые подходы к развитию цифровой инфраструктуры в агропромышленном комплексе соответствуют общим конвергентным тенденциям, возникающим на рынках цифровых решений под влиянием сетевых эффектов. Применительно к отрасли полезность цифровой инфраструктуры для конечных пользователей будет определяться развитием сервисных функций, дополняющих функции контроля и мониторинга, а также встраиванием в отраслевые цепочки стоимости. Помимо удаленного и проактивного предоставления мер государственной поддержки государственная экосистема цифровых сервисов позволит сформировать цифровой профиль сельскохозяйственных товаропроизводителей, что обеспечит: а) прозрачность и открытость аграрных рынков; б) условия для практической реализации модели открытых данных (API) на уровне отрасли; в) возможность использования накапливаемых больших данных в кредитовании (в том числе встроенном финансировании), электронной коммерции, маркетинге и т. д. Дополнительные эффекты связаны со снижением транзакционных издержек для всех участников вследствие устранения дублирования данных и оптимизации цифровой инфраструктуры на уровне ведомства с созданием единого оператора. Равноудаленность цифровой инфраструктуры обеспечит отсутствие собственных коммерческих интересов у центрального актора и приоритетность реализации функций государственного управления.

Список источников

Национальная цифровая инфраструктура финансового рынка: доклад для общественных консультаций Банка России. URL: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=27965> (дата обращения: 14 октября 2025).

Список литературы

- Езангина И.А., Маловичко А.Е., Хрысева А.А. 2023. Инновационная экосистема как новая форма организационной целостности и механизм финансирования и воспроизводства инноваций. *Финансы: теория и практика*, 27 (3): 17–32.
- Коробейников Д.А. 2024. Развитие экосистемных форм реализации кредитных отношений в АПК. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*, 59 (2): 95–111.
- Коробейникова О.М., Очеретяная Д.В., Петерс И.А., Шалдохина С.Ю. 2022. Цифровые экосистемы для агробизнеса. *Аграрная Россия*, 6: 40–47.
- Меденников В.И. 2021. Цифровая онтологическая интеграция базовых цифровых платформ в экосистеме АПК. *Управление рисками в АПК*, 38: 7–20.
- Раменская Л.А. 2020. Применение концепции экосистем в экономико-управленческих исследованиях. *Управленец*, 11 (4): 16–28.
- Степнов И.М., Ковальчук Ю.А. 2023. Финансы бизнес-экосистем: современная повестка и вызовы. *Финансы: теория и практика*, 27 (6): 89–100.
- Шаститко А.Е., Курдин А.А., Филиппова И.Н. 2023. Мезоинституты для цифровых экосистем. *Вопросы экономики*, 2: 61–82.
- Carliss Y. 2020. Baldwin Ecosystems and Complementarities. Design Rules, How Technology Shapes Organizations. *Working Paper*, 5 (2): 21–33.
- Foss N., Schmidt J., Teece D. 2022. Ecosystem Leadership as a Dynamic Capability. *Long Range Planning*, 56 (1): 102270.
- Gawer A. 2021. Digital platforms and ecosystems: remarks on the dominant organizational forms of the digital age. *Innovation*, 24: 1–15.
- Jacobides M., Lianos I. 2021. Regulating platforms and ecosystems: an introduction. *Industrial and Corporate Change*, 30(1).
- Koch M., Krohmer D., Naab M., Rost D., Trapp M. 2022. A matter of definition: Criteria for digital ecosystems. *Digit. Bus*, 2: 100027.



- Korobeynikova O., Korobeynikov D., Popova L., Chekrygina T., Melikhov V. 2023. Russian agribusiness and digital ecosystems: ways of interaction. XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022»: Proceedings, volume 1, Rostovon-Don, May 25–27, 2022. Cham: Springer: 1205–1215.
- Kretschmer T., Leiponen A., Schilling M., Vasudeva G. 2020. Platform ecosystems as meta-organizations: Implications for platform strategies. *Strategic Management Journal*, 43 (5): 1–20.
- Rietveld J., Ploog J.N., Nieborg D.B. 2020. Coevolution of platform dominance and governance strategies: Effects on complementor performance outcomes. *Academy of Management Discoveries*, 6 (3): 488–513.
- Rietveld J., Schilling M.A. 2021. Platform competition: A systematic and interdisciplinary review of the literature. *Journal of Management*, 47 (6): 1528–1563.
- Silva L., Gomes L., Faria A., Borini F. 2024. Innovation processes in ecosystem settings: An integrative framework and future directions. *Technovation*, 132.
- Thomas L., Autio E. 2020. Innovation ecosystems in management: An organizing typology. In *Oxford Encyclopedia of Business and Management*. Oxford University Press.
- Thomas L., Ritala P., Karhu K., Heiskala M. 2024. Vertical and horizontal complementarities in platform ecosystems. *Innovation*.
- Treiber M., Theunissen T., Grebner S., Witting J., Bernhardt H. 2023. How to Successfully Orchestrate Content for Digital Agriecosystems. *Agriculture*, 13: 1003.

References

- Ezangina I.A., Malovichko A.E., Khryseva A.A. 2023. Innovacionnaya e`kosistema kak novaya forma organizacionnoj celostnosti i mexanizm finansirovaniya i vosproizvodstva innovacij. [Innovation ecosystem as a new form of organizational integrity and a mechanism for financing and reproducing innovations]. *Finansy` teoriya i praktika*, 27 (3): 17–32.
- Korobaynikov D.A. 2024. Razvitie e`kosistemny`x form realizacii kreditny`x otnoshenij v APK [Development of ecosystem forms of implementing credit relations in the agro-industrial complex]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: E`konomika*, 59 (2): 95–111.
- Korobaynikova O.M., Ocheretyanaya D.V., Peters I.A., Shaldokhina S.Yu. 2022. Cifrovyye e`kosistemy` dlya agrobiznesa [Digital ecosystems for agribusiness]. *Agrarnaya Rossiya*, 6: 40–47.
- Medennikov V.I. 2021. Cifrovaya ontologicheskaya integraciya bazovy`x cifrovyy`x platform v e`kosisteme APK [Digital ontological integration of basic digital platforms in the agro-industrial complex ecosystem]. *Upravlenie riskami v APK*, 38: 7–20.
- Ramenskaya L.A. 2020. Primenenie koncepcii e`kosistem v e`konomiko-upravlencheskix issledovaniyax [Application of the ecosystem concept in economic and managerial research]. *Upravlenec*, 11 (4): 16–28.
- Stepnov I.M., Kovalchuk Yu.A. 2023. Finansy` biznes-e`kosistem: sovremennaya povestka i vy`zovy` [Finance of business ecosystems: current agenda and challenges]. *Finansy` teoriya i praktika*, 27 (6): 89–100.
- Shastitko A.E., Kurdin A.A., Filippova I.N. 2023. Mezoinstitutyy` dlya cifrovyy`x e`kosistem [Mesoinstitutions for digital ecosystems]. *Voprosy` e`konomiki*, 2: 61–82.
- Carliss Y. 2020. Baldwin Ecosystems and Complementarities. Design Rules, How Technology Shapes Organizations. *Working Paper*, 5 (2): 21–33.
- Foss N., Schmidt J., Teece D. 2022. Ecosystem Leadership as a Dynamic Capability. *Long Range Planning*, 56 (1): 102270.
- Gawer A. 2021. Digital platforms and ecosystems: remarks on the dominant organizational forms of the digital age. *Innovation*, 24: 1–15.
- Jacobides M., Lianos I. 2021. Regulating platforms and ecosystems: an introduction. *Industrial and Corporate Change*, 30(1).
- Koch M., Krohmer D., Naab M., Rost D., Trapp M. 2022. A matter of definition: Criteria for digital ecosystems. *Digit. Bus*, 2: 100027.
- Korobeynikova O., Korobeynikov D., Popova L., Chekrygina T., Melikhov V. 2023. Russian agribusiness and digital ecosystems: ways of interaction. XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022»: Proceedings, volume 1, Rostovon-Don, May 25–27, 2022. Cham: Springer: 1205–1215.
- Kretschmer T., Leiponen A., Schilling M., Vasudeva G. 2020. Platform ecosystems as meta-organizations: Implications for platform strategies. *Strategic Management Journal*, 43 (5): 1–20.
- Rietveld J., Ploog J.N., Nieborg D.B. 2020. Coevolution of platform dominance and governance strategies: Effects on complementor performance outcomes. *Academy of Management Discoveries*, 6 (3): 488–513.



- Rietveld J., Schilling M.A. 2021. Platform competition: A systematic and interdisciplinary review of the literature. *Journal of Management*, 47 (6): 1528–1563.
- Silva L., Gomes L., Faria A., Borini F. 2024. Innovation processes in ecosystem settings: An integrative framework and future directions. *Technovation*, 132.
- Thomas L., Autio E. 2020. Innovation ecosystems in management: An organizing typology. In *Oxford Encyclopedia of Business and Management*. Oxford University Press.
- Thomas L., Ritala P., Karhu K., Heiskala M. 2024. Vertical and horizontal complementarities in platform ecosystems. *Innovation*.
- Treiber M., Theunissen T., Grebner S., Witting J., Bernhardt H. 2023. How to Successfully Orchestrate Content for Digital Agriecosystems. *Agriculture*, 13: 1003.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 10.11.2025

Поступила после рецензирования 03.12.2025

Принята к публикации 24.12.2025

Received November 10, 2025

Revised December 03, 2025

Accepted December 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коробейников Дмитрий Александрович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической безопасности, Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

Корабельников Иван Сергеевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической безопасности, Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

Виктория Канатовна Телекабель, студент факультета прикладной экономики и управления, Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry A. Korobeynikov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Security, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

Ivan S. Korabelnikov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Security, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

Victoria K. Telekabel, Student, Faculty of Applied Economics and Management, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

УДК 338.2
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-74-84
EDN FCUTJK

Экономическая безопасность исследований и разработок в фармацевтической отрасли: моделирование токенизированной экосистемы

Степченкова О.С.

Санкт-Петербургский государственный экономический университет,
Россия, 191002, Санкт-Петербург, Кузнечный пер., д. 9/27
oolitmarsh@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена вызовами, с которыми сталкивается фармацевтическая отрасль в контексте обеспечения экономической безопасности исследований и разработок лекарственных препаратов. Высокая капиталоемкость, длительные циклы разработки в условиях геополитической нестабильности и ограниченного доступа к международным финансовым ресурсам диктуют необходимость поиска принципиально новых, устойчивых моделей финансирования. Теоретический анализ проблемного поля выявил ключевые ограничения традиционной, олигополизированной модели венчурного финансирования: концентрацию капитала, непрозрачность управления, высокую премию за ликвидность и риски размытия доли инвесторов, что в совокупности сдерживает инновационный потенциал и создает угрозы для стратегической автономии. В качестве альтернативы проанализирована концепция токенизированной экосистемы, основанной на блокчейне, которая теоретически способна диверсифицировать риски и снизить стоимость привлекаемого капитала. Эмпирический анализ включает разработку оригинальной экономико-математической модели сравнительной эффективности, интегрирующей методологию дисконтированных денежных потоков, реальных опционов для учета специфики фаз клинических исследований. Модель позволяет количественно оценить влияние токенизации на ключевые финансовые параметры. Результаты исследования демонстрируют качественное превосходство предложенной модели: расчеты на основе численного примера показывают увеличение риск-скорректированной доходности для инвестора на 82 % и снижение стоимости капитала для проекта по сравнению с традиционным венчурным финансированием. Полученные данные доказывают, что основной экономический эффект токенизации заключается не в изменении фундаментальной стоимости успешного препарата, а в структурном снижении премии за ликвидность и предоставлении инвесторам опциона на досрочный выход, что создает надежный механизм для укрепления экономической безопасности фармацевтических исследований в России. Парадокс финансирования фармацевтических НИОКР заключается в том, что фундаментальная стоимость успешного препарата объективна и не зависит от способа финансирования, однако именно механизмы инвестирования определяют, сколько проектов получают шанс на реализацию.

Ключевые слова: блокчейн, смарт-контракты, управление рисками, стоимость капитала, финансовое моделирование, инновационное финансирование, цифровые активы, ликвидность инвестиций, венчурный капитал, реальные опционы, доходность, экономико-математическая модель, диверсификация рисков, импортозамещение

Для цитирования: Степченкова О.С. 2026. Экономическая безопасность исследований и разработок в фармацевтической отрасли: моделирование токенизированной экосистемы. *Экономика. Информатика*, 53(1): 74–84. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-74-84. EDN FCUTJK

Economic Security of Research and Development in the Pharmaceutical Industry: Modeling a Tokenized Ecosystem

Olga S. Stepchenkova

Saint Petersburg State University of Economics
9/27 Kuznechny Ln., Saint Petersburg 191002, Russia
ooolitmash@yandex.ru

Abstract. The relevance of the research is determined by the challenges faced by the pharmaceutical industry in the context of ensuring the economic security of research and development of medicines. High capital intensity, long development cycles in conditions of geopolitical instability and limited access to international financial resources dictate the need to search for fundamentally new, sustainable financing models. A theoretical analysis of the problem field has revealed the key limitations of the traditional, oligopolized venture financing model: capital concentration, lack of transparency of management, high liquidity premium and risks of dilution of the investor share. Taken together, these factors constrain innovation potential and create threats to strategic autonomy. As an alternative, the concept of a tokenized ecosystem based on blockchain is analyzed, which is theoretically capable of diversifying risks and reducing the cost of attracted capital. The empirical analysis includes the development of an original economic and mathematical model of comparative efficiency that integrates the methodology of discounted cash flows and real options to take into account the specifics of clinical research phases. The model allows quantifying the impact of tokenization on key financial parameters. The results of the study demonstrate the qualitative superiority of the proposed model: calculations based on a numerical example show an increase in risk-adjusted return for an investor by 82 % and a decrease in the cost of capital for a project compared to traditional venture financing. The data obtained proves that the main economic effect of tokenization is not to change the fundamental cost of a successful drug, but to structurally reduce the liquidity premium and provide investors with an early exit option, which creates a reliable mechanism for strengthening the economic security of pharmaceutical research in Russia. The paradox of pharmaceutical R&D financing is that the fundamental cost of a successful drug is objective and does not depend on the method of financing, but it is the investment mechanisms that determine how many projects will get a chance to be implemented.

Keywords: blockchain, smart contracts, risk management, cost of capital, financial modeling, innovative financing, digital assets, investment liquidity, venture capital, real options, profitability, economic and mathematical model, risk diversification, import substitution

For citation: Stepchenkova O.S. 2026. Economic Security of Research and Development in the Pharmaceutical Industry: Modeling a Tokenized Ecosystem. *Economics. Information technologies*, 53(1): 74–84 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-74-84. EDN FCUTJK

Введение

Фармацевтическая промышленность представляет собой стратегически важный сектор экономики, от развития которого зависит национальная безопасность и здоровье населения [Балашова, Волгина, 2021]. Однако процесс разработки новых лекарственных средств характеризуется исключительно высокой капиталоемкостью, длительностью и рисками. Традиционная модель финансирования фармацевтических НИОКР, основанная на венчурном капитале и инвестициях крупных фармкомпаний, демонстрирует системные ограничения в условиях современных вызовов, включая пандемии, высокие темпы развития информационных технологий, геополитическую нестабильность и санкционное давление. В этом контексте необходимы инновационные подходы к финансированию и управлению рисками экономической безопасности фармацевтических НИОКР.

Целью данного исследования является разработка и анализ модели финансирования токенизированной экосистемы как инструмента укрепления экономической безопасности фармацевтических НИОКР. Для достижения этой цели решаются следующие задачи: анализ системных рисков традиционной модели финансирования; разработка экономико-математической модели сравнительной эффективности; оценка влияния токенизации на ключевые параметры экономической безопасности.

Объект и методы исследования

Сфера исследований и разработок в фармацевтической промышленности рассматривается в контексте ее экономической безопасности. Организационно-экономические отношения и механизмы, определяющие эффективность и экономическую безопасность финансирования фармацевтических НИОКР, рассматриваются в условиях токенизированной экосистемы. В работе применяются методы экономико-математического моделирования, в том числе анализ дисконтированных денежных потоков, метод реальных опционов для оценки управленческой гибкости, а также сравнительный и количественный анализ.

Результаты и их обсуждение

Системные риски традиционной модели финансирования фармацевтических исследований и разработок

Фундаментальной проблемой фармацевтических НИОКР выступает экстремальная ресурсоемкость, характеризующаяся многолетним циклом разработки (10–15 лет) и капитальными затратами, составляющими миллионы долларов США на один коммерциализируемый препарат. Стохастическая природа научных исследований обуславливает высокую вероятность неудачи – до 90 % исследовательских продуктов не преодолевают стадию клинических испытаний, что создает существенные барьеры для входа на рынок новых игроков и ограничивает инновационный потенциал отрасли.

Согласно анализу, представленному в работах [Головко, 2023; Надь, Асмятуллин, 2022], спектр отраслевых рисков расширяется и усложняется за счет действия новых факторов. Нарастающая сложность биомедицинских исследований требует применения дорогостоящих технологий и междисциплинарных компетенций. Одновременно усиливается давление в сторону повышения экономической эффективности разработки, что стимулирует внедрение методов адаптивного дизайна исследований, использование реальных данных, собираемых из рутинной медицинской практики, и применение методов оценки сравнительной эффективности. Указанные тенденции усугубляются ужесточением регуляторных требований к демонстрации дополнительной ценности препаратов как весомого критерия для получения государственного финансирования, и необходимостью соблюдения растущих стандартов экологической и социальной ответственности. Таким образом, формируется сложный ландшафт для фармацевтических инноваций, требующий новых моделей управления рисками в финансировании исследований.

Традиционная модель финансирования фармацевтических инноваций характеризуется концентрацией капитала в узком круге институциональных инвесторов – венчурных фондов и крупных фармацевтических корпораций, что создает системное «бутылочное горлышко», ограничивающее доступ к ресурсам для стартапов и исследовательских центров, не обладающих хорошим послужным списком. Подобная олигополизация инвестиционных потоков приводит к селективному финансированию проектов с прогнозируемой высокой рентабельностью, оставляя без внимания перспективные разработки в нишевых терапевтических областях и социально значимых направлениях.

Капиталовложения в фармацевтические НИОКР обладают признаками «длинных денег» с отсроченной и негарантированной окупаемостью. Отсутствие развитых вторичных рынков для подобных активов лишает инвесторов возможности ребалансировки портфелей и формирования стратегий выхода до наступления триггерных событий (регистрация препарата, IPO, M&A). Данная неликвидность порождает дисбаланс в риск-профиле инвестиций, требуя премии за капитал, превышающей рациональный уровень, и ограничивая приток средств от консервативных инвесторов [Асадова, 2022].

Традиционная модель управления фармацевтическими НИОКР характеризуется закрытостью ключевых метрик и результатов исследований для стейкхолдеров. Отсутствие стандартизированных механизмов верификации научного прогресса и использования средств

создает условия для морального риска и неэффективного распределения ресурсов [Schuhmacher et al., 2016]. Инвесторы лишены возможности оперативного мониторинга статусов проектов, что повышает транзакционные издержки Due Diligence и затрудняет корректную оценку волатильности портфельных активов.

Мультистейкхолдерская природа фармацевтических исследований (академические институты, биотех-стартапы, инвесторы, производственные партнеры) порождает сложную архитектуру прав на интеллектуальную собственность. Отсутствие стандартизированных контрактных механизмов приводит к пролонгированным переговорам, юридическим коллизиям и неоптимальному распределению будущих доходов от коммерциализации. Данная проблема особенно актуальна для кросс-границных коллабораций, где добавляется фактор юрисдикционной сложности.

В условиях российской экономики системные проблемы фармацевтических НИОКР приобретают дополнительную комплексность в силу действия специфических институциональных и макроэкономических факторов. В исследованиях российских ученых [Доржиева, 2023; Коваленко, Екшикеев, 2020; Балковая, 2021] можно выделить наиболее острые из них. Ограничение доступа к международным базам научных данных и профессиональным сообществам снижает эффективность исследований и ограничивает возможности международного научного сотрудничества, что особенно критично для столь глобализированной отрасли, как фармацевтика. Сохраняется структурный дефицит «длинных» инвестиционных ресурсов, обусловленный высокой стоимостью капитала и ограниченной емкостью внутреннего венчурного рынка.

Оценка эффективности моделей финансирования

Токенизация в контексте фармацевтических НИОКР представляет процесс преобразования прав на активы (интеллектуальную собственность, будущие доходы от препарата) в цифровые токены, обращающиеся на блокчейн-платформе. В отличие от традиционных ценных бумаг, токены обладают уникальными свойствами [Рудзейт и др., 2020; Андрюшин, 2024], обеспечивающими их преимущество для финансирования НИОКР:

- дробление активов как возможность привлекать микроинвестиции от широкого круга инвесторов;
- программируемая ликвидность – создание вторичных рынков для традиционно неликвидных активов;
- автоматизация управления – использование смарт-контрактов для прозрачного распределения средств и доходов;
- децентрализованное управление – вовлечение инвесторов в процесс принятия решений через DAO (децентрализованные автономные организации).

С точки зрения экономической безопасности, токенизация решает следующие проблемы: снижение зависимости от иностранного капитала за счет мобилизации внутренних ресурсов; сохранение контроля над интеллектуальной собственностью; повышение прозрачности использования средств благодаря неизменяемому реестру блокчейна; ускорение разработки препаратов за счет непрерывного финансирования полного цикла НИОКР.

Нормативно-правовая база в сфере обращения цифровых активов и токенизации находится на стадии формирования, и прецеденты применения в России пока единичны [Дмитриева, 2025; Girich et al., 2022], что создает правовую неопределенность для внедрения современных механизмов финансирования НИОКР, но не отменяет теоретические изыскания и расчеты.

Для количественной оценки эффективности токенизации разработана экономико-математическая модель, сравнивающая традиционное венчурное финансирование и токенизированную экосистему. Модель основана на методологии дисконтированных денежных потоков с учетом специфики фармацевтических НИОКР.

1. Ключевые гипотезы и переменные модели.

А. Фазы разработки и их характеристики (упрощенно):

1) доклинические исследования (Pre-Clinical): вероятность успеха P_{pc} , длительность T_{pc} , затраты C_{pc} ; клинические испытания – фаза I: P_I, T_I, C_I ; клинические испытания – фаза II: P_{II}, T_{II}, C_{II} ; клинические испытания – фаза III: $P_{III}, T_{III}, C_{III}$; регистрация и вывод на рынок: $P_{approval}, T_{approval}, C_{approval}$;

2) коммерциализация: период $T_{commercial}$, ежегодная выручка $R(t)$, операционная маржа m .
 Общая вероятность успеха (как правило, весьма низкая, ~10 %):

$$P_{total} = P_{pc}P_IP_{II}P_{III}P_{approval}. \quad (1)$$

Общее время до выхода на рынок:

$$T_{total} = \sum T_i. \quad (2)$$

В. Финансовые параметры:

r – ставка дисконтирования;

i – уровень инфляции;

l – премия за ликвидность;

CoC – стоимость привлечения капитала.

С. Стохастические факторы (риски):

1) технический риск моделируется как биномиальное распределение (успех/провал) на каждой фазе;

2) рыночный риск: выручка $R(t)$ является случайной величиной, например, следуя геометрическому броуновскому движению с волатильностью σ_R ;

3) риск превышения затрат: затраты на каждой фазе C_i могут быть логнормально распределены вокруг планового значения.

2. Моделирование традиционного финансирования (венчурный капитал).

А. Денежные потоки:

1) инвестиции представляют собой крупные транши, которые привлекаются на каждом этапе (например, раунд А, В, С), сумма инвестиций I_{VC} дисконтируется на момент $t=0$;

2) при каждом новом раунде доля первоначальных инвесторов α уменьшается (размывание доли); если начальная доля α_0 , то после k раундов доля становится равной:

$$\alpha_k = \alpha_0(1 - d_k), \quad (3)$$

где d_k – доля, отданная новым инвесторам;

3) в момент T_{total} происходит ликвидное событие (IPO или продажа компании), доход инвестора:

$$Payoff_{VC} = \alpha_k V_{company} - \sum I_{VC}, \quad (4)$$

где $V_{company}$ – стоимость компании на выходе.

В. Оценка стоимости

В оценке используется метод реальных опционов, при котором процесс разработки рассматривается как последовательность опционов Call на переход к следующей фазе. Цена исполнения опциона определяется как затраты на следующую фазу C_i . Стоимость базового актива равна дисконтированной стоимости будущих денежных потоков от продажи лекарства, если все последующие фазы будут успешны. Формула для расчета NPV для инвестора в традиционной модели имеет вид:

$$NPV_{VC} = E[\sum(\alpha_k CF_{outflow(t)} - I_{VC(t)}) / (1 + r + l_{venture})^t], \quad (5)$$

где E – математическое ожидание, полученное методом Монте-Карло, $CF_{outflow}$ – денежный поток от продажи, $l_{venture}$ – высокая премия за ликвидность.

3. Моделирование токенизированного финансирования:

А. Денежные потоки

Привлекается сумма I_{STO} в момент $t=0$ путем продажи доли d_{token} от будущих доходов. Доля инвестора d_{token} фиксирована, что препятствует размыванию. Вместо размывания может

использоваться механизм многораундовой токенизации с заранее оговоренными условиями для ранних инвесторов (бонусные токены). Инвестор может продать токены в любой момент $t < T_{total}$ по рыночной цене $P_{token(t)}$. Доход инвестора рассчитывается:

$$Payoff_{token} = d_{token} \sum (R(t) \cdot m) \quad (6)$$

В. Оценка стоимости токена

Стоимость токена определяется как дисконтированная стоимость его доли в будущих доходах, но с поправкой на раннюю ликвидность. Расчет NPV для инвестора в токенизированной модели:

$$NPV_{token} = E \left[\sum (d_{token} CF_{outflow(t)}) / (1 + r + l_{token})^t \right] + V_{lo}, \quad (7)$$

где l_{token} – низкая премия за ликвидность (т. к. есть вторичный рынок), V_{lo} – стоимость опциона на ликвидность.

Опцион позволяет инвестору выйти из проекта до момента T_{total} , если, например, изменились его предпочтения по риску или он получил информацию о повышенной вероятности провала на поздней стадии. Его можно оценить с помощью модификации модели Блэка – Шоулза или биномиальной модели, где базовым активом является стоимость токена.

4. Сравнительный анализ и выходные метрики модели

Модель запускается многократно (метод Монте-Карло, ~10000 итераций) для учета стохастичности.

Сравниваемые метрики:

- 1) гипотеза: $ENPV_{token} > ENPV_{VC}$ из-за более низкой l и наличия V_{lo} ;
- 2) возможность досрочной продажи токенов на вторичном рынке снижает волатильность инвестиций и улучшает профиль риска, что количественно выражается в более высоких значениях коэффициентов Шарпа и Сортино для токенизированной модели по сравнению с традиционным финансированием даже при идентичной вероятности успеха препарата;
- 3) вероятность потери инвестиций: доля симуляций, где $NPV < 0$;
- 4) стоимость капитала для разработчика (CoC): для привлечения того же объема средств I токенизация может предложить инвесторам более низкую требуемую доходность благодаря ликвидности, что снижает стоимость капитала для лаборатории/университета;
- 5) анализ чувствительности, как изменение ключевых параметров (волатильность выручки σ_R , премия за ликвидность l , вероятность успеха на фазах) влияет на разницу между моделями, например, для самых рискованных проектов (с низкой P_{total}) ценность ликвидности от токенизации будет максимальной.

Представим вычислительное ядро модели, преобразующее качественные тезисы о преимуществах токенизации в строгие количественные показатели. Стоимость проекта в традиционной модели представим как последовательность реальных опционов

$$V_{project(t)} = \max \left([P_{next} V_{project(t+1)} - C_{next}] / (1 + r), 0 \right), \quad (8)$$

где на каждом этапе принимается решение о продолжении инвестиций на основе вероятности успеха следующей фазы (P_{next}), ее стоимости ($V_{project(t+1)}$) и предстоящих затрат (C_{next}), что отражает итеративную природу принятия решений в венчурном финансировании, где возможность отказа от проекта на любом этапе имеет экономическую ценность.

Справедливую стоимость токена определим через дисконтированную стоимость его доли в будущих доходах проекта (в любой момент t):

$$P_{token(t)} = \frac{d_{token} \cdot E \left[\sum_{\tau=t}^{T_{comm}} \frac{R(\tau)^m}{(1+r)^{\tau-t}} \right]}{N_{tokens}}, \quad (9)$$

где сумма от $\tau=t$ до T_{comm} , а ожидание учитывает текущие оценки вероятностей успеха.

Динамическая оценка ($P_{token(t)}$) позволяет моделировать поведение рынка на протяжении всего жизненного цикла разработки препарата, учитывая обновляемые вероятности успеха и создавая основу для функционирования вторичного рынка.

Моделируя опцион ликвидности Put, демонстрируем, как способность продать токен в оптимальный момент времени создает дополнительную стоимость, отсутствующую в традиционной модели с «замороженными» инвестициями. Его стоимость можно оценить как:

$$V_{lo} = E(\max(P_{token(t)} - P_{token(0)}, 0)). \quad (10)$$

Предложенная модель формализует интуитивное предположение, что основное экономическое преимущество токенизации заключается не в увеличении фундаментальной стоимости успешного препарата, а в кардинальном снижении двух факторов: (1) премии за ликвидность и (2) стоимости опциона на досрочный выход, что приводит к снижению стоимости капитала для разработчика и повышению риск-скорректированной доходности для инвестора, особенно на ранних, самых рискованных стадиях R&D, открывая доступ к проектам, которые ранее были непривлекательны для традиционного финансирования.

Проведем упрощенный численный пример расчета на основе предложенной модели, чтобы проиллюстрировать разницу между подходами.

Данные проекта:

- разработка одного лекарственного препарата;
- вероятности успеха: доклинические исследования (60 %), фаза I (50 %), фаза II (40 %), фаза III (70 %), регистрация (90 %);

– общая вероятность успеха: $0,6 \times 0,5 \times 0,4 \times 0,7 \times 0,9 = 0,0756$ (7,56 %).

Финансовые параметры (\$ млн):

- затраты: доклинические исследования (\$10), фаза I (\$20), фаза II (\$50), фаза III (\$100), регистрация (\$20);

– потенциальная годовая выручка при успехе: \$500 млн (в течение 10 лет);

– ставка дисконтирования $r = 12$ %;

– премия за ликвидность: венчурное финансирование 8 %, токенизация 2 %.

Расчет для венчурного финансирования:

1. Денежные потоки при успехе:

Общие затраты: $\$10 + \$20 + \$50 + \$100 + \$20 = \200 млн

Дисконтированная выручка: $\$500$ млн $\times 5,65$ (коэффициент аннуитета 10 лет при 12 %) = \$2,825 млн

Стоимость компании при успехе: $\$2,825$ млн - $\$200$ млн = $\$2,625$ млн

2. Учет размытия доли:

Начальная доля инвестора: 30 %

После 3 раундов финансирования: $30 \% \times 0,85 \times 0,80 \times 0,75 = 15,3$ %

3. Расчет ожидаемого NPV:

$ENPV_{VC} = (0,0756 \times 15,3 \% \times \$2,625 \text{ млн}) / (1 + 0,12 + 0,08)^5 = (0,0756 \times 0,153 \times 2,625) / 1,20^5 = \$30,3 \text{ млн} / 2,488 = \$12,18 \text{ млн}$

Расчет для токенизированного финансирования:

- 1. Параметры токенизации: выпущено 10 млн токенов, доля будущих доходов 20 %, первичное привлечение \$150 млн.

2. Расчет стоимости токена при успехе:

– годовая доля выручки: $20 \% \times \$500 \text{ млн} = \100 млн ;

– дисконтированная стоимость: $\$100 \text{ млн} \times 5,65 = \565 млн ;

– стоимость одного токена: $\$565 \text{ млн} / 10 \text{ млн} = \$56,5$.

3. Учет опциона ликвидности:

– вероятность продажи на фазе II: 30 %;

– цена токена на фазе II: \$15;

– стоимость опциона: $0,3 \times \max(\$15 - \$10, 0) = \$1,5 \text{ млн}$.

4. Расчет ожидаемого NPV:

$ENPV_{\text{token}} = [(0,0756 \times 20 \% \times \$2,625 \text{ млн}) / (1 + 0,12 + 0,02)^5] + \$1,5 \text{ млн} = [(0,0756 \times 0,2 \times 2,625) / 1,14^5] + 1,5 = (\$39,7 \text{ млн} / 1,925) + \$1,5 \text{ млн} = \$20,63 \text{ млн} + \$1,5 \text{ млн} = \$22,13 \text{ млн}.$

Количественные результаты сравнительного анализа, представленные в табл. 1, убедительно демонстрируют системное превосходство токенизированной модели по ключевым финансовым параметрам при идентичном уровне фундаментальных рисков.

Таблица 1
Table 1

Сравнительные метрики моделей финансирования НИОКР в фармацевтике
Comparative metrics of pharmaceutical R&D financing models

Показатель	Венчурное финансирование	Токенизация
ENPV для инвестора	\$12,18 млн	\$22,13 млн
Скорректированная доходность	14,2 %	18,7 %
Вероятность потери инвестиций	85 %	85 %
Стоимость капитала для проекта	20 %	14 %

Проведенный анализ чувствительности демонстрирует устойчивость преимуществ токенизированной модели финансирования при вариации ключевых параметров (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Анализ чувствительности
Sensitivity analysis

Вероятность успеха	ENPV _{VC}	ENPV _{token}	Преимущество
5 %	\$8,1 млн	\$14,7 млн	+81 %
7,56 %	\$12,2 млн	\$22,1 млн	+82 %
10 %	\$16,2 млн	\$29,4 млн	+81 %
Премия ликвидности	ENPV _{VC}	ENPV _{token}	Преимущество
5 %	\$14,9 млн	\$23,8 млн	+8,9 млн
8 %	\$12,2 млн	\$22,1 млн	+9,9 млн
10 %	\$10,8 млн	\$21,2 млн	+10,4 млн

Анализ чувствительности демонстрирует устойчивость преимуществ токенизированной модели финансирования при вариации ключевых параметров. Как показали расчеты, изменение вероятности успеха проекта в диапазоне от 5 % до 10 % сохраняет количественное преимущество токенизации на уровне 81–82 % по показателю ENPV, что свидетельствует о независимости фундаментального превосходства модели от вариаций фундаментального научного риска. При этом анализ влияния премии за ликвидность выявил значительно более выраженную чувствительность традиционной модели финансирования к данному параметру: увеличение премии с 5 % до 10 % приводит к снижению ENPV венчурного финансирования на 27,5 %, тогда как токенизированная модель демонстрирует меньшую чувствительность (снижение на 10,9 %), что подтверждает ее способность эффективно нивелировать риски ликвидности. Полученные результаты количественно обосновывают тезис о том, что преимущества токенизации обусловлены не столько изменением профиля фундаментальных рисков, сколько структурными преобразованиями в механизмах финансирования, снижающими стоимость капитала и обеспечивающими более эффективное распределение рисков между участниками экосистемы.

Дискуссия

Полученные результаты свидетельствуют о том, что преимущества токенизации связаны не с увеличением фундаментальной стоимости успешного препарата, а с кардинальным улучшением параметров финансирования: снижением премии за ликвидность, отсутствием размытия доли и наличием опциона на досрочный выход, что подтверждает основную гипотезу исследования о том, что токенизация способна укрепить экономическую безопасность фармацевтических НИОКР за счет создания более эффективной финансовой экосистемы.

Практическая значимость данного исследования для развития фармацевтических НИОКР в России и, в частности, для университетов заключается в создании методологической основы для преодоления системных ограничений традиционной модели финансирования. Разработанная модель токенизированной экосистемы позволяет университетам диверсифицировать источники инвестиций за счет привлечения распределенного капитала, минимизируя зависимость от ограниченного круга венчурных фондов и государственных грантов. Смарт-контракты и механизмы дробного владения обеспечивают прозрачное управление интеллектуальной собственностью и автоматизированное распределение доходов между участниками консорциума, что снижает транзакционные издержки и правовые риски. Для российских исследовательских центров это открывает возможность сохранять контроль над стратегическими разработками, одновременно привлекая финансирование на ранних стадиях R&D, когда риски максимальны, а доступ к капиталу традиционно ограничен. Внедрение такой модели способно сократить «долину смерти» между фундаментальными исследованиями и коммерциализацией, усилить кадровый потенциал за счет опционных программ для ученых и создать устойчивую экосистему для разработки лекарственных препаратов критического значения в условиях импортозамещения.

Конкретные преимущества токенизации для университетов трудно переоценить. Прямой монетизационный канал создает возможность привлекать финансирование на доклинических стадиях через STO, сохраняя до 60–80 % токенов за университетом против стандартных 5–15 % роялти в лицензионных соглашениях. Смарт-контракты фиксируют права всех участников, сохраняя за университетом рычаги контроля над ИС, исключая недобросовестный отъем перспективных разработок инвесторами через механизмы принудительного размытия доли. Автоматизированная система вознаграждения исследователей на основе опционных пулов токенов (10–15 % от эмиссии) создает финансовые стимулы для научных коллективов, привязывая вознаграждение к реальным результатам, а не к публикационной активности. Снижение операционных затрат достигается посредством алгоритмического распределения доходов через смарт-контракты, что сокращает административные издержки на юридическое сопровождение и финансовый учет.

Формирование токенизированной экосистемы для управления НИОКР позволит университетам координировать работу с промышленными партнерами на прозрачных условиях, получая доступ к производственным мощностям и рыночным данным без потери контроля над разработкой.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что переход к цифровым финансовым моделям открывает новые перспективы для обеспечения устойчивости стратегически значимых секторов экономики. Разработанный инструментарий позволяет количественно обосновать целесообразность применения передовых механизмов финансирования, способных трансформировать существующую инвестиционную парадигму.

Для российской фармацевтической отрасли внедрение подобных подходов является не просто вопросом технологической модернизации, а ключевым элементом в построении устойчивой экономической системы, способной противостоять внешним вызовам и обеспечивать технологический суверенитет. Снижение зависимости от ограниченного круга источников

капитала и создание прозрачных условий для инвестиций напрямую способствуют укреплению национальной безопасности в сфере здравоохранения.

Таким образом, дальнейшее развитие и адаптация предложенной модели могут лечь в основу практических решений, направленных на формирование саморегулирующейся и финансово устойчивой экосистемы для создания лекарственных препаратов критического значения, что является императивом для долгосрочного развития страны в условиях современных геоэкономических реалий.

Список литературы

- Андрюшин С.А. 2024. Токенизация реальных активов: классификация, платформы, приложения, возможности и проблемы развития. *Russian Journal of Economics and Law*, 18(1): 88–104.
- Асадова Н.Д. 2022. Анализ финансирования компаний фармацевтической индустрии на этапе НИОКР. *Modern Economy Success*. 1: 6–9.
- Балашова С., Волгина Н. 2021. Фармацевтическое лидерство стран: роль накопительного эффекта расходов на НИОКР и эффекта непрерывности импорта. *Мировая экономика и международные отношения*, 65 (11): 49–59. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2021-65-11-49-59>
- Балковая А.С. 2021. Механизмы финансирования фармацевтических инноваций в Российской Федерации: проблемы и перспективы. *Экономика и бизнес: теория и практика*, 5-1: 41–45.
- Головко С.М. 2023. Анализ элементов финансовой стратегии фармацевтического бизнеса, их эффективности в условиях экономической турбулентности. *Вестник евразийской науки*. 15(4): 1–11. URL: <https://esj.today/PDF/06FAVN423.pdf>
- Дмитриева Л.В. 2025. Городские токены как инструмент развития территорий. *Экономика. Информатика*, 52(3): 489–498. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-3-489-498. EDN AEJICU
- Доржиева В.В. 2023. Развитие сектора исследований и разработок фармацевтической промышленности в условиях международных антироссийских санкций. *Вопросы инновационной экономики*. 13(4): 2269–2282. DOI 10.18334/vines.13.4.119770
- Коваленко А.В., Екшикеев Т.К. 2020. Актуальные вопросы финансирования сетевых R&D разработок в фармацевтической отрасли России. *Здоровье и образование в XXI веке*, 6: 111–114.
- Надь С., Асмятуллин Р.Р. 2022. Фармацевтическая промышленность мира: инвестиции в НИОКР в постковидный период. *Международная торговля и торговая политика*, 8(4): 62–70. <https://doi.org/10.21686/2410-7395-2022-3-62-70>
- Рудзейт О.Ю., Недяк А.В., Зайнетдинов А.Р., 2020. Токенизация активов и продукции. *Интернет-журнал «Отходы и ресурсы»*, 2(7): 1–6, DOI: 10.15862/10INOR220
- Girich M., Ermokhin I., Levashenko A. 2022. Comparative Analysis of the Legal Regulation of Digital Financial Assets in Russia and Other Countries. *International Organisations Research Journal*, 17(4): 176–192. doi:10.17323/1996-7845-2022-04-07
- Schuhmacher, A., Gassmann, O., Hinder, M., 2016. Changing R&D models in research-based pharmaceutical companies. *J Transl Med*, Apr 27;14(1):105. <https://doi.org/10.1186/s12967-016-0838-4>

References

- Andryushin S.A. 2024. Tokenizatsiya real'nykh aktivov: klassifikatsiya, platformy, prilozheniya, vozmozhnosti i problemy razvitiya [Tokenization of Real Assets: Classification, Platforms, Applications, Opportunities, and Challenges]. *Russian Journal of Economics and Law*, 18(1): 88–104.
- Asadova N.D. 2022. Analiz finansirovaniya kompanij farmacevticheskoy industrii na ètape NIOKR [Analysis of the financing of pharmaceutical industry companies at the R&D stage]. *Modern Economy Success*. 1: 6–9.
- Balashova S., Volgina N. 2021. Farmaceuticheskoe liderstvo stran: rol' nakopitel'nogo èffekta raschodov na NIOKR i èffekta nepreryvnosti importa [Pharmaceutical leadership of countries: the role of the cumulative effect of R&D spending and the effect of import continuity]. *Mirovaya èkonomika i mezhdunarodnyè otnosheniya*, 65 (11): 49–59. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2021-65-11-49-59>
- Balkovaya A.S. 2021. Mexanizmy finansirovaniya farmacevticheskix innovacij v Rossijskoj Federacii: problemy i perspektivy [Mechanisms of financing pharmaceutical innovations in the Russian Federation: problems and prospects]. *E'konomika i biznes: teoriya i praktika*, 5-1: 41–45.



- Golovko S.M. 2023. Analiz e`lementov finansovoj strategii farmacevticheskogo biznesa, ix e`ffektivnosti v usloviyax e`konomicheskoy turbulentnosti [Analysis of the elements of the pharmaceutical business financial strategy and their effectiveness in the context of economic turbulence]. *Vestnik evrazijskoj nauki*, 15(s4):1–11. URL: <https://esj.today/PDF/06FAVN423.pdf>
- Dmitrieva L.V. 2025. Gorodskie tokeny` kak instrument razvitiya territorij [Urban tokens as a tool for the development of territories]. *Economics. Information technologies*, 52(3): 489–498. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-3-489-498. EDNAEJICU
- Dorzhiya V.V. 2023. Razvitie sektora issledovanij i razrabotok farmacevticheskoy promy`shlennosti v usloviyax mezhdunarodny`x antirossijskix sankcij [Development of the pharmaceutical industry research and development sector in the context of international anti-Russian sanctions]. *Voprosy` innovacionnoj e`konomiki*, 13(4): 2269–2282. DOI 10.18334/vinec.13.4.119770
- Kovalenko A.V., Ekshikeev T.K. 2020. Aktual`ny`e voprosy` finansirovaniya setevy`x R&D razrabotok v farmacevticheskoy otrasli Rossii [Current issues of financing network R&D developments in the pharmaceutical industry of Russia]. *Zdorov`e i obrazovanie v XXI veke*, 6: 111–114.
- Nad` S., Asmyatullin R.R. 2022. Farmaceuticheskaya promy`shlennost` mira: investicii v NIOKR v postkovidny`j period [The pharmaceutical industry of the world: investments in R&D in the post-covid period]. *Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika*, 8(4): 62–70. <https://doi.org/10.21686/2410-7395-2022-3-62-70>
- Rudzejt O.Yu., Nedyak A.V., Zajnetdinov A.R., 2020. Tokenizaciya aktivov i produkci [Tokenization of assets and products]. *Inter-net-zhurnal «Otxody` i resursy»*, 2(7): 1–6, DOI: 10.15862/10INOR220
- Girich M., Ermokhin I., Levashenko A. 2022. Comparative Analysis of the Legal Regulation of Digital Financial Assets in Russia and Other Countries. *International Organisations Research Journal*, 17(4): 176–192. doi:10.17323/1996-7845-2022-04-07
- Schuhmacher, A., Gassmann, O., Hinder, M., 2016. Changing R&D models in research-based pharmaceutical companies. *J Transl Med*, Apr 27;14(1):105. <https://doi.org/10.1186/s12967-016-0838-4>

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 22.10.2025

Поступила после рецензирования 01.12.2025

Принята к публикации 25.12.2025

Received October 22, 2025

Revised December 1, 2025

Accepted December 25, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Степченкова Ольга Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры международного бизнеса, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Olga S. Stepchenkova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of International Business, St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 336.64
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-85-95
EDN FLFARP

Влияние эффекта якоря на доходность покупателя в сделках слияния и поглощения

Малышев А.А., Бородин А.И., Гордиенко М.С.
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,
Россия, 115054, Москва, Стремянный переулок, д. 36
malishev.a3@edu.rea.ru, Borodin.AI@rea.ru, Gordienko.MS@rea.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния когнитивного искажения инвесторов (эффекта якоря) на доходность акций отечественных компаний-покупателей в сделках слияния и поглощения с применением корреляционно-регрессионного анализа. Целью статьи является разработка и анализ регрессионных моделей, описывающих зависимость изменения котировок акций от предрассудков инвесторов, для выявления закономерностей и эффективности фондового рынка России, а также подготовка рекомендаций по распознаванию и учету субъективного восприятия сделок слияний и поглощений агентами экономических отношений. Авторы статьи знакомят читателя с основной методологией исследования, характером собранной информационной базы, моделями ожидаемых доходностей акций и различными комбинациями моделирования аномальной доходности, отражающей на себе эффект якоря. В результате исследования подтверждено влияние эффекта якоря на фондовый рынок РФ, получены формулы и коэффициенты уравнений регрессий доходностей, установлена статистическая значимость уравнений регрессий и их факторных признаков. Подход может применяться в задачах оценки эффективности страновых рынков капитала, в том числе в сравнении их скорости реакции на события сделок M&A и соответствующем уровне неопределенности, а также по нивелированию эффекта переоценки актива при покупке ценных бумаг. Проект реализуется в интересах широкого круга инвесторов, желающих адаптировать порядок принятия решений под поведенческий фактор и учесть его в собственных инвестиционных стратегиях.

Ключевые слова: эффект якоря, поведенческая экономика, корреляционно-регрессионный анализ, сделки M&A, слияния и поглощения

Для цитирования: Малышев А.А., Бородин А.И., Гордиенко М.С. 2026. Влияние эффекта якоря на доходность покупателя в сделках слияния и поглощения. *Экономика. Информатика*, 53(1): 85–95. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-85-95. EDN FLFARP

The Impact of the Anchoring Effect on Acquirer Returns in Mergers and Acquisitions

Alexey A. Malyshev, Alexander I. Borodin, Mikhail S. Gordienko
Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny Ln., Moscow 115054, Russia
malishev.a3@edu.rea.ru, Borodin.AI@rea.ru, Gordienko.MS@rea.ru

Abstract. This article examines the impact of investor cognitive bias (the anchoring effect) on the stock returns of domestic acquiring companies in mergers and acquisitions (M&A) using correlation-regression analysis.

© Малышев А.А., Бородин А.И., Гордиенко М.С., 2026

The aim of the paper is to develop and analyze regression models that describe the dependence of stock price changes on investor biases, in order to identify patterns and assess the efficiency of the Russian stock market, as well as to formulate recommendations for recognizing and accounting for the subjective perceptions of M&A deals by market participants. The authors introduce the reader to the core research methodology, the nature of the collected data, expected stock return models, and various combinations for modeling abnormal returns reflecting the anchoring effect. The study confirms the influence of the anchoring effect on the Russian stock market, provides formulas and coefficients for the return regression equations, and establishes the statistical significance of both the regression equations and their factor variables. This approach can be applied to assess the efficiency of national capital markets, including comparing their speed of reaction to M&A events and the corresponding level of uncertainty, as well as mitigating the asset overvaluation effect when purchasing securities. The project will benefit of a wide range of investors seeking to adapt their decision-making process to behavioral factors and incorporate them into their own investment strategies.

Keywords: anchoring effect, behavioral economics, correlation-regression analysis, M&A deals, mergers and acquisitions

For citation: Malyshev A.A., Borodin A.I., Gordienko M.S. 2026. The Impact of the Anchoring Effect on Acquirer Returns in Mergers and Acquisitions. *Economics. Information Technologies*, 53(1): 85–95 (in Russian) DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-85-95. EDN FLFARP

Введение

На сегодняшний день последствия событий на финансовых рынках трудно недооценить. Особого внимания заслуживает анализ сделок по слиянию и поглощению компаний. Подобного рода сделки влияют на финансовое состояние покупателя и продавца, объединяют ресурсы компаний, позволяют применять патенты и технологии в большем объеме, задействовать эффект масштаба компанией в рамках целевого сектора экономики. Анализ сделок M&A позволяет оценить финансовую привлекательность и стратегическую целесообразность сделки, выявить синергетические эффекты, в т. ч. снижение затрат и рост доходов, спрогнозировать будущие денежные потоки и стоимость объединенной компании. Один из факторов, который стоит учитывать – это эффект якоря. Эффект якоря показывает одну из характеристик поведения инвесторов на фондовом рынке в случае, если компания-покупатель является публичной компанией.

Эффект якоря – это феномен из поведенческой экономики, когнитивное искажение инвесторов, в контексте сделок слияний и поглощений отражается в изменении котировки акции компании-покупателя в момент объявления о событии сделки в зависимости от значений котировок акции за предыдущие периоды [Stepanova, 2018; Xiao, 2020]. Исследователями иностранных фондовых рынков доказано, что покупатели получают повышенную доходность своих акций в момент объявления сделки, если стоимость акции до поглощения была значительно ниже своего максимального значения на горизонте 52 недель (года), и имеют дело с более низкой доходностью, если стоимость акции близка к своему пику на периоде года [Borodin, 2020]. Такое поведение инвесторов вызвано их необъективной оценкой стоимости компании, низкой эффективностью исследуемого рынка. Исследование эффекта якоря позволяет количественно оценить степень влияния поведенческих предубеждений инвесторов на стоимость компании в момент объявления о сделке слияния и поглощения.

Поведение субъекта экономических отношений основано на предубеждении о некоторой первоначальной стоимости актива. Инвесторы проходят через два этапа – они создают в своем сознании «якорь», а затем адаптируют свое финальное решение о покупке или продаже актива на основе данного «якоря», выражающегося стоимостью акции на горизонте года в данном случае.

Объект и методы исследования

Первым этапом является сбор статистики, т. е. информационной базы исследования. Процесс сбора данных основывается на регистрации факта события сделки, ее даты, а затем и котировок акций компании-покупателя (дневных доходностей) с остальными переменными. В выборку вошли 83 сделки слияния и поглощения. Отобранные сделки соответствуют следующим критериям: акции компании-покупателя торгуются на бирже, а IPO произошло как минимум за один год до даты сделки. Также были собраны данные по суммам сделок, объему капитализации покупателя за год до сделки, флаг соответствия отрасли компании-покупателя и компании-цели, флаг наличия листинга акций цели на бирже в момент объявления сделки, посчитано отношение суммы сделки к капитализации покупателя.

Первой составной переменной доходности компании-покупателя является ожидаемая доходность ее собственных акций (формула 1). Модельные значения доходностей акций (ожидаемая доходность) рассчитаны на горизонте $[-20; +20]$ торговых дней (нулевой день соответствует дню анонса сделки) на основе линейной регрессионной функции, предложенной МакКинли [MacKinlay, 1997], где независимым фактором является рыночная доходность индекса ММВБ. Для получения коэффициентов уравнений был выбран горизонт $[-120; -21]$ дней (полгода)

$$R_{it} = \alpha_i + \beta_i R_{mt} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

где R_{it} – доходность акции i на периоде t , R_{mt} – рыночная доходность на периоде t , α_i – константа линейной регрессии i -ой акции, ε_{it} – ошибка регрессии, β_i – коэффициент регрессии i -ой акции.

Одна из регрессий ожидаемой доходности на примере акции Сбер изображена на рис. 1.

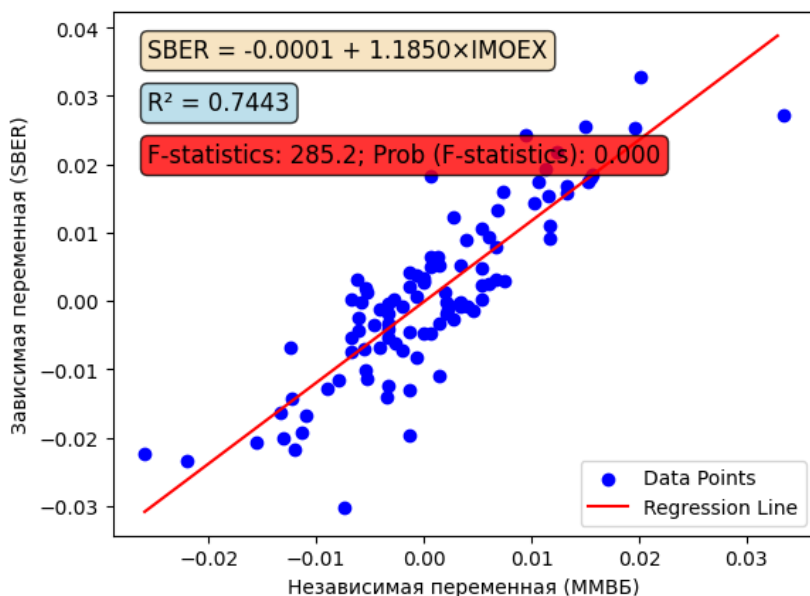


Рис. 1. График регрессии ожидаемых доходностей акции СБЕР, составлено авторами
Fig. 1. Regression chart of expected returns of SBER shares, composed by the authors

Для получения фактической кумулятивной аномальной доходности (CAR), которая будет непосредственно отражать эффект якоря, необходимо рассчитать аномальные доходности (формула 2, 3). При вычислении аномальной доходности необходимо обладать следующими переменными: дневными доходностями изучаемой акции (реальная доходность), модельными дневными доходностями этой же акции на том же изучаемом отрезке времени (ожидаемая доходность)

$$AR_{it} = R_{it} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_i R_{mt}, \quad (2)$$

где R_{it} – доходность i -ой акции в границах τ от даты сделки, $R_{m\tau}$ – рыночная доходность на периоде в границах τ от даты сделки, $\hat{\alpha}_i$ – модельная константа линейной регрессии i -ой акции, $\hat{\beta}_i$ – модельный коэффициент регрессии i -ой акции

$$CAR_{it} = \sum AR_{it}, \quad (3)$$

где AR_{it} – аномальная доходность i -ой акции в границах τ от даты сделки.

Исходя из того, что ожидаемые, а, следовательно, аномальные доходности рассчитаны на горизонте $[-20; +20]$, то и кумулятивные доходности рассчитаны на этом же интервале. Дополнительно был произведен расчет кумулятивной аномальной доходности на интервалах $[-10; +10]$, $[-5; +5]$, $[-5; +3]$, $[-5; +1]$.

Показатель якоря (RPR) представляет собой отношение котировки акции до события сделки к ее пиковому значению в прошлом на определенном горизонте (формула 4). В исследовании Джорджа и Хванга было предложено использовать пиковое значение за 54 недели (1 год) [George, Hwang, 2004]. В данном исследовании также были протестированы альтернативные якоря на интервале 1, 2 и 3 последних кварталов, на 75 %, 90 % и 95 % квантиле последнего года

$$RPR_{365} = \frac{y_{t-21}}{\max[y_{t-250}; y_{t-22}]}, \quad (4)$$

где y_{t_0} – цена закрытия акции в торговый день анонса сделки.

Регрессионное моделирование было произведено для тестирования следующей гипотезы: эффект якоря на российском фондовом рынке существует и статистически значим; покупатель получает большую доходность от анонсирования сделки при меньшей стоимости акции относительно годового пика.

Для моделирования зависимости кумулятивной аномальной доходности от эффекта якоря было использовано многофакторное уравнение линейной регрессии (метод наименьших квадратов), основанное на разработанной методологии Ма [Ma, 2016]. Общее уравнение выглядит следующим образом (формула 5):

$$CAR_i = \alpha + \beta_0 RPR + \beta_1 \text{Общий сектор экономики} + \beta_2 \text{Наличие листинга цели} + \beta_3 \frac{\text{Сумма сделки}}{\text{Капитализация покупателя за 1 год до сделки}} + \beta_4 \ln(\text{Сумма сделки}) + \beta_5 \ln(\text{Капитализация покупателя за 1 год до сделки}) + \varepsilon_i \quad (5)$$

Результаты и их обсуждение

Описательная статистика

Анализ сделок слияния и поглощения позволяет сделать вывод, что большая их часть сконцентрирована в нефтегазовом и финансовом секторах экономики (табл. 1). База данных была собрана из ряда информационных источников, включая Керп – Кэпт (ранее KPMG) [Рынок слияний и поглощений, 2013, 2014, 2023, 2024], информационные материалы Sбonds Review [Рынок слияний и поглощений, 2013, 2014, 2023, 2024], данные Investing.com [Котировки акций...], Московской Биржи [Котировки акций...] и SMART-LAB [Уровень капитализации компаний..., Обзор российского рынка M&A, 2019; 2020; 2021].

Описательная статистика основных переменных представлена в табл. 2. Из статистики видно, что при увеличении интервала события абсолютные значения максимума и минимума аномальной доходности растут, что свидетельствует об увеличении разброса значений и стандартного отклонения. Это показывает, что больший интервал позволяет зарегистрировать более позднюю максимальную реакцию рынка на слияния, что в том числе характерно для менее эффективных рынков.

Таблица 1
Table 1

Распределение сделок по секторам экономики, составлено авторами
Distribution of M&As by economic sector, composed by the authors

Сектор экономики	Долл. США \$	Удельный вес, %	Кол-во сделок
Нефтегазовый сектор	65 733 272 727	57,35	32
Финансы	17 097 666 667	14,92	17
Электроэнергетика	14 713 000 000	12,84	3
Телекоммуникации	4 873 914 286	4,25	13
Горная металлургия	3 975 000 000	3,47	2
Ритейл	3 330 904 762	2,91	4
Металлургия	1 679 000 000	1,46	3
Угольная промышленность	914 000 000	0,80	1
Строительство	797 000 000	0,70	1
Сельское хозяйство	627 390 244	0,55	3
Химическая промышленность	588 000 000	0,51	2
Остальная промышленность	256 000 000	0,22	1
Медицина	33 000 000	0,03	1

Таблица 2
Table 2

Описательная статистика основных переменных, составлено авторами
Descriptive statistics of main variables, composed by the authors

Переменная	Минимум	Q1	Среднее	Медиана	Q3	Максимум	СКО
CAR[-20;+20]	-0,384	-0,072	0,017	0,003	0,073	0,649	0,140
CAR[-10;+10]	-0,312	-0,04	0,024	0,001	0,068	0,454	0,117
CAR[-5;+5]	-0,179	-0,03	0,024	-0,002	0,042	0,502	0,103
CAR[-5;+3]	-0,153	-0,029	0,015	0,001	0,038	0,35	0,081
CAR[-5;+1]	-0,095	-0,022	0,016	-0,001	0,033	0,354	0,073
RPR1	0,16	0,77	0,85	0,88	0,95	1,00	0,13
Сумма сделки, млн долл. США	1	186	1 394	412	1 276	16 000	2 713
Капитализация, млн долл. США	87	6 656	33 695	16 926	54 708	130 581	35 635
Сумма сделки / капитализация	0,00	0,01	0,16	0,03	0,13	2,39	0,37

Далее было произведено разделение выборки на две части – с большими и меньшими значениями якоря на интервале [-20; +20] (выше и ниже медианного значения RPR1 соответственно). По данным табл. 3, можно сделать вывод о том, что более низким значениям якоря соответствуют более высокие значения аномальных доходностей, т. е. чем меньше цена акции относительно своего годового максимума перед сделкой, тем выше фактические кумулятивные аномальные доходности, что подтверждает наличие эффекта якоря на российском фондовом рынке. Максимальная разница средних значений зарегистрирована на интервале [-5; +5] и составила 2,53 %.

Моделирование эффекта якоря

Вначале были проанализированы однофакторные модели на разных временных интервалах и для якорей, рассчитанных разными способами. При использовании в качестве якоря классического горизонта в один год с максимальным пиком в знаменателе наилучшие результаты дает модель на интервале [-20; +20] с коэффициентом детерминации равным 11,1 % на уровне значимости 0,2 % и модель на интервале [-5; +1] с коэффициентом детерминации равным 12,6 % на уровне значимости 0,1 %. Коэффициент переменной,

отражающей эффект якоря, является отрицательным, поэтому при приближении котировки акции к своему годовому пику перед сделкой переменная увеличивается, при этом сильнее снижая доходность покупателя. Также значимые результаты были получены при использовании якоря на интервале одного квартала [-62; -22] на моделях [-20; +20], [-5; +5], [-5; +1] с коэффициент детерминации равным 11,8 %, 13,8 %, 15,5 % соответственно на уровне значимости 0,2-0,1 %. Модели на интервале [-20; +20] являются стабильно качественными на всех разновидностях расчета якоря. Якорь на горизонте одного года и последнего квартала показывает наиболее валидные результаты. Относительно низкие значения коэффициентов детерминации не имеют существенного значения, поскольку гипотеза тестирует статистическую значимость вариации доходности (результативного показателя) от вариации якоря (факторного признака). В табл. 4 приведены основные параметры моделей на примере годового и квартального интервала.

Таблица 3
 Table 3

Средние значения кумулятивных аномальных доходностей в выборках наименьших и наибольших значений якоря, составлено авторами
 Average values of cumulative abnormal returns in the samples of the smallest and largest anchor values, composed by the authors

Переменная	Вся выборка, %	Низкий якорь, %	Высокий якорь, %	Разница выборок, %
CAR[-5;+1]	1,63	1,67	1,59	0,08
CAR[-5;+3]	1,46	1,63	1,30	0,33
CAR[-5;+5]	2,36	3,62	1,10	2,53
CAR[-10;+10]	2,36	2,58	2,15	0,43
CAR[-20;+20]	1,74	2,25	1,23	1,02

Таблица 4
 Table 4

Показатели однофакторных моделей эффекта якоря, составлено авторами
 Parameters of single-factor anchoring effect models, composed by the authors

	Модель 1 CAR[-20; +20]	Модель 2 CAR[-10; +10]	Модель 3 CAR[-5; +5]	Модель 4 CAR[-5; +3]	Модель 5 CAR[-5; +1]
Константа	0,311 (0,001)	0,158 (0,058)	0,202 (0,006)	0,156 (0,006)	0,179 (0,000)
RPR365	-0,346 (0,002)	-0,158 (0,102)	-0,210 (0,013)	-0,166 (0,012)	-0,191 (0,001)
R-squared	0,111	0,033	0,075	0,076	0,126
F-statistic	9,9850	2,729	6,456	6,599	11,53
p-value(F)	0,002	0,102	0,013	0,012	0,001
Константа	0,588 (0,001)	0,364 (0,018)	0,473 (0,000)	0,334 (0,002)	0,357 (0,000)
RPR_Q1	-0,618 (0,002)	-0,369 (0,027)	-0,487 (0,001)	-0,346 (0,002)	-0,369 (0,000)
R-squared	0,118	0,06	0,133	0,109	0,155
F-statistic	10,6600	5,095	12,32	9,837	14,71
p-value(F)	0,002	0,027	0,001	0,002	0

Далее были построены модели также на всех интервалах события сделки, на годовом и квартальном якорях, но уже с использованием всех независимых переменных, перечисленных в формуле 1. Модель на интервале [-20; +20] с якорем на горизонте 1 года имеет коэффициент детерминации, равный 18,3 % на уровне 0,2 % значимости. Наилучший результат дала модель на интервале [-5; +5] с якорем на горизонте 1 года с коэффициентом детерминации, равным 44 % на уровне значимости <0,01 %. Точность моделей практически идентична как на горизонте якоря в 1 год, так и на последнем квартале, что может говорить о том, что инвесторы в одинаковой степени учитывают исторические котировки акций как за год, так и за последний квартал. На рис. 2 изображены параметры базовой модели на горизонте 1 года с якорем в пределах +-20 дней от даты сделки.

OLS Regression Results

```

=====
Dep. Variable:          car_20_20  R-squared:              0.183
Model:                 OLS        Adj. R-squared:         0.118
Method:                Least Squares  F-statistic:           2.803
Date:                  Mon, 12 Jan 2026  Prob (F-statistic):    0.0163
Time:                  21:42:37     Log-Likelihood:        53.666
No. Observations:     82          AIC:                   -93.33
Df Residuals:         75          BIC:                   -76.48
Df Model:              6
Covariance Type:      nonrobust
=====

```

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	0.5743	0.275	2.087	0.040	0.026	1.122
rpr_max365	-0.2958	0.112	-2.631	0.010	-0.520	-0.072
industry	-0.0100	0.031	-0.319	0.751	-0.073	0.053
listed	-0.0032	0.038	-0.084	0.934	-0.079	0.073
ratio	0.0176	0.052	0.337	0.737	-0.086	0.121
ln_size	-0.0213	0.012	-1.767	0.081	-0.045	0.003
ln_deal	0.0099	0.010	0.939	0.351	-0.011	0.031

```

=====
Omnibus:                8.300  Durbin-Watson:          2.419
Prob(Omnibus):          0.016  Jarque-Bera (JB):       13.147
Skew:                   0.330  Prob(JB):                0.00140
...
=====

```

Рис. 2. Параметры модели на горизонте 1 года с якорем в пределах +/- 20 торговых дней от даты сделки, составлено авторами

Fig. 2. Model parameters on a one-year horizon with an anchor within +/- 20 trading days from the transaction date, composed by the authors

На основании полученных многофакторных моделей можно произвести исключение незначимых факторов из регрессий на уровне 10 % значимости. В основной модели на интервале события [-20; +20] с якорем на горизонте в 1 год коэффициент детерминации равен 16,5 % на уровне значимости <0,01 %. Значимой переменной помимо константы и якоря является объем капитализации покупателя. Это означает, что на наибольшем из возможных горизонтов фиксирования сделки инвесторы считают крупные компании менее доходными в подобных условиях. Это может быть связано как с более высокой ликвидностью акций подобных компаний ввиду их распространенности, так и большим объемом информации на рынке, что снижает уровень неопределенности, следовательно, снижается аномальная доходность. Научная литература предоставляет достаточно доказательств прямой зависимости неопределенности и эффекта якоря [Tversky, 1974; Jacowitz, 1995; Mussweiler, 2000]. Используя интервал [-5; +5], можно получить коэффициент детерминации, равный 42,1 %, однако важно учитывать уровень значимости переменных, где константа и якорь значимы на уровне 8 % и 6 % соответственно, что является не совсем надежным результатом. Также на интервале [-5; +5] значимо соотношение суммы сделки к капитализации. Переменная суммы сделки связана с уровнем неопределенности, поскольку крупные сделки сложнее поддаются корректной оценке. Она оказалась незначимой. График регрессии для интервала сделки [-5; +5] и остатки визуализированы на рис. 3 и 4 соответственно, в табл. 5 расположены параметры очищенных многофакторных моделей.

Для проверки робастности результатов модели были введены несколько видов якорей, рассчитанных альтернативным способом. Для этого выше в расчет были внедрены якоря на горизонте одного, двух и трех кварталов, перцентильное деление цены акций за последний год на уровне 75 %, 90 % и 95 %. На основании построенных однофакторных и многофакторных моделей в большинстве случаев якоря оказались значимыми независимыми переменными (табл. 6), что подтверждает робастность результата и демонстрирует эффект якоря при использовании всех способов его расчета. Также была исследована применимость эффекта якоря к индексу московской биржи (ММВБ) для проверки зависимости котировок акций от годовых пиков рыночного индекса. Однако коэффициент рыночного якоря оказался незначим (рис. 5).

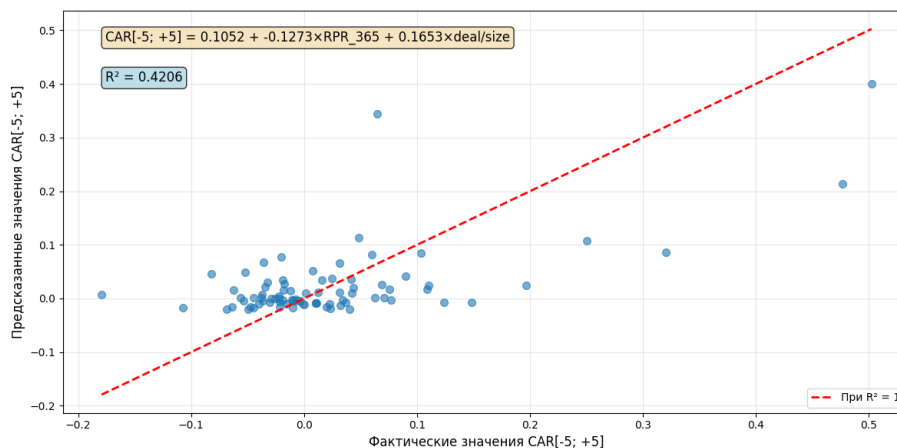


Рис. 3. График регрессии на горизонте 1 года с якорем в пределах +/- 5 торговых дней от даты сделки, составлено авторами

Fig.3. Regression chart over a one-year horizon with an anchor within +/- five trading days from the trade date, composed by the authors

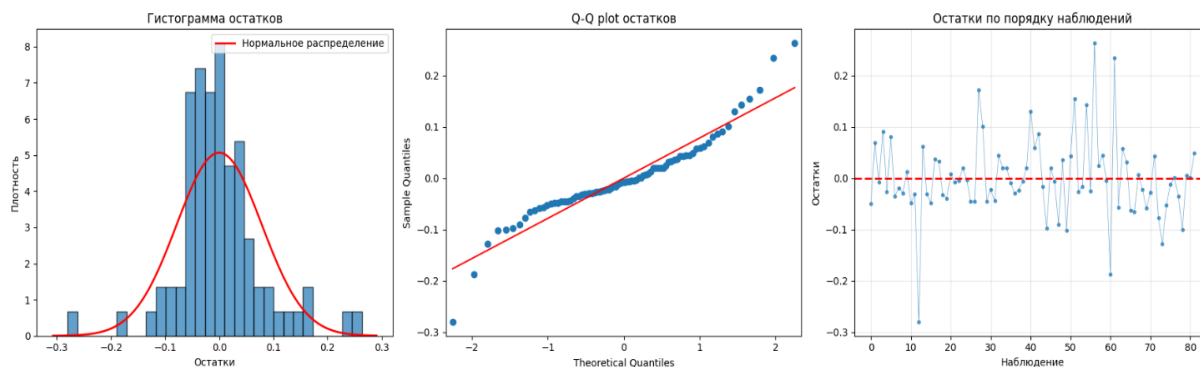


Рис. 4. Графики остатков модели на горизонте 1 года с якорем в пределах +/- 5 торговых дней от даты сделки, составлено авторами

Fig. 4. Charts of the model's residuals on a one-year horizon with an anchor within +/- five trading days from the trade date, composed by the authors

Таблица 5
Table 5

Значимые переменные многофакторных моделей эффекта якоря, составлено авторами
 Significant variables of multivariate anchoring effect models, composed by the authors

	Модель 1 CAR[-20; +20]	Модель 2 CAR[-10; +10]	Модель 3 CAR[-5; +5]	Модель 4 CAR[-5; +3]	Модель 5 CAR[-5; +1]
1	2	3	4	5	6
Константа	0,742 (0,001)	0,084 (0,283)	0,105 (0,074)	0,468 (0,000)	0,451 (0,000)
RPR365	-0,290 (0,010)	-0,095 (0,291)	-0,127 (0,06)	-0,126 (0,048)	-0,156 (0,006)
Сектор экономики	-	-	-	-	-
Листинг цели	-	-	-	0,033 (0,083)	-
Сумма сделки / капитализация	-	0,126 (0,000)	0,165 (0,000)	-	-
ln(Сумма сделки)	-	-	-	-	-
ln(капитализация)	-0,021 (0,027)	-	-	-0,015 (0,004)	-0,013 (0,006)
R-squared	0,165	0,189	0,421	0,199	0,206
F-statistic	7,8040	9,2	28,68	6,44	10,23
p-value(F)	0,0008	0,0003	0	0,0006	0,0001

Окончание табл. 5
End of Table 5

1	2	3	4	5	6
Константа	0,897 (0,000)	0,198 (0,186)	0,254 (0,023)	0,555 (0,000)	0,549 (0,000)
RPR_Q1	-0,493 (0,014)	-0,209 (0,190)	-0,277 (0,021)	-0,249 (0,029)	-0,291 (0,004)
Сектор экономики	-	-	-	-	-
Листинг цели	-	-	-	0,032 (0,09)	-
Сумма сделки / капитализация	-	0,119 (0,000)	0,158 (0,000)	-	-
ln(Сумма сделки)	-	-	-	-0,014 (0,012)	-0,011 (0,019)
ln(капитализация)	-0,018 (0,056)	-	-	-	-
R-squared	0,158	0,195	0,434	0,208	0,212
F-statistic	7,3900	9,575	30,26	6,82	10,66
p-value(F)	0,0011	0,0002	0	0,0004	0

Таблица 6
Table 6

Значения коэффициентов и значимости переменной якоря в однофакторных моделях,
составлено авторами
Values of the coefficients and significance of the anchor variable in single-factor models,
composed by the authors

	Модель 1 CAR[-20; +20]	Модель 2 CAR[-10; +10]	Модель 3 CAR[-5; +5]	Модель 4 CAR[-5; +3]	Модель 5 CAR[-5; +1]
RPR365	-0,346 (0,002)	-0,158 (0,102)	-0,210 (0,013)	-0,166 (0,012)	-0,191 (0,001)
RPR_Q1	-0,618 (0,002)	-0,369 (0,027)	-0,487 (0,001)	-0,346 (0,002)	-0,369 (0,000)
RPR_Q2	-0,498 (0,001)	-0,275 (0,033)	-0,356 (0,001)	-0,25 (0,005)	-0,248 (0,002)
RPR_Q3	-0,411 (0,001)	-0,202 (0,057)	-0,264 (0,004)	-0,196 (0,007)	-0,205 (0,002)
RPR365_q0.75	-0,334 (0,002)	-0,141 (0,122)	-0,186 (0,02)	-0,130 (0,038)	-0,145 (0,009)
RPR365_q0.9	-0,349 (0,002)	-0,146 (0,127)	-0,191 (0,023)	-0,144 (0,03)	-0,166 (0,005)
RPR365_q0.95	-0,339 (0,003)	-0,142 (0,144)	-0,187 (0,027)	-0,146 (0,028)	-0,172 (0,004)

OLS Regression Results

```

=====
Dep. Variable:          car_20_20      R-squared:                0.124
Model:                  OLS           Adj. R-squared:           0.054
Method:                 Least Squares  F-statistic:              1.772
Date:                   Mon, 12 Jan 2026  Prob (F-statistic):       0.116
Time:                   21:03:55      Log-Likelihood:          50.805
No. Observations:      82            AIC:                     -87.61
Df Residuals:          75            BIC:                     -70.76
Df Model:               6
Covariance Type:       nonrobust
=====

```

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	0.5729	0.299	1.918	0.059	-0.022	1.168
rpr_mmvb	-0.1887	0.159	-1.183	0.240	-0.506	0.129
industry	-0.0136	0.033	-0.419	0.676	-0.078	0.051
listed	0.0020	0.039	0.052	0.959	-0.077	0.081
ratio	0.0389	0.054	0.724	0.471	-0.068	0.146
ln_size	-0.0225	0.012	-1.802	0.076	-0.047	0.002
ln_deal	0.0072	0.011	0.669	0.506	-0.014	0.029

```

=====
Omnibus:                22.028      Durbin-Watson:           2.554
Prob(Omnibus):          0.000      Jarque-Bera (JB):        65.906
Skew:                   0.764      Prob(JB):                 4.88e-15
...
=====

```

Рис. 5. Модель для проверки значимости рыночного эффекта якоря, составлено авторами
Fig.5. A model for testing the significance of the market anchoring effect, composed by the authors

Заключение

Гипотеза о наличии эффекта якоря на российском рынке подтверждается. Результаты исследования выявили статистически значимую отрицательную зависимость между величиной аномальной доходности покупателя в сделках М&А и значением показателя якоря (близости цены акции к историческому максимуму). Чем выше значение якоря (т. е. чем ближе котировка к своему пику), тем ниже аномальная доходность, что указывает на влияние когнитивной предвзятости инвесторов.

Наиболее актуальными являются долгосрочные горизонты оценки. Эффект якоря наиболее стабилен и значим при расчете на горизонте одного года и последнего квартала, а также на широком интервале событий – [-20; +20] торговых дней относительно сделки. Эти модели демонстрируют стабильное качество и значимость коэффициентов.

Многофакторный анализ выявил ключевые факторы, определяющие доходность покупателя. Наиболее значимая модель (в интервале [-20; +20] доходности) подтвердила важность не только эффекта якоря, но и размера компании-покупателя. Отрицательная связь между аномальной доходностью и капитализацией согласуется с гипотезой информационной эффективности: операции крупных компаний подлежат более тщательному контролю, что снижает неопределенность и вероятность аномальной доходности.

Эффект якоря специфичен для отдельных акций и не распространяется на рыночный индекс. Попытка применить концепцию якоря к рыночному индексу ММВБ не выявила статистически значимой связи. Это указывает на то, что выявленный эффект является характеристикой восприятия инвесторами отдельных котировок компаний-покупателей, а не общего состояния рынка.

Результаты надежны. Тестирование на робастность с использованием различных методов расчета эффекта якоря подтвердило надежность и воспроизводимость полученных результатов, что усиливает обоснованность выводов.

Таким образом, гипотеза исследования подтверждена на значимом статистическом уровне. Фондовый рынок России в разрезе отдельных акций покупателя демонстрирует подверженность эффекту якоря при анонсе сделок слияний и поглощений.

Список источников

- Котировки акций // Investing.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.investing.com/> (дата обращения: 05.01.2026)
- Котировки акций // Московская биржа [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.moex.com/ru/data/> (дата обращения: 05.01.2026)
- Обзор российского рынка М&А за 2019 год // Cbonds Review, 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://review.cbonds.info/download/5499> (дата обращения: 05.01.2026)
- Обзор российского рынка М&А за 2020 год // Cbonds Review, 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://review.cbonds.info/download/5499> (дата обращения: 05.01.2026)
- Обзор российского рынка М&А за 2021 год // Cbonds Review, 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://review.cbonds.info/article/magazines/5675/> (дата обращения: 05.01.2026)
- Рынок слияний и поглощений в России в 2013 году // KPMG, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2014/09/S_MA_3r_2014.pdf (дата обращения: 05.01.2026)
- Рынок слияний и поглощений в России в 2014 году // KPMG, 2015 [Электронный ресурс]. – URL: https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/04/S_MA_4r_2015.pdf (дата обращения: 05.01.2026)
- Рынок слияний и поглощений в России в 2023 – начале 2024 гг. // kept, 2024 [Электронный ресурс]. – URL: <https://assets.kept.ru/upload/pdf/2024/06/ru-kept-ma-2023-survey.pdf> (дата обращения: 05.01.2026)
- Рынок слияний и поглощений в России в 2024 г. // kept, 2025 [Электронный ресурс]. – URL: <https://assets.kept.ru/upload/pdf/2025/03/ru-kept-ma-2024-survey.pdf> (дата обращения: 05.01.2026)

Уровень капитализации компаний // SMART-LAB [Электронный ресурс]. – URL: https://smart-lab.ru/q/shares_fundamental2/ (дата обращения: 05.01.2026)
Ma Q., Whidbee D. A., Zhang W. A. 2016. Anchoring and Acquisitions. AFA 2017 Paper.

References

- Borodin A., Ziyadin S., Islyam G., Panaedova G. 2020. Impact of mergers and acquisitions on companies' financial performance. *Journal of International Studies*, 13(2): 34–47. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2020/13-2/3>
- George T. J., Hwang C. Y. 2004. The 52-week high and momentum investing. *The Journal of Finance*, 59(5): 2145–2176.
- Jacowitz K. E., Kahneman D. 1995. Measures of anchoring in estimation tasks. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21(11): 1161–1166.
- MacKinlay A. C. 1997. Event studies in economics and finance. *Journal of economic literature*, 35(1): 13–39.
- Mussweiler T., Strack F. 2000. Numeric judgments under uncertainty: The role of knowledge in anchoring. *Journal of experimental social psychology*, 36(5): 495–518.
- Stepanova A., Savelyev V., Shaikhutdinova M. 2018. The Anchoring Effect in Mergers and Acquisitions: Evidence from an Emerging Market. *SSRN Electronic Journal*. 10.2139/ssrn.3110502.
- Tversky A., Kahneman D. 1974. Judgement Under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science, New Series*, 185 (4157): 1124–1131.
- Xiao H. 2020. Anchoring in international merger and acquisition equity decisions: evidence from Chinese firms. *Baltic Journal of Management*, 15(3): 395–410, doi: <https://doi.org/10.1108/BJM-04-2019-0124>

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 09.02.2026

Поступила после рецензирования 24.02.2026

Принята к публикации 27.02.2026

Received February 09, 2026

Revised February 24, 2026

Accepted February 27, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Малышев Алексей Андреевич, магистрант кафедры финансов устойчивого развития, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

Бородин Александр Иванович, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры финансов устойчивого развития, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

Гордиенко Михаил Сергеевич, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры финансов устойчивого развития, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey A. Malyshev, Master's student of the Department for Finance of Sustainable Development, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Alexander I. Borodin, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department for Finance of Sustainable Development, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Mikhail S. Gordienko, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department for Finance of Sustainable Development, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

УДК 336.1
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-96-110
EDN ECETQQ

Формирование экосистемы финансовой грамотности молодёжи

Пашкова Е.Н., Быканова Н.И., Карловская Е.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
308015, Россия, г. Белгород ул. Победы, д. 85
epashkova@bsuedu.ru, bykanova@bsuedu.ru, karlovskaya@bsuedu.ru

Аннотация. Молодые люди часто сталкиваются с дефицитом знаний и навыков управления финансами, что повышает личные финансовые риски и негативно влияет на экономику страны в целом. Статья посвящена определению роли финансовой грамотности в социально-экономическом развитии общества и государства с акцентом на особую значимость повышения уровня финансовой культуры среди молодёжи. Авторы исследуют проблемы, связанные с формированием экосистемы финансовой грамотности в условиях цифровой трансформации, доступностью кредитов и низким уровнем осведомленности молодежи. Представлен авторский взгляд на понятие «экосистема финансовой грамотности молодёжи», определены комплексные меры для создания устойчивых условий финансовой стабильности и благополучия молодёжи, объединяющие образовательные программы, сотрудничество государства, бизнеса и общества. В ходе исследования были разработаны рекомендации по интеграции образовательных инициатив, информационных ресурсов, семейных традиций и регуляторных механизмов для достижения цели повышения финансовой грамотности молодого поколения. Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейших исследований и практических действий для эффективного формирования экосистемы финансовой грамотности, способствующей экономическому процветанию и социальной гармонии.

Ключевые слова: образование, финансовая грамотность, финансовая культура, экосистема, симбиоз

Для цитирования: Пашкова Е.Н., Быканова Н.И., Карловская Е.А. 2026. Формирование экосистемы финансовой грамотности молодёжи. *Экономика. Информатика*, 53(1): 96–110. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-96-110. EDN ECETQQ

Formation of an Ecosystem of Financial Literacy for Young People

Elena N. Pashkova, Natalya I. Bykanova, Evgenia A. Karlovskaya

Belgorod State National Research University
85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia,
epashkova@bsuedu.ru, bykanova@bsuedu.ru, karlovskaya@bsuedu.ru

Abstract. Young people often lack knowledge and skills in financial management, which increases personal financial risks and negatively impacts the country's economy as a whole. This article explores the role of financial literacy in the socioeconomic development of society and the state, emphasizing the particular importance of raising the level of financial awareness in youth. The authors examine the challenges associated with developing a financial literacy ecosystem in the context of digital transformation, credit availability, and low levels of awareness among the young. They present their perspective on the concept of a “youth financial literacy ecosystem” and identify comprehensive measures to create sustainable conditions for financial stability and well-being among young people, integrating educational programs and collaboration between government, business, and society. The paper presents recommendations for integrating educational initiatives, information resources, family traditions, and regulatory mechanisms to achieve the goal of improving the financial literacy of the younger generation. The findings confirm the

need for further research and practical action to effectively develop a financial literacy ecosystem that promotes economic prosperity and social harmony.

Keywords: education, financial literacy, financial culture, ecosystem, symbiosis

For citation: Pashkova E.N., Bykanova N.I., Karlovskaya E.A. 2026. Formation of an Ecosystem of Financial Literacy for Young People. *Economics. Information technologies*, 53(1): 96–110 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-96-110. EDN ECETQQ

Введение

Финансовая грамотность является важным фактором устойчивого социально-экономического развития общества и государства. Особенно значима роль повышения уровня экономической культуры среди молодого поколения, поскольку именно молодёжь формирует будущие финансово-экономические отношения и выступает основным потребителем финансовых услуг, участником рынка труда и субъектом предпринимательской активности. Проблематика формирования экосистемы финансовой грамотности обусловлена ускорением цифровизации, ростом доступности кредитных продуктов, низким уровнем информационной подготовки молодёжи и необходимостью изменений в государственной политике. Но нехватка таких навыков обращения с деньгами, как накопление, инвестирование и понимание сопутствующих рисков ведут к финансовым потерям, долгам и снижению качества жизни молодого поколения. Эти обстоятельства подчеркивают важность внедрения комплексных мер по улучшению образовательного процесса, сотрудничества между государством, бизнесом и обществом для создания устойчивых условий финансовой стабильности и благополучия молодёжи.

Теоретической основой исследования послужили труды ведущих отечественных ученых в области формирования финансовой грамотности среди молодёжи. Научные исследования С.Э. Аكوпова, С.И. Самыгина, [Акопова, Самыгина, 2025], А.А. Смирновой [Смирнова, 2025] раскрывают особенности влияния цифровизации на финансовую грамотность молодёжи, тогда как работы Е.Ю. Алексейчевой [Алексейчева, 2021], Г.М. Гусейновой [Гусейнова, 2024], Д.В. Лазутиной, Е.М. Портняги [Лазутина, Портняга, 2023] сосредотачиваются на практическом опыте и взаимодействиях институтов в процессе обучения. Труды Е.Н. Акимовой, О.В. Шатаевой, О.Т. Шипковой [Акимова, Шатаева, Шипкова, 2022], В.А. Катаевой, С.В. Мазуниной, В.Р. Масалкиной, [Катаева, Мазунина, Масалкина, 2019] Ю.Н. Маслова, С.А. Мамия [Маслов, Мамий, 2022], Д.А. Матяшова [Матяшов, 2024], М.Г. Сиденко [Сиденко, 2021], Н.А. Семеновой [Семенова, 2024] направлены на анализ текущего уровня финансовой грамотности, обнаружение пробелов и предложение стратегий улучшения образовательной системы.

Применение экосистемного подхода изучают в различных областях науки и практики, таких как биология, экономика, финансы, образование и др. Ученые Е.Ю. Алексейчева, О.В. Ваганова, Т.В. Сапрыкина, Н.С. Мельникова и др. считают его универсальным инструментом для междисциплинарных исследований и прикладных разработок [Алексейчева, 2021; Ваганова, Быканова, Сапрыкина, Пашкова, 2022; Мельникова, Быканова, 2025].

Указанные научные публикации показывают многогранность проблематики финансовой грамотности молодёжи, выявляют основные факторы, влияющие на этот процесс, и предлагают различные подходы к решению существующих трудностей. Несмотря на разнообразие научных публикаций, демонстрирующих сложность и многоаспектность вопросов формирования финансовой грамотности молодёжи, остается актуальной потребность в разработке и внедрении единого методического подхода к формированию современной финансово-экономической экосистемы, направленной на повышение уровня финансовой грамотности молодого поколения и обеспечение эффективного управления личными финансами в условиях цифровизации.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является процесс формирования экосистемы финансовой грамотности молодёжи, включающей систему взаимосвязанных элементов (государственные органы, образовательные учреждения, коммерческие структуры и др.), направленных на повышение уровня финансовой образованности молодого поколения.

Методологическую основу исследования составили общие методы и приемы теоретического познания: диалектический и логический метод, позволяющий исследовать процессы формирования финансовой грамотности в динамике, для выявления закономерностей и тенденций развития.

Институт Фонда «Общественное мнение» (инФОМ) по заказу Банка России с 2017 года каждые два года проводит замеры уровня финансовой грамотности россиян. Методика расчета российского индекса финансовой грамотности (далее – РИФГ) включает три этапа: расчет показателя международной Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) по стандартной методологии 2015 года, нормированного в диапазоне от 0 до 100; вычисление показателя российской специфики с учетом демографических, региональных и экономических факторов, также нормированного до 100; и объединение этих двух показателей с равными весами (по 50 %) для получения итогового индекса, варьирующегося от 0 до 100 баллов. Такой подход позволяет учитывать как международные стандарты, так и уникальные особенности финансовой грамотности в России [Исследование ... 2024].

Национальное агентство финансовых исследований (далее – НАФИ) также изучает и измеряет уровень финансовой грамотности населения по методологии ОЭСР. Российский индекс финансовой грамотности рассчитывают как сумму значений трех частных индексов, каждый из которых, в свою очередь, строится на основании ответов респондентов на отдельные вопросы анкеты. Частный индекс «Знания» отражает понимание человеком базовых свойств финансовых продуктов (вкладов и займов), инфляции, а также взаимосвязи риска и доходности. Частный индекс «Навыки» отражает умение человека принимать взвешенные финансовые решения в повседневной жизни. Частный индекс «Установки» отражает ориентацию человека на достижение долгосрочных финансовых целей, понимание необходимости соблюдения разумного баланса трат и сбережений. Индекс принимает значения от 1 (минимальный уровень) до 21 балла (максимальный уровень), где высокие баллы свидетельствуют о высоком уровне финансовой грамотности населения [Финансовая ... 2024].

Результаты и их обсуждение

Традиционные научные подходы к изучению социально-экономических систем, такие как институциональный, эволюционный, кластерный и пространственный, не всегда способны в полной мере учесть всю сложность взаимоотношений и условий функционирования экономических субъектов в современных условиях. Термин «экосистема» приобрел широкое распространение в различных науках и практике благодаря своей способности точно передавать идею сложной, многоуровневой и взаимосвязанной структуры, формирующей единое целое. Каждая область интерпретации отражает характерные черты собственной дисциплины, одновременно сохраняя фундаментальные признаки общего концептуального ядра.

В биологии и ботанике экосистема рассматривается как основная единица природы на Земле, представляющая собой систему, образованную живыми организмами и окружающей их средой. Концепция подчеркивает существование замкнутых циклов веществ и энергии, взаимозависимости видов и высокую чувствительность экосистем к внешним изменениям. В экологии термин «экосистема» означает взаимосвязанное сообщество организмов, которое взаимодействует как друг с другом, так и с окружающей средой. В педагогике и теории образования экосистема трактуется как комплексная система взаимосвязанных элементов образовательного процесса, работающих совместно для создания благоприятных условий

обучения и развития учащихся. Элементы системы подразумевают обучающихся, преподавателей, родителей, административные структуры, технологические средства и культурные контексты. Она направлена на создание оптимальных условий для полноценного личностного и профессионального становления учащегося, обеспечивая доступность качественных образовательных ресурсов и мотивацию к непрерывному развитию [Алексейчева, 2021].

Таблица 1
Table 1

Осмысление понятия «экосистема» в различных науках
Understanding the concept of ecosystem in different sciences

Область науки	Авторы концепции	Определение
Основоположники экосистемного подхода		
Биология и ботаника	Тэнсли А.Г. Мур Дж.Ф. и др.	Основная единица природы на поверхности Земли, это <i>система</i> , сформированная организмами <i>во взаимодействии</i> с окружающей средой
Экология	Геккель Э. и др.	Взаимосвязанное <i>сообщество</i> организмов, взаимодействующих друг с другом и окружающей средой
Социология	Хоули А.Х. и др.	Сложная сеть <i>отношений организаций</i> взаимозависимости в популяции
Экономика	Ротшильд М.Л. и др.	<i>Самоорганизация</i> процессов и результатов экономики
В междисциплинарном аспекте социология и экономика	Клейнер Г.Б. и др.	Локализованные комплексы <i>организаций</i> , бизнес-процессов, инновационных проектов и инфраструктурных образований, способные к длительному <i>самостоятельному функционированию</i> за счет кругооборота ресурсов, продуктов и систем
Современные взгляды учёных		
Педагогика и образование	Алексейчева Е.Ю., Розин В.М.	Обозначает <i>комплексную систему взаимосвязанных элементов</i> образовательного процесса, работающих совместно для создания благоприятных условий обучения и развития учащихся
Экономика	Третьякова Е.А., Фрейман Е.Н.	Взаимовыгодное (<i>симбиотическое</i>) <i>взаимодействие</i> описывают как форму кооперации, при которой обе стороны получают <i>пользу</i> от своего сотрудничества
	Макаров В.В., Шишкова А.С.	Сложная, <i>самоорганизующаяся система</i> , состоящая из объединения участников и имеющая общую цифровую платформу с набором собственных и партнерских сервисов
Экономика и бизнес	Титов И.А. и др.	<i>Комплекс взаимосвязанных организаций</i> , отраслей, технологий и <i>процессов</i> , функционирующих <i>вместе</i> для достижения общих целей и увеличения конкурентоспособности
Финансы	Мельникова Н.С. Быканова Н.И.	<i>Интегрированная среда</i> , объединяющая различных участников финансового рынка для совместного предоставления широкого спектра финансовых продуктов и услуг пользователям

В социологии термин «экосистема» используется метафорически, заимствуя концепцию из биологии и экологии. Применительно к социальным наукам эта аналогия помогает описать социальные структуры, процессы и институты, функционирующие совместно, влияющие друг на друга и формирующие условия для жизнедеятельности индивидов и групп [Третьякова,

Фрейман, 2022]. В экономике и бизнесе экосистема воспринимается как сложная структура, включающая предприятия, отрасли промышленности, потребителей, поставщиков, инвесторов и регулирующие органы. Центральная идея заключается в создании устойчивого окружения, способствующего повышению эффективности, инновациям и конкуренции, путём сбалансированных межфирменных связей [Титов, 2024]. В финансах термин описывает сложную структуру взаимосвязанных участников рынка, включая кредитные организации, страховщиков, брокеров, эмитентов ценных бумаг и регуляторов. Основная цель финансовой экосистемы состоит в удовлетворении потребностей конечных пользователей посредством предоставления разнообразного спектра услуг и снижения транзакционных издержек [Мельникова, Быканова, Комиссаров, 2025] (табл. 1).

Новая эпоха цифровизации вызывает необходимость разработки нового теоретико-методологического базиса, в качестве которого многими авторами, такими как В.М. Розин [Розин, 2021], Н.Ю. Титова, В.Е. Зиглина [Титова, Зиглина, 2021], Е.А. Третьякова, Е.Н. Фрейман [Третьякова, Фрейман, 2022.] и др., предлагается использовать экосистемный подход в исследованиях. Согласно И.А. Титову, экосистема представляет собой высокоразвитую и динамичную форму организации, включающую разнородных участников, основанную на ресурсообмене и эффективно решающую задачи устойчивого развития и цифровизации [Титов, 2024]. В статье В.М. Розина «Анализ условий реализации в России экосистемного подхода в экономике» рассматривается сущность и особенности экосистемного подхода [Розин, 2025]. Автор отмечает, что экосистемы «представляют собой объединения систем, способные гармонично взаимодействовать друг с другом». Экосистемы изучаются не только с точки зрения системного подхода, но и средового, принимая во внимание процессы «самоорганизации» и «рациональный симбиоз». Одной из важных черт является установление новых отношений с вышестоящими системами управления. В теоретическом аспекте автор определяет экосистемы как открытые саморазвивающиеся системы, чьи внешние рамки задаются государством. Понятие «экосистемы» учёные Е.А. Третьякова, Е.Н. Фрейман характеризуют как «динамичные самоорганизующиеся и саморазвивающиеся сложные системы, базирующиеся на взаимовыгодном (симбиотическом) взаимодействии акторов друг с другом и внешней средой, использовании общих ресурсов для совместного создания ценности» [Третьякова, Фрейман, 2022.]. Под акторами рассматривают субъекты, участвующие в экосистеме и играющие активную роль в её функционировании и развитии. В данном контексте речь идёт о компаниях, организациях, предпринимателях, потребителях, партнерах, поставщиках, регуляторах и прочих участниках, которые взаимодействуют друг с другом и внешней средой, используя общие ресурсы и стремясь к достижению общей выгоды и совместной ценности. Взаимовыгодное (симбиотическое) взаимодействие описывают как форму кооперации, при которой обе стороны получают пользу от своего сотрудничества. Симбиотическое взаимодействие создаёт прочную основу для устойчивого развития, увеличивает общую ценность и укрепляет доверие между участниками.

Независимо от конкретной сферы применения, любая экосистема характеризуется рядом ключевых свойств. *Самоорганизация* позволяет ей адаптироваться к внешним условиям и внутренним изменениям, способствуя развитию и саморегуляции. *Интеграция и взаимодействие* усиливают взаимосвязь элементов, повышая эффективность их совместной деятельности. *Устойчивость* обеспечивает сохранение функциональности и равновесия даже при воздействии извне. Наконец, *совместное создание ценностей* способствует обмену ресурсами, информацией и компетенциями среди участников, что значительно усиливает общий позитивный эффект от взаимодействия внутри экосистемы.

Исследуемое понятие «экосистема» помогает рассматривать явления и процессы как единую систему, облегчает их изучение, а также полезно для решения практических задач управления. Данный подход успешно применяется в самых различных областях, позволяя глубже осмысливать существующие реалии и строить эффективные планы действий.

Авторская позиция относительно понятия «экосистема финансовой грамотности молодёжи» представлена следующим образом: это сложная и динамичная структура, включающая совокупность симбиотических взаимоотношений взаимосвязанных субъектов (государство, бизнес, образовательные учреждения, семья, общественные организации), формальных и неформальных институтов, а также информационных-коммуникационных каналов, цель которых заключается в создании оптимальных условий для усвоения молодыми людьми базовых знаний и компетенций в области управления личными финансами, принятия обоснованных решений, планирования бюджета и защиты от финансовых рисков. Такая система направлена на достижение долгосрочной финансовой независимости и благополучия молодёжи, укрепление национальной экономики и поддержание социальной стабильности.

Идея формирования экосистемы финансовой грамотности молодёжи приобретает особую значимость в современном мире, характеризующемся динамичным развитием финансовых рынков, ростом числа доступных финансовых инструментов и распространением цифровых технологий. Сегодня молодые люди сталкиваются с множеством новых возможностей и рисков, связанных с кредитованием, инвестициями, страхованием и пенсионным обеспечением. Отсутствие необходимых знаний и навыков в области финансов может привести к серьезным последствиям, таким как накопление долгов, потеря капитала и финансовые трудности. В связи с этим особое значение приобретает реализация Стратегии повышения финансовой грамотности и формирования финансовой культуры до 2030 года, предусматривающая углубленное изучение и целенаправленную работу по формированию полноценной финансовой экосистемы для молодёжи [Стратегия..., 2023].

По результатам опроса, проведенного Институтом Фонда «Общественное мнение» (инФОМ) в 2024 году, в ходе которого «было опрошено 3000 взрослых россиян старше 18 лет и дополнительно 1000 молодых людей в возрасте от 14 до 22 лет., география исследования охватила около 207 населенных пунктов (города и села) большинства регионов Российской Федерации» [Исследование ... 2024], следует, что российский индекс финансовой грамотности в 2024 году вырос до 54 баллов из 100 возможных и достиг своего максимума за время измерений (рис. 1). Его рост произошел за счет увеличения значений субиндексов, отражающих знания, установки и элементы финансово грамотного поведения россиян. Отмечено, что уровень финансовой грамотности в российском обществе неоднороден и различается в зависимости от возраста, уровня образования и доходов и даже типа поселения.

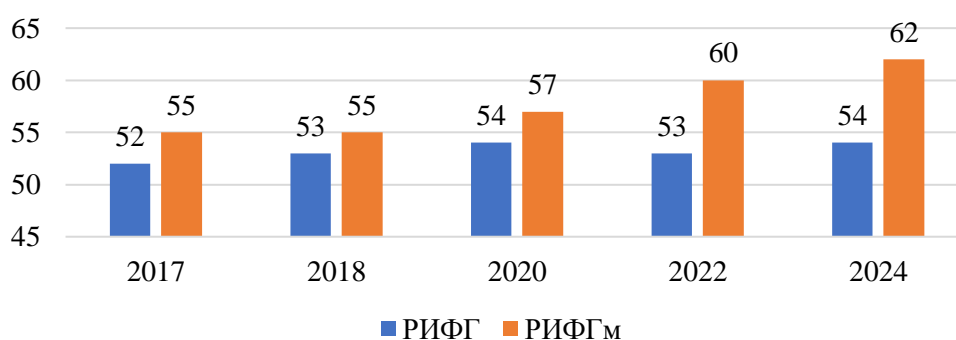


Рис. 1. Динамика изменения российского индекса финансовой грамотности населения (РИФГ) и российского индекса финансовой грамотности молодёжи (РИФГм) в 2017–2024 гг., баллы
Fig. 1. Dynamics of changes in the Russian Index of Financial Literacy of the Population (RIFG) and the Russian Index of Financial Literacy of Youth (RIFGm) in 2017–2024, points

У российских школьников и молодых людей 14–22 лет уровень финансовой грамотности растет более высокими темпами, нежели у взрослых. Так, российский индекс финансовой грамотности молодежи (РИФГм) вырос с 55 баллов в 2017 году до 62 баллов в 2024 году, что свидетельствует о том, что молодежь улучшила понимание инфляции, диверсификации,

правил защиты банковской карты и сути ссудного процента, однако слегка снизились навыки расчета простых процентов. Молодые люди демонстрируют большую финансовую сознательность: планируют бюджет, формируют сбережения (61 %), принимают ответственность за свое материальное положение и внимательно выбирают финансовые услуги. За последние годы выросло число молодых пользователей дебетовых карт (с 12 % до 56 %). Многие начинают пользоваться финансовыми услугами, уже имея достаточную базу знаний и полезных привычек [Исследование ... 2024].

Всероссийский репрезентативный опрос Аналитического центра НАФИ, в ходе которого были опрошены 1600 человек 18 лет и старше по полу, возрасту, уровню образования и типу населенного пункта показал, что индекс финансовой грамотности россиян в 2024 году составил 12,77 балла из возможных 21. До 2022 года наблюдался рост показателя, однако за последние два года значение индекса существенно не изменилось. Итоги расчета индекса финансовой грамотности представлены на рис. 2 и 3 [Финансовая ... 2024].

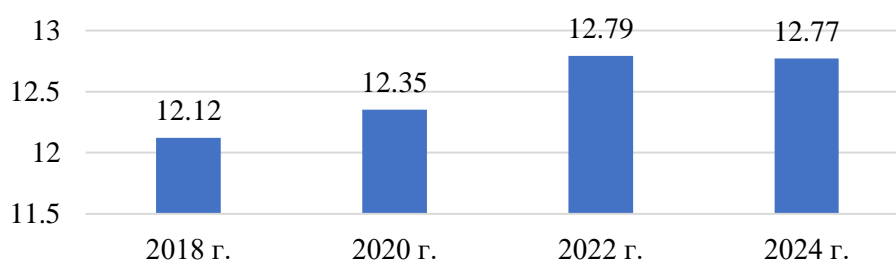


Рис. 2. Динамика российского индекса финансовой грамотности населения по данным НАФИ в 2018–2024 гг., баллы

Fig. 2. Dynamics of the Russian index of financial literacy of the population according to NAFI data in 2018–2024, points

На основе значений индекса финансовая грамотность населения разделена на три категории: высокий, средний и низкий уровень. В течение шести лет исследований отмечается постепенное увеличение доли граждан с высоким уровнем финансовой грамотности и уменьшение числа россиян с низкими показателями. Это указывает на устойчивый прогресс в области финансовых знаний и навыков среди населения (см. рис. 3.).

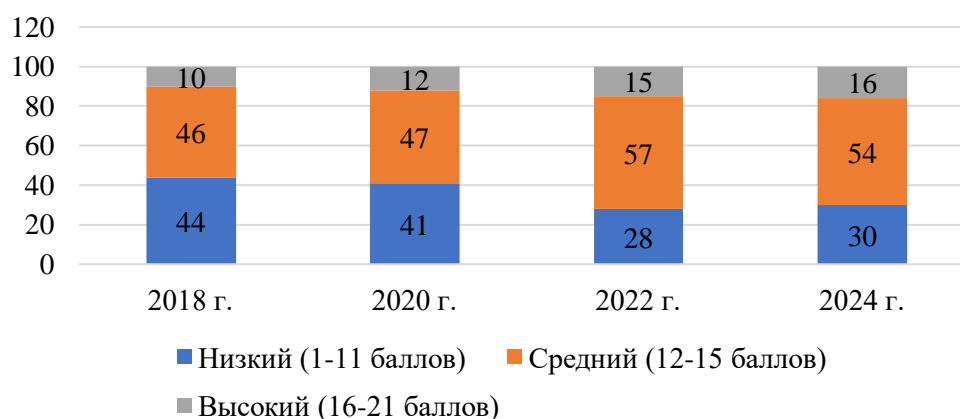


Рис. 3. Доля россиян, имеющих разный уровень финансовой грамотности в 2018–2024 гг., %

Fig. 3. The share of Russians with different levels of financial literacy in 2018–2024, %

Данные исследования позволяют изучить стратегии финансового поведения населения, оценить его устойчивость, диагностировать проблемные зоны. Авторами на основе анализа научной литературы, опубликованных статистических данных Банком России статистических

данных [Исследование ... 2024] и социологических исследований НАФИ [Финансовая ... 2024] были определены ключевые предпосылки для формирования финансовой грамотности молодежи, что позволит сформировать полноценную экосистему (рис. 4).



Рис. 4. Ключевые предпосылки формирования экосистемы финансовой грамотности молодёжи
Fig. 4. Key prerequisites for the formation of a financial literacy ecosystem for young people

Ключевыми предпосылками формирования экосистемы финансовой культуры молодежи выступают переход к цифровой экономике, усиливающий потребность в финансовой грамотности ввиду широкого использования электронных платежей, онлайн-кредитов и банковских приложений; изменение модели занятости, повышающее личную ответственность за доходы и расходы вследствие распространения фриланса и удалённой работы; информационная перегрузка, вызванная избытком доступной финансовой информации в Интернете и соцсетях, что требует развитого критического мышления и умения отличать достоверные данные от ложных; возрастание финансовых рисков и неопределённости, обусловленных высокой рыночной волатильностью, инфляцией и колебаниями валютных курсов; разрыв традиционных форматов обучения, неспособных своевременно отвечать на запросы реальной жизни и компенсировать нехватку актуальных знаний; усиление индивидуального участия в принятии финансовых решений, связанное с уменьшением государственного регулирования и растущим спросом на осознанные инвестиции, страхование и пенсионные накопления.

Основные принципы экосистемного подхода при формировании экосистемы финансовой грамотности молодежи представлены на рис. 5. Принципы экосистемы финансовой грамотности молодежи включают: целостность (учет всех факторов, влияющих на финансовую грамотность); устойчивость (способность системы поддерживать стабильность в условиях постоянных изменений); синергизм (совместные усилия различных субъектов – семьи, школ, государства, банков и работодателей); баланс (гармония интересов всех участников); адаптивность (быстрая реакция на новые вызовы и возможности). Эти принципы формируют надежную систему, необходимую для успешного развития финансовой культуры молодого поколения в динамично меняющемся мире.

Авторское видение экосистемы финансовой грамотности, представленное на рис. 6, предполагает создание сложной среды и ее взаимосвязанных компонентов – субъектов, объектов, цифровых технологий, социальных факторов, направленных на повышение уровня финансовой грамотности молодых людей.

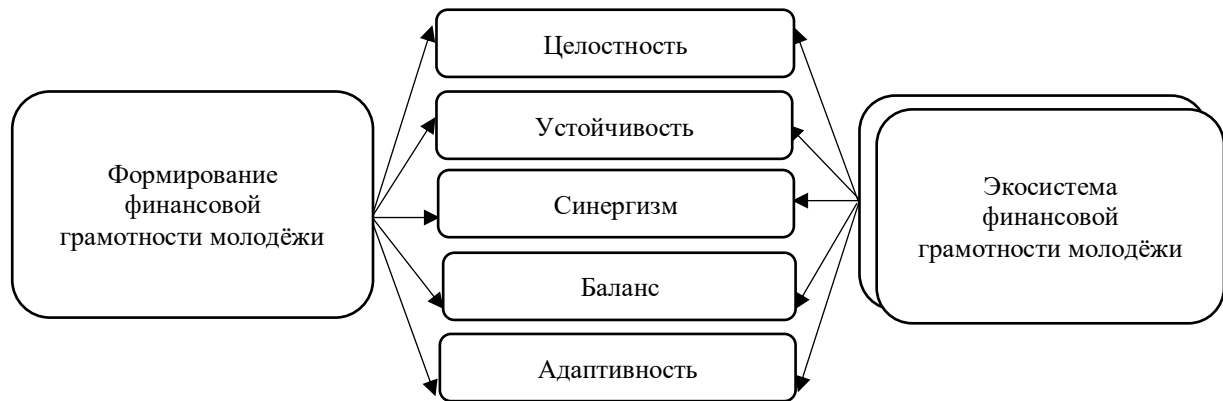


Рис. 5. Принципы экосистемного подхода при формировании финансовой грамотности молодёжи
Fig. 5. Principles of an ecosystem approach to developing financial literacy among young people

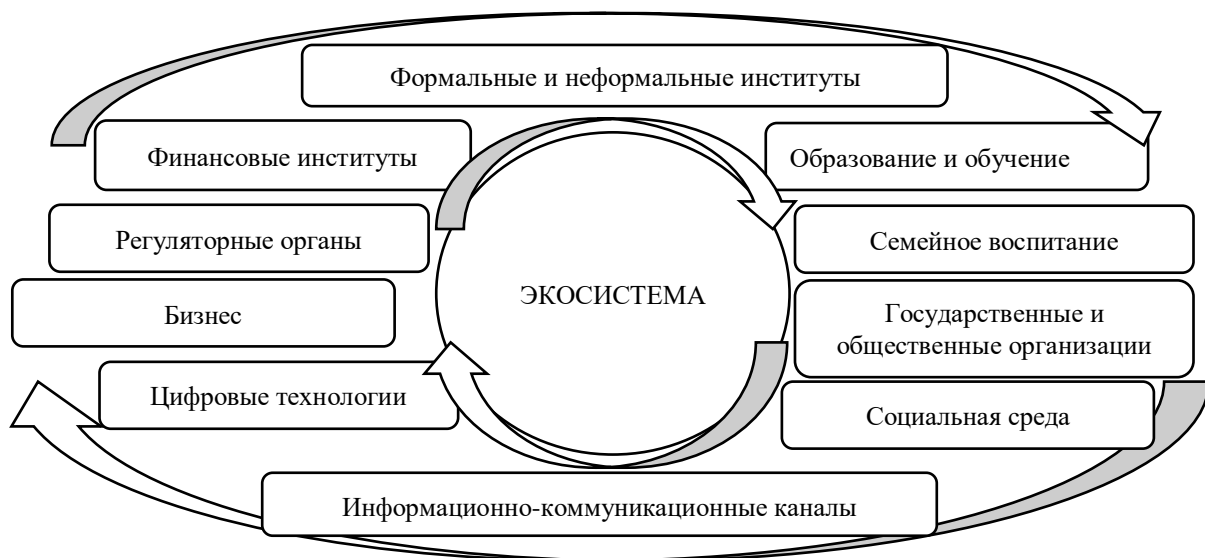


Рис. 6. Ключевые компоненты экосистемы финансовой грамотности молодёжи
Fig. 6. Key components of a youth financial literacy ecosystem

Так, образование и обучение занимают центральное место в процессе формирования финансовой грамотности молодого поколения. Разнообразные программы и курсы, организованные образовательными учреждениями разного уровня, такими как школы, колледжи и университеты, а также специализированными ассоциациями, предоставляют возможность молодым людям получать необходимые знания и развивать важные компетенции в сфере финансов, инвестиций, кредитования и сбережений. Именно благодаря таким инициативам молодые граждане получают возможность овладеть основополагающими знаниями о принципах ведения личного бюджета, особенностями планирования будущих вложений, правильном управлении долгами и принятии разумных инвестиционных решений. Это помогает формировать уверенное поведение в сложных экономических ситуациях, выбирать подходящие продукты и услуги на рынке финансовых услуг, избегать необоснованных долгов и улучшать свое материальное положение. Таким образом, подобные образовательные проекты способствуют подготовке компетентных потребителей финансовых услуг, готовых принимать осознанные и экономически выгодные решения.

Социальная и семейная среда оказывают значительное влияние на формирование финансовых привычек и установок молодежи. Значительную роль играет именно семейный уклад воспитания, поскольку дети перенимают от родителей модели поведения относительно

денег, сбережений и потребления. Отношения внутри семьи задают определенный вектор отношения к заработанным средствам: бережливость, готовность планировать бюджет, умение экономить либо привычка тратить больше, чем зарабатываешь. Молодежь часто принимает ценности и привычки, распространенные среди сверстников и значимых фигур своего окружения. Друзья, знакомые и лидеры общественного мнения нередко формируют у молодых людей представления о том, как обращаться с деньгами: копить или тратить, инвестировать или немедленно удовлетворять потребности. Важную роль тут играют культурные традиции и общественное мнение, которые закрепляют отношение к финансам в сознании каждого нового поколения. Культурные и социальные нормы также играют важную роль в восприятии финансовых вопросов. В ряде случаев традиция наследования богатства или обязательства поддерживать членов семьи определяют подходы к распределению денежных средств и влиянию на личные финансы.

Различные информационно-коммуникационные каналы активно применяются для повышения финансовой грамотности молодых людей. Наиболее эффективными способами передачи знаний и формирования компетенций в финансовой сфере остаются: образовательные программы и дополнительные занятия в школах, колледжах и высших учебных заведениях. Информационные ресурсы должны обеспечивать доступ к актуальной и достоверной информации о финансах. К ним относятся онлайн-ресурсы и социальные сети, блоги экспертов, массмедиа и печатные издания, мобильные приложения и игры, семинары, конференции и форумы. Эти ресурсы помогают молодежи получать знания и советы по управлению личными финансами, инвестированию и защите от финансовых рисков.

Значимую роль в развитии финансовой грамотности выполняют государственные и общественные организации. Такими организациями могут выступать центры финансовой грамотности, некоммерческие организации и фонды, а также государственные программы и инициативы. Эти структуры разрабатывают и реализуют образовательные проекты, проводят просветительские кампании, обеспечивают поддержку молодежи в вопросах финансов.

Финансово-кредитные институты выполняют двойную функцию: помимо традиционного набора услуг, таких как открытие счетов, предоставление займов, страхования и инвестиционной деятельности, они также несут ответственность за просвещение и информирование не только молодежи, но и всего населения, распространяя знания о финансовых услугах и прививая правильные финансовые привычки. Эти участники финансового рынка осуществляют образовательные программы, публикуют полезные материалы, проводят бесплатные семинары и вебинары, вводят специальные предложения для молодежи, а также улучшают доступность цифровых сервисов, что способствует повышению финансовой грамотности населения и снижает вероятность ошибок при обращении с деньгами.

Центральный Банк и другие регуляторные органы играют ключевую роль в разработке нормативно-правовых документов и программ, нацеленных на защиту прав потребителей финансовых услуг и повышение уровня финансовой грамотности. Они контролируют работу финансовых институтов, обеспечивая безопасность и прозрачность финансовой сферы, а также формируют долгосрочные стратегии её развития. Цифровые технологии играют всё более важную роль в экосистеме финансовой грамотности. Платформы для онлайн-банкинга, финтех-стартапы и инновационные финансовые сервисы предоставляют удобные инструменты для управления финансами. Эти технологии делают финансовые услуги доступными и понятными для молодежи.

Создание полноценной экосистемы финансовой грамотности предполагает интеграцию образовательных программ, консультационных служб, государственных инициатив и частных проектов, направленных на повышение уровня финансовой грамотности молодежи. Важно не только научить молодых людей основным принципам управления деньгами, но и сформировать устойчивое отношение к риску, понимание важности долгосрочного планирования и осознанного подхода к принятию финансовых решений. Такая экосистема должна включать интерактивные образовательные курсы, практические занятия, консультации профессиональных экспертов и доступные инструменты анализа и оценки финансовых продуктов.

Кроме того, формирование экосистемы финансовой грамотности имеет важное значение для государства, поскольку экономически грамотное молодое поколение способно внести значительный вклад в развитие экономики, снижение социальной напряженности и укрепление финансовой устойчивости общества. Государственные органы совместно с образовательными учреждениями и бизнесом могут разработать комплекс мероприятий, направленных на популяризацию финансовой грамотности, создание доступной инфраструктуры поддержки и стимулирование интереса молодежи к изучению вопросов финансов.

Заключение

Экосистема финансовой грамотности молодежи важна для устойчивого развития общества и государства. Традиционных научных подходов недостаточно для учета всей сложности взаимоотношений и условий функционирования экономических субъектов в современных условиях. Требуется новый теоретико-методологический базис, который обеспечит всестороннее рассмотрение вопроса. Влияние цифровизации на финансовую грамотность молодежи усиливается, особенно с учетом активного использования электронных платежей, онлайн-кредитов и банковских приложений. Образование и обучение являются ключевыми элементами формирования финансовой грамотности молодежи. Необходимы специальные учебные программы, практические занятия и консультации профессионалов. Информационные ресурсы, включая интернет-ресурсы, блоги экспертов и социальные сети, становятся важными источниками финансовой информации и советов для молодежи. Взаимодействие между различными акторами, такими как государство, образовательные учреждения и семья, финансовые институты, бизнес, способствует созданию эффективной экосистемы финансовой грамотности.

Таким образом, создание полноценной экосистемы финансовой грамотности представляет собой важный шаг к обеспечению устойчивого развития и благосостояния молодого поколения в условиях глобализации и цифровизации. Это интегрированное пространство взаимодействия образовательных, государственных, коммерческих и общественных институтов будет обеспечивать непрерывное приобретение, освоение и применение знаний, навыков и ценностей, связанных с управлением личными финансами. Представленная экосистема объединяет разные каналы передачи финансовой информации и практического опыта, формирует полезные финансовые привычки и навыки принятия взвешенных решений, снижает риски и готовит новое поколение к успешному участию в современной экономике и построению личного благополучия.

Список источников

- Стратегия повышения финансовой грамотности и формирования финансовой культуры до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 24.10.2023. № 2958-р. URL: http://government.ru/dep_news/49904/
- Ваганова О.В., Быканова Н.И., Сапрыкина Т.В., Пашкова Е.Н. 2022. Основы финансовой грамотности. Учебник для самостоятельной и аудиторной работы. – Белгород: ИД «БелГУ», 164 с.
- Исследование уровня финансовой грамотности: пятый этап. 2024. URL: https://cbr.ru/analytics/szpp/fin_literacy/research/fin_ed_5/
- Финансовая грамотность россиян – 2024. 2024. Результаты ежегодного всероссийского социологического мониторинга, Москва. URL: <https://nafi.ru/upload/iblock/9bd/9bd4081a5c55f503ab6610296892ed2a.pdf?ysclid=mlnh6c9sje312868653>

Список литературы

- Антонова М.В. 2025. Оценка уровня финансовой грамотности населения: разработка и апробация авторской методики. *Экономика. Информатика*, 52(4):825–836.
- Акопов С.Э., Самыгин С.И. 2025. Финансовая грамотность в эпоху цифровизации. *Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки*, 8. URL:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/finansovaya-gramotnost-v-epohu-tsifrovizatsii> (дата обращения: 11.02.2026).
- Алексейчева Е.Ю. 2021. Экосистемный подход к формированию финансовой грамотности: практика взаимодействия. Непрерывное образование в контексте Будущего: сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции, Москва, 21–22 апреля 2021 года. – Москва: Московский городской педагогический университет, Общество с ограниченной ответственностью «А-Приор», 69–76.
- Быканова Н.И., Соловей Ю.А., Гордя Д.В., Коньшина Л.А. 2020. Формирование экосистем банков в условиях цифровизации банковского пространства. Экономика. Информатика, 47(1): 91–100. <https://doi.org/10.18413/2687-0932-2020-47-1-91-100>
- Гусейнова Г.М. Коровянская Д.С. 2024. Проблемы и перспективы повышения финансовой грамотности и формирования финансовой культуры студентов. Социально-экономические процессы современного общества: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 08 октября 2024 года. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 55–60.
- Карловская Е.А. Лысов П.Г. 2022. Межвузовский кампус как инновационный центр развития города. Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий: материалы Международной научно-практической конференции, Хабаровск, 30 апреля 2022 года. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 195–198.
- Катаева В.А., Мазунина С.В., Масалкина В.Р. 2019. Анализ дифференциации уровня финансовой грамотности студентов (на примере студентов I курса экономического факультета ПГНИУ). Пермский финансовый журнал, 2(21): 147–165.
- Лазутина Д.В., Портняга Е.М. 2023. Концепции финансовой грамотности в современном мире: границы и перспективы. Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования, 9, 3: 43–67.
- Маслов Ю.Н., Мамий С.А. 2022. Факторы, влияющие на финансовую грамотность студентов. Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 4-4(67): 92–94.
- Макаров В.В., Шишкова А.С. 2025. Современные экосистемы как результат эволюции концепции экосистем и цифровой трансформации экономики. Экономика и качество систем связи, 4, 38: 4–17.
- Мельникова Н.С., Быканова Н.И., Комиссаров И.Д. 2025. Сравнительный анализ традиционного и современного понимания экосистемы с акцентом на FinTech. Вектор экономики, 6(108). https://vectoreconomy.ru/images/publications/2025/6/financeandcredit/Melnikova_Bykanova_Komisa gov.pdf (дата обращения: 11.02.2026).
- Пашкова Е.Н. 2024. Развитие финансовой культуры в страховой сфере. Финансовое просвещение: Сборник материалов XXII Всероссийской научно-практической онлайн-конференции по финансовому просвещению в России, Москва, 26–28 марта 2024 года. – Москва: Ассоциация развития финансовой грамотности, 42–49.
- Пашкова Е.Н. 2025. Теоретические подходы к определению понятия «финансовая культура» населения. Экономико-управленческий конгресс: сборник научных работ по итогам международного комплексного мероприятия, Белгород, 05–08 ноября 2024 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 426–430.
- Розин В.М. 2021. Экосистемный подход в образовании. Культура культуры, 4(8). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47317510> (дата обращения: 14.01.2026).
- Розин В.М. 2025. Анализ условий реализации в России экосистемного подхода в экономике. Философская мысль, 1. DOI: 10.25136/2409-8728.2025.1.72230 EDN: QZJHMGURL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72230 (дата обращения: 11.02.2026).
- Сапрыкина Т.В. 2024. Формирование финансовой грамотности: налоговая грамотность. Финансовое просвещение: Сборник материалов XXII Всероссийской научно-практической онлайн-конференции по финансовому просвещению в России, Москва, 26–28 марта 2024 года. Москва: Ассоциация развития финансовой грамотности, 49–57.
- Сапрыкина Т.В., Семенова Д.Е. 2024. Формирование финансовой культуры населения: проблемы и их решения. Актуальные проблемы развития экономических, финансовых и кредитных систем: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Белгород, 18–19 сентября 2024 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 81–86.

- Сапрыкина Т.В., Ковтун Д.А., Мозговая А.А. 2024. Повышение финансовой грамотности населения в сфере налогообложения. *Russian Economic Bulletin*, 7, 2: 115–120. DOI: 10.58224/2658-5286-2024-7-2-115-120
- Семенова Н.А., Абрамова А.А. 2023. Оценка уровня финансовой грамотности Белгородской области. *Вестник науки*, 12(69). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-urovnya-finansovoy-gramotnosti-belgorodskoy-oblasti> (дата обращения: 10.02.2026).
- Семенова Н.А. 2024. Развитие финансовой грамотности студентов: актуальная проблема и пути решения. Финансовое просвещение: XXI Всероссийская научно-практическая конференция по финансовому просвещению в России. Сборник материалов, Москва, 05–07 декабря 2023 года. Москва: Ассоциация развития финансовой грамотности, 73–77.
- Титова Н.Ю., Зиглина В.Е. 2021. Различия и сходства понятий «промышленные кластеры» и «промышленные экосистемы». *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*, 3: 7–16.
- Титов И.А. 2024. Теоретические подходы к развитию концепции экосистемы в экономике. *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 4: 26–46. DOI: 10.52180/2073-6487_2024_4_26_46
- Третьякова Е.А., Фрейман Е.Н. 2022. Экосистемный подход в современных экономических исследованиях. *Вопросы управления*, 1: 6–20. DOI: 10.22394/2304-3369-2022-1-6-20

References

- Antonova M. V. 2025. Assessing the Financial Literacy of the Population: Development and Testing of the Author's Methodology. *Economics. Information Technologies*, 52(4): 825–836 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2025-52-4-825-836>
- Akopov S.E., Samygin S.I. 2025. Financial literacy in the age of digitalization. *Humanities, social-economic and social sciences*, 8 (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/finansovaya-gramotnost-v-epohu-tsifrovizatsii> (access date: 11.02.2026).
- Aleksejcheva E.Yu. 2021. Ecosystem approach to the formation of financial literacy: the practice of interaction. Nepreryvnoe obrazovanie v kontekste Budushhego: Sbornik nauchnyx statej po materialam IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 21–22 aprelya 2021 goda. Moskva: Moskovskij gorodskoj pedagogicheskij universitet, Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu A-Prior, 69–76.
- Bykanova N., Solovey J., Gordya D., Konshina L. 2020. Formation of banks ecosystems in conditions of digitalization of banking space. *Economics. Information Technologies*, 47(1): 91–100 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2687-0932-2020-47-1-91-100>
- Gusejnova G.M., Korovyanskaya D.S. 2024. Problemy i perspektivy pov`sheniya finansovoj gramotnosti i formirovaniya finansovoj kul`tury studentov [Problems and Prospects of Improving Financial Literacy and Forming a Financial Culture among Students]. Socialno-ekonomicheskie processy sovremennogo obshhestva : materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Cheboksary, 08 oktyabrya 2024 goda. Cheboksary: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu «Izdatel'skij dom «Sreda», 55–60.
- Karlovskaya E.A., Lysov P.G. 2022. Interuniversity campus as an innovative center for city development. Sovremennye problemy ekonomicheskogo razvitiya predpriyatij, otraslej, kompleksov, territorij : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Xabarovsk, 30 aprelya 2022 goda. Xabarovsk: Tixookeanskij gosudarstvennyj universitet, 195–198.
- Kataeva V.A., Mazunina S.V., Masalkina V.R. 2019. Analysis of the differentiation of the level of financial literacy of students (on the example of first-year students of the Faculty of Economics of PSU). *Perm Financial Review*, 2 (21): 147–165 (in Russian).
- Lazutina D.V., Portnyaga E. M. 2023. Financial literacy analysis: a comprehensive study. Tyumen State University Herald. *Social, Economic, and Law Research*, 9(3): 43–67 (in Russian). <https://doi.org/10.21684/2411-7897-2023-9-3-43-67>
- Maslov Yu.N., Mamij S.A. 2022. Factors affecting students' financial literacy. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 4-4 (67): 92–94 (in Russian). DOI:10.24412/2500-1000-2022-4-4-92-94
- Makarov V.V., Shishkova A.S. 2025. Modern ecosystems as a result of development of ecosystem concept and digital transformation of the economy. *E`konomika i kachestvo sistem svyazi*, 4, 38: 4–17. (in Russian)

- Melnikova N.S., Bykanova N.I., Komissarov I.D. 2025. Comparative analysis of traditional and modern understanding of ecosystem, with emphasis on fintech. *Vector economy*, 6(108) (in Russian). https://vectoreconomy.ru/images/publications/2025/6/financeandcredit/Melnikova_Bykanova_Komissarov.pdf (access date: 11.02.2026).
- Pashkova E.N. 2024. Razvitie finansovoj kul'tury` v straxovoj sfere [Development of financial culture in the insurance sector]. *Finansovoe prosveshhenie : Sbornik materialov XXII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi onlajn-konferencii po finansovomu prosveshheniyu v Rossii*, Moskva, 26–28 marta 2024 goda. Moskva: Associaciya razvitiya finansovoj gramotnosti, 42–49.
- Pashkova E.N. 2025. Teoreticheskie podhody` k opredeleniyu ponyatiya «finansovaya kul'tura naseleniya» [Theoretical approaches to defining the concept of "financial culture" among the population]. *E'konomiko-upravlencheskij kongress : sbornik nauchny`x rabot po itogam mezhdunarodnogo kompleksnogo meropriyatiya*, Belgorod, 05–08 noyabrya 2024 goda. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvenny`j nacional'ny`j issledovatel'skij universitet, 426–430.
- Rozin V.M. 2021. Ecosystem approach in education. *Kul'tura kul'tury`*, 4(8) (in Russian). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47317510> (access date: 14.01.2026).
- Rozin V.M. 2025. Analysis of the conditions for the implementation of the ecosystem approach in the economy in Russia. *Filosofskaya mysl'*, 1 (in Russian). DOI: 10.25136/2409-8728.2025.1.72230 EDN: QZJHMGURL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72230 (access date: 11.02.2026).
- Saprykina T.V. 2024. Building financial literacy in the family: tax literacy. *Finansovoe prosveshhenie: Sbornik materialov XXII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi onlajn-konferencii po finansovomu prosveshheniyu v Rossii*, Moskva, 26–28 marta 2024 goda. – Moskva: Associaciya razvitiya finansovoj gramotnosti, 49–57.
- Saprykina T.V., Semenova D.E. 2024. Formation of the financial culture of the population: problems and their solution. *Aktual'ny`e problemy` razvitiya e'konomicheskix, finansovy`x i kreditny`x sistem : Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii*, Belgorod, 18–19 sentyabrya 2024 goda. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvenny`j nacional'ny`j issledovatel'skij universitet, 81–86.
- Saprykina T.V., Kovtun D.A., Mozgovaya A.A. 2024. Improving the financial literacy of the population in the field of taxation. *Russian Economic Bulletin*, 7 (2): 115–120 (in Russian). DOI: 10.58224/2658-5286-2024-7-2-115-120
- Semenova N.A., Abramova A.A. 2023. Assessment of level of financial literacy in Belgorod region. *Vestnik nauki*, 12(69) (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-urovnya-finansovoy-gramotnosti-belgorodskoy-oblasti> (access date: 10.02.2026).
- Semenova N.A. 2024. Razvitie finansovoj gramotnosti studentov: aktual'naya problema i puti resheniya [Development of financial literacy of students: current problem and solutions]. *Finansovoe prosveshhenie : XXI Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya po finansovomu prosveshheniyu v Rossii*. Sbornik materialov, Moskva, 05-07 dekabrya 2023 goda. Moskva: Associaciya razvitiya finansovoj gramotnosti, 73–77.
- Titova N. Yu., Ziglina V. E. 2021. Differences and similarities of concepts of industrial clusters and industrial ecosystems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*, 3: 7–16 (in Russian). DOI: 10.24143/2073-5537-2021-3-7-16.
- Titov I.A. 2024. The theoretical approaches to the development of ecosystem concept in economy. *The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*, 4: 26–46 (in Russian). DOI: 10.52180/2073-6487_2024_4_26_46
- Tretiakova E.A., Freyman E.N. 2022. Ecosystem approach in modern economic research. *Management Issues*, 1: 6–20 (in Russian). DOI: 10.22394/2304-3369-2022-1-6-20

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 14.02.2026

Поступила после рецензирования 28.02.2026

Принята к публикации 05.03.2026

Received February 14, 2026

Revised February 28, 2026

Accepted March 05, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пашкова Елена Николаевна, старший преподаватель кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

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

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena N. Pashkova, Senior Lecturer of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

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

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION

УДК 004.8:343.721

DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-111-121

EDN ITSPKU

Применение методов машинного обучения для выявления мошенничества в банковских транзакциях

Хамитов Р.М., Куценко С.М., Салтанаева Е.А.

Казанский государственный энергетический университет,
Россия, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
hamitov@gmail.com, s.koutsenko@mail.ru, elena_maister@mail.ru

Аннотация. Статья затрагивает связь массового распространения интеллектуальных технологий и увеличения количества возможных противоправных действий с их использованием. Рассматривается разработка и анализ методов машинного обучения для выявления мошеннических транзакций в финансовой сфере. Актуальность темы обусловлена постоянной эволюцией мошеннических схем, что требует применения инновационных технологий для обеспечения финансовой безопасности. В работе рассматриваются современные подходы к обработке данных, масштабирование и устранение асимметрии данных. Исследование охватывает обучение моделей с использованием четырех алгоритмов: логистической регрессии, дерева решений, метода случайного леса и градиентного спуска. Для оценки качества модели была использована метрика ROC-AUC, а также такие характеристики, как точность, полнота и F1-мера. Лучшие результаты показала модель логистической регрессии, достигнув значения ROC-AUC 0,975 на тестовом наборе данных. Результаты работы подчеркивают практическую ценность моделей машинного обучения как надежного инструмента для минимизации рисков, связанных с мошенническими транзакциями.

Ключевые слова: мошеннические транзакции, интеллектуальные системы, методы машинного обучения, точность модели, эффективность алгоритма, кросс-валидация

Для цитирования: Хамитов Р.М., Куценко С.М., Салтанаева Е.А. 2026. Применение методов машинного обучения для выявления мошенничества в банковских транзакциях. *Экономика. Информатика*, 53(1): 111–121. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-111-121. EDN ITSPKU

Application of Machine Learning Methods to Detect Fraud in Bank Transactions

Renat M. Khamitov, Svetlana M. Kutsenko, Elena A. Saltanaeva

Kazan State Power Engineering University,
51 Krasnoselskaya St., Kazan 420066, Tatarstan, Russia
hamitov@gmail.com, s.koutsenko@mail.ru, elena_maister@mail.ru

Abstract. The article touches on the connection between the mass distribution of intellectual technologies and their possible increased use in illegal actions. The authors focus on development and analysis of machine learning methods for detecting fraudulent transactions in the financial sector. The relevance of the topic is explained by the ongoing evolution of fraudulent schemes, which requires innovative technologies to be

© Хамитов Р.М., Куценко С.М., Салтанаева Е.А., 2026



applied for ensuring financial security. The paper considers modern approaches to data processing, scaling and elimination of data asymmetry. The study covers model training using four algorithms: logistic regression, decision tree, random forest method, and gradient descent. To assess the quality of the model, the ROC-AUC metric was used, as well as characteristics such as accuracy, completeness and F1 measure. The logistic regression model performed best, achieving a ROC-AUC value of 0.975 on the test dataset. The results of the work highlight the practical value of machine learning models as a reliable tool for minimizing the risks associated with fraudulent transactions.

Keywords: fraudulent transactions, intelligent systems, machine learning methods, model accuracy, algorithm efficiency, cross-validation

For citation: Khamitov R.M., Kutsenko S.M., Saltanaeva E.A. 2026. Application of Machine Learning Methods to Detect Fraud in Bank Transactions. *Economics. Information technologies*, 53(1): 111–121 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-111-121. EDN ITSPKU

Введение

В настоящее время использование интеллектуальных технологий и систем приобретает статус неотъемлемой части во всех сферах как деятельности государства, так и жизни каждого отдельного гражданина. К сожалению, при массовом внедрении и использовании новых интеллектуальных технологий с их помощью злоумышленниками совершаются также и противоправные действия, требующие противодействия. Наиболее часто подвергается атакам финансовая сфера.

Мошенничество в банковском секторе имеет давнюю историю, начиная с формирования первых банковских учреждений. Ситуацию усугубляет возможность использования развитых интеллектуальных технологий также и злоумышленниками для реализации мошеннических схем. Мошенничество, связанное с транзакциями в финансовой сфере, подрывает доверие к финансовой системе государства в целом. В виду того, что схемы мошенничества модернизируются, усложняются и совершенствуются постоянно, требуется непрерывное улучшение методов борьбы с ними для обеспечения финансовой безопасности. На сегодняшний день существуют различные технологии, способные определять мошеннические транзакции и предотвращать их проведение [Omolara et al., 2024; Ioffe, 2024; Хлобыстова, Абрамов, 2024]. К таким технологиям можно отнести: анализ больших данных; биометрические технологии; многофакторную аутентификацию; системы оценки риска в реальном времени; машинное обучение. Технологию Big Data для определения мошеннических операций использует малая часть банков России, в частности, Т-Банк и Сбербанк, поскольку технология требует значительных ресурсов и вычислительных мощностей, а также внимательного подхода к защите данных и управлению системами. Использование биометрии в рамках безопасности для определения мошеннической транзакции продемонстрировал Почта Банк. В банковской сфере многофакторная аутентификация, как и биометрическая технология, используется в совокупности с другими методами определения мошеннических транзакций. Определение мошеннических транзакций с помощью методов машинного обучения становится главным вызовом в защите интересов не только клиентов, но и компаний [Zhu, Zhou, 2023; Ye, 2023; Chio, 2020; Wang et al., 2023]. Платформа FICO Falcon Fraud Manager является мощным инструментом для решения задач организации по обнаружению мошенничества при транзакциях [ICO Falcon Fraud Manager]. Однако многие крупные банковские и финансовые учреждения стремятся к созданию собственной системы определения мошенничества, используя передовые технологии, в частности методы машинного обучения [Мартин, 2022]. Определение мошеннических транзакций методами машинного обучения имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами, основанными на правилах: точность; скорость; эффективность [Аскарлов, Хамитов, 2024]. Точность методов машинного обучения намного выше в виду того, что они не ограничены определенными правилами и условиями, наоборот, алгоритмы

пытаются найти сходства в случаях мошенничества и выстроить общую закономерность [Траск, 2022]. Время определения мошенничества методами машинного обучения сокращается за счет увеличения количества транзакций, поскольку модели машинного обучения самообучаются эффективнее, позволяя находить более нестандартные и менее связанные случаи мошенничества.

Целью работы было подготовить, обучить и проанализировать модель определения мошеннических транзакций, способную эффективно выявлять аномалии и предотвращать мошенничество в банковских транзакциях.

Объект и методы исследования

Инструментами разработки были выбраны язык программирования Python и среда разработки Google Colab, способные обеспечить эффективность, масштабируемость и гибкость. Интеграция Google Colab и Python позволяет эффективно решать задачи, связанные с машинным обучением, обрабатывать большие массивы данных и легко масштабировать проекты, что является ключевыми требованиями для разрабатываемой модели [Марченко, 2023; Madani, 2023; Yuxi, 2020]. Облачная среда Google Colab основана на платформе Jupyter Notebook Framework, что делает ее удобным инструментом для работы с Data science и машинным обучением. Выбранными библиотеками в Colab стали предустановленные библиотеки, такие как Tensorflow, PyTorch, Keras, Sklearn [Орельен, 2020]. Colab подходит для машинного обучения и анализа данных, предоставляя пользователям бесплатный доступ к мощным вычислительным ресурсам, таким как GPU (графический процессор) и TPU (тензорный процессор), необходимым для быстрого и эффективного обучения [Григорьев, 2023; Kelleher, 2019]. Помимо своей простоты, гибкости, обширной поддержки Python обладает огромным количеством библиотек для машинного обучения [Плас, 2021]. Среди наиболее известных и популярных библиотек для разработки и обучения модели выделяют: XGBoost; Scikit-learn (sklearn); Matplotlib; Seaborn; Pandas; NumPy; SciPy. Использование этих библиотек облегчило и ускорило работу на языке программирования Python, в результате чего получилось достичь поставленных целей в разработке модели машинного обучения для определения мошеннических транзакций.

В рамках обучения модели использовался набор данных, содержащий 284 807 помеченных транзакций, из которых 492 транзакции являлись мошенническими. Столь малое количество мошеннических транзакций говорит о том, что датасет имеет высокую степень несбалансированности – на позитивные классы (мошеннические) приходится 0,172 % от общего числа транзакций [Окуньков и др., 2023].

Перед составлением набора данных все транзакции были обезличены и преобразованы в числовые значения с помощью анализа главных компонент (PCA). Основная цель данного анализа заключается в том, чтобы уменьшить размерность используемого набора данных, при этом сохранив наиболее важные закономерности между переменными. В методах классификации и регрессии переменные, которые представляют избыточную информацию, могут снизить точность модели, вследствие чего уменьшение размерности входных данных позволяет качественнее и эффективнее обучить модель. В результате преобразования датасет состоит из 31 признака – 28 числовых признаков V1, V2, V3, ... V28 и признаки Time, Amount, Class, которые не были преобразованы методом PCA. Признак Time обозначает время между первой и текущей транзакциями. Признак Amount говорит о том, на какую сумму совершена транзакция. Данный признак полезен в ситуациях, когда необходимо отталкиваться от суммы транзакции при поиске мошенничества. Признак Class принимает два значения – 1 в случаях, когда транзакция является мошеннической, и 0, когда транзакция является обычной.

Была построена матрица корреляции. Коэффициент корреляции принимает значения от -1 до 1, где положительные корреляции обозначают, что при увеличении одной переменной другая также растет, отрицательная же корреляция, наоборот, говорит о том, что при увеличении одной переменной другая имеет тенденцию к уменьшению. Значения, близкие



к -1 и 1, являющиеся сильной корреляцией, предполагают более выраженную связь между значениями, тогда как значения, близкие к нулю, обозначают менее выраженную связь. Построенная матрица корреляции свидетельствует о слабой корреляции, поскольку в ней не было признаков, превышающих 0,1.

Для обучения и тестирования модели определения мошеннических транзакций набор данных был разделен на обучающий и тестовый наборы в соотношении 80:20. В ходе проведенных манипуляций количество положительных транзакций в обучающем наборе составило 394, количество положительных транзакций в тестовом наборе – 98.

Следующим этапом стало масштабирование данных. Масштабирование проводилось относительно признака Amount с помощью метода RobustScaler библиотеки sklearn. Данный метод масштабирует элементы, используя статистику, устойчивую к выбросам, и удаляет медиану, тем самым масштабируя данные в диапазоне от 1-го квартиля до 3-го, то есть от 25-го квантиля до 75-го. Поскольку набор данных сильно несбалансирован, масштабирование методом RobustScaler позволило устранить влияние выбросов по причине того, что выбросы могут исказить общий характер данных и негативно сказаться на производительности модели. Масштабирование выполнено на тестовой и обучающей выборках.

Далее была проверена асимметрия данных. Распределение называется асимметричным, если хвост с левой или с правой части более выражен, иными словами среднее значение, мода и медиана не совпадают. Выявление и исправление асимметрии в несбалансированном наборе помогло улучшить производительность модели. Для начала была проверена асимметрия с помощью метода skew() – если асимметрия находится в пределах от -1 до 1, то для преобразования данных будет использоваться силовое преобразование. В таблице показаны признаки датасета и их значения асимметрии. Для устранения асимметрии был использован метод PowerTransformer библиотеки sklearn, с помощью которого распределение было приведено к гауссовому виду, а затем был применен метод Йео – Джонсона для преобразования в симметричное распределение.

Асимметрия датасета
Dataset asymmetry

Признаки	Значения	Признаки	Значения	Признаки	Значения	Признаки	Значения
V1	-3.306334	V8	-8.639485	V15	-0.308419	V22	-0.219171
V2	-4.779484	V9	0.541869	V16	-1.077909	V24	-0.549854
V3	-2.247962	V10	1.132688	V17	-3.733377	V25	-0.436292
V4	0.687574	V11	0.354102	V18	-0.254948	V26	0.574980
V5	-2.786851	V12	-2.286654	V19	0.106133	V27	-0.890209
V6	1.937381	V13	0.064819	V20	-1.960492	V28	9.978409
V7	3.152665	V14	-1.699112	V21	3.490183	Итого	18.193943

В ходе обучения модели были использованы четыре алгоритма машинного обучения. Использование нескольких алгоритмов позволило сравнить их эффективность и определить лучшую модель для выявления мошеннических транзакций. Были рассмотрены алгоритмы: логистическая регрессия (Logistic Regression); дерево решений (Decision Tree); метод случайного леса (Random Forest); градиентный спуск (XGBoost).

В качестве оценки производительности модели была использована кросс-валидация K-fold. Кросс-валидация позволяет достигнуть баланса между переобучением и недообучением модели. В основе метода лежит разделение набора данных на часть, используемую для обучения модели, и другую часть – для её проверки. Стратифицированная кросс-валидация равномерно распределяет классы в каждом наборе данных. Это особенно важно в наборах данных, когда один класс составляет значительную часть датасета, что может привести к переобучению модели.

Для оценки качества модели будем использовать метрику ROC-AUC [Liu et al., 2024]. Кривая ROC – это график оценки модели бинарной классификации при различных пороговых значениях, отображающий частоту истинных положительных результатов (TPR) и ложных положительных результатов (FPR), в свою очередь AUC – это площадь под кривой ROC. Показатель TPR измеряет долю истинных положительных результатов, которые модель правильно классифицирует, показатель FPR измеряет долю ложных положительных результатов, которые модель неправильно классифицирует. ROC-AUC представляет из себя численный показатель качества классификатора, варьируясь от 0 до 1, где 0 – это случайное предсказание, а 1 – идеальное разделение классов. В нашем случае данные сильно несбалансированны (лишь 0,17% транзакций из общего количества транзакций являются мошенническими), в результате чего точность не будет подходящей метрикой для оценки модели. Использование максимального значения ROC-AUC полезно для ситуаций поиска наилучшей модели, однако использование среднего значения является более надежным вариантом в рамках использования кросс-валидации. На рис. 1 показан график ROC-AUC.

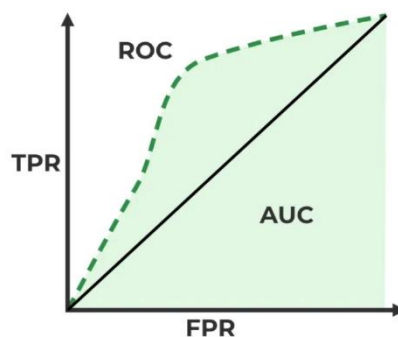


Рис. 1. График метрики ROC AUC
Fig. 1. ROC AUC metric plot

Результаты и их обсуждение

В рамках проекта было необходимо разработать концепцию системы распознавания лекарственных средств по фотографиям упаковок для дальнейшей интеграции в многофункциональный чат-бот.

В рамках разработки модели для обнаружения мошеннических транзакций в первую очередь необходимо выполнить стратифицированную кросс-валидацию K-Fold. В небольших наборах данных время обучения достаточное для того, чтобы проверить различные комбинации гиперпараметров. Однако в нашем случае необходимо использовать рандомизированный поиск ввиду случайной и неравномерной выборки.

При обучении модели логистической регрессии подбирается гиперпараметр C, который был использован для подбора параметров модели. Для каждого значения гиперпараметра производится кросс-валидация в следующем порядке: 1) разделение данных на обучающую и тестовую выборки; 2) обучение логистической регрессии; 3) получение прогнозов на основе обучающей выборки; 4) вычисление метрик – ROC-AUC, точность, полнота и F1-мера; 5) построение ROC-кривой.

По результатам обучения модели получили следующие значения:

- лучшее среднее значение ROC-AUC для гиперпараметра C: 0,979;
- лучшее среднее значение точности для гиперпараметра C: 0,885;
- лучшее среднее значение полноты для гиперпараметра C: 0,629;
- лучшее среднее значение F1-меры для гиперпараметра C: 0,734.

В результате настройки гиперпараметров с использованием K-кратной перекрестной проверки для логистической регрессии получили лучшее значение ROC-AUC, равное 0,981, и лучший гиперпараметр {"C": 0,01, "penalty": "l2"}.

На рис. 2 изображен график кривой ROC для модели логистической регрессии.

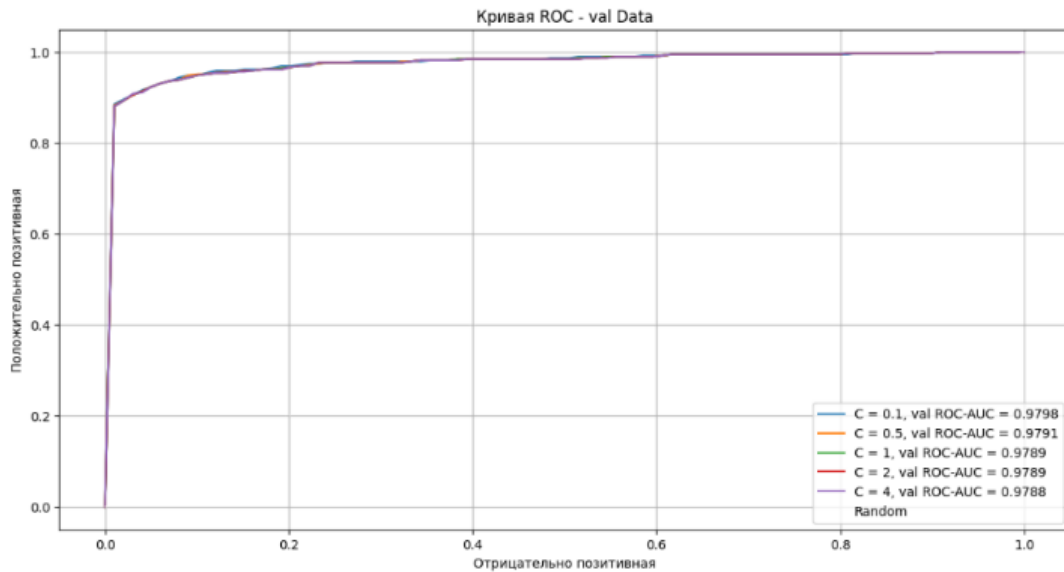


Рис. 2. Логистическая регрессия
Fig. 2. Logistic regression

При применении алгоритма Дерево решений (Decision Tree) получены следующие результаты обучения модели:

- лучшее значение Max Depth: 3;
- лучшее среднее значение ROC-AUC: 0,934;
- среднее значение точности лучшего значения max_depth: 0,848;
- среднее значение полноты лучшего значения max_depth: 0,716;
- среднее значение F1-меры лучшего значения max_depth: 0,775.

В результате настройки гиперпараметров получили лучшее значение ROC-AUC, равное 0.934, и лучший гиперпараметр {"criterion": "entropy", "max_depth": 3, "min_samples_leaf": 1, "min_samples_split": 2}.

На рис. 3 изображен график кривой ROC для модели дерева решений.

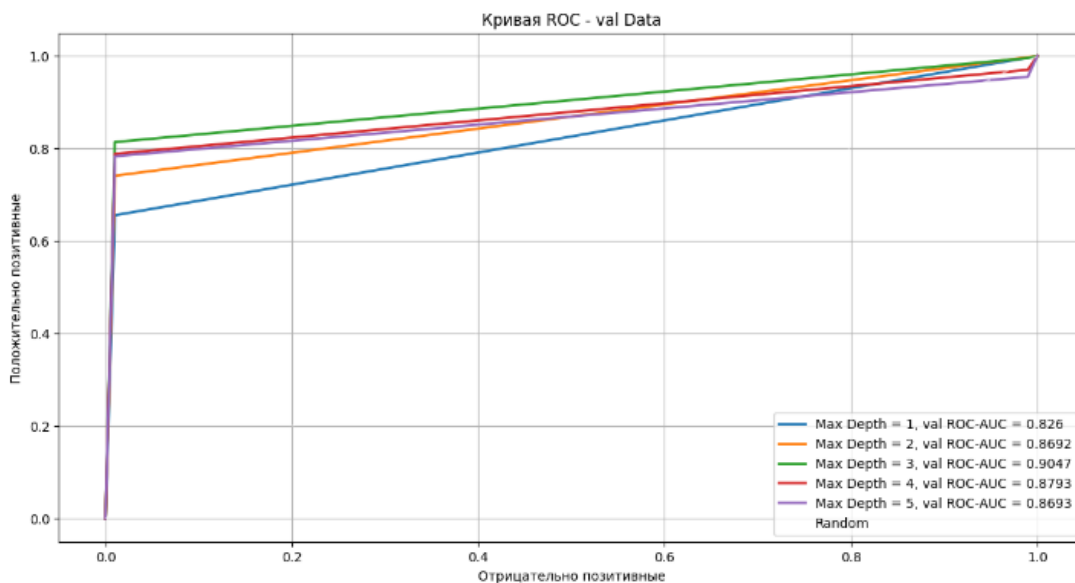


Рис. 3. Кривая ROC для дерева решений
Fig. 3. Decision Tree ROC Curve

При обучении модели методом случайного леса (Random Forest) получили следующие значения:

- средние значения ROC-AUC для train data при каждом значении n Estimators: [0,999, 1,0, 1,0, 1,0, 1,0];
- средние значения ROC-AUC для val data при каждом значении n Estimators: [0,927, 0,944, 0,946, 0,954, 0,959];
- лучшее значение n Estimators: 400;
- лучшее среднее значение ROC-AUC для val data: 0,959.

После выполнения настройки классификатора метода случайного леса получили лучшее значение ROC-AUC, равное 0,964, и лучшее значение гиперпараметров {"min_samples_split": 7, "n_estimators": 500}.

На рис. 4 показаны графики кривых ROC для метода случайного леса.

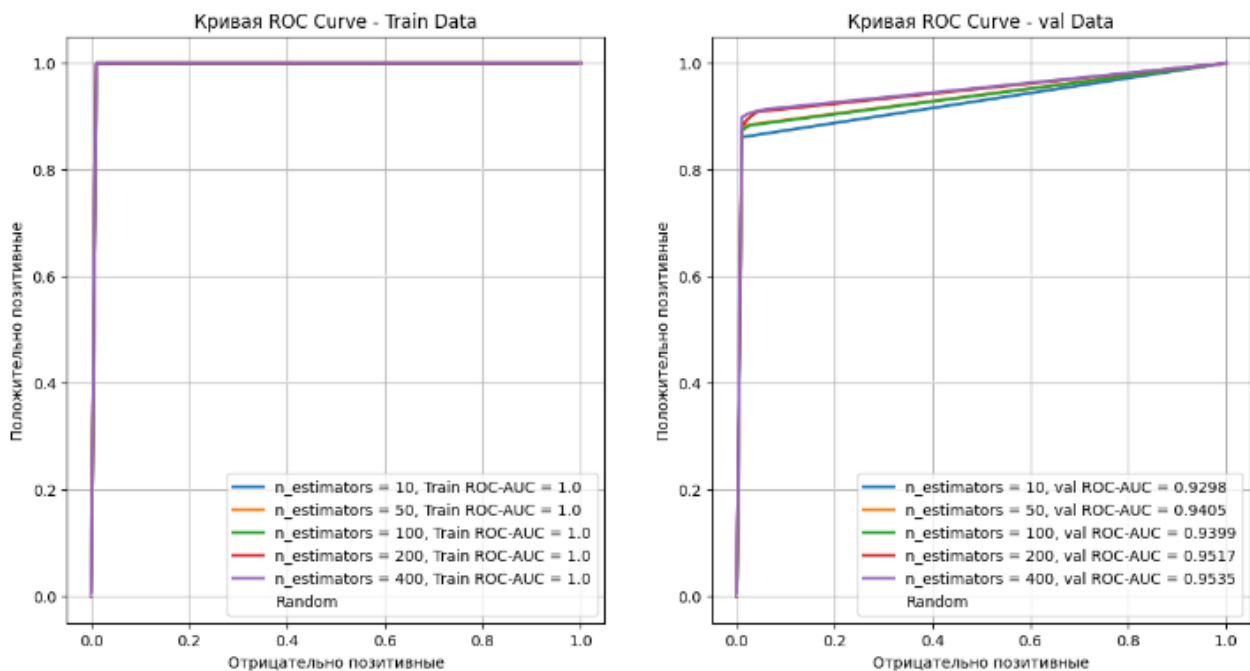


Рис. 4. Кривая ROC для метода случайного леса
Fig. 4. ROC curve for random forest method

Обучающий алгоритм XGBoost выдал следующие значения:

- средние значения ROC-AUC для val data при каждом значении Learning Rate: [0,929, 0,945, 0,984, 0,98, 0,966];
- лучшее значение Learning Rate: 0,1;
- лучшее среднее значение ROC-AUC для val data: 0,984;
- среднее значение точности val для лучшего значения learning_rate: 0,923;
- среднее значение отзыва val для лучшего значения learning_rate: 0,777;
- среднее значение F1 val для лучшего значения learning_rate: 0,843.

После выполнения настройки классификатора градиентного спуска получили лучшее значение ROC-AUC, равное 0,983, и лучшее значение гиперпараметров {"learning_rate": 0,1, "max_depth": 3, "subsample": 0,7}.

На рис. 5 показаны графики кривых ROC для градиентного спуска.

Итак, в ходе обучения выбранными методами машинного обучения были получены следующие значения ROC-AUC и их лучшие гиперпараметры на основе используемого набора данных.

Перед началом проверки моделей на тестовом наборе необходимо масштабировать тестовый датасет по признаку Amount. Далее была проведена оценка эффективности примененных алгоритмов. Процесс эффективности методов машинного обучения рассмотрен на примере логистической регрессии.

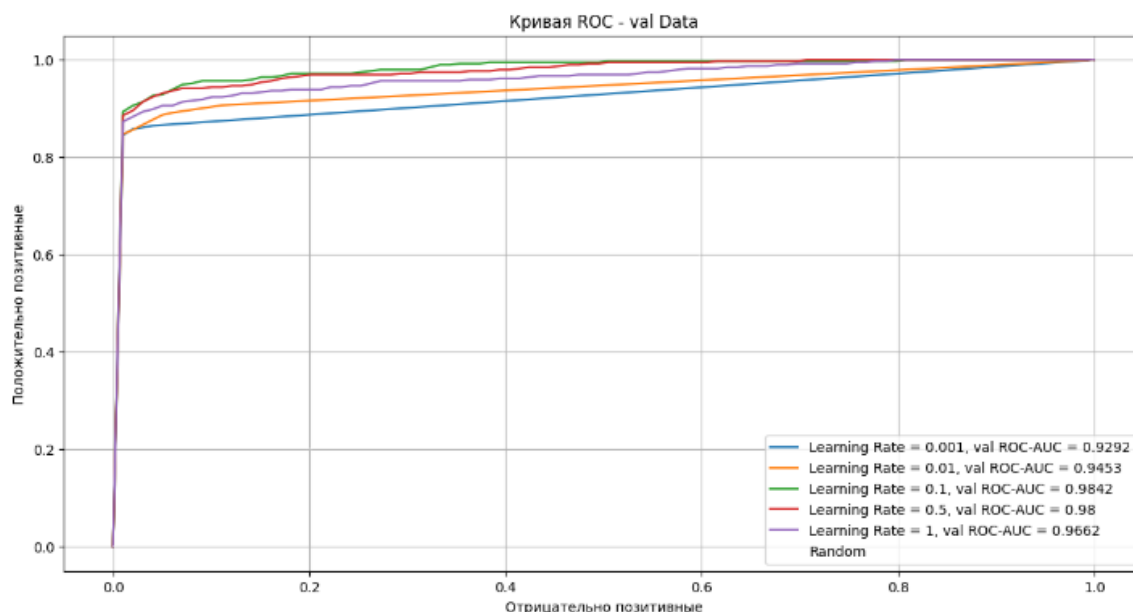


Рис. 5. Кривая ROC для градиентного спуска
Fig. 5. Gradient Descent ROC Curve

В первую очередь необходимо инициализировать модель с лучшими гиперпараметрами, полученными в ходе обучения модели. Далее предсказывается вероятность с помощью метода `predict_proba`. Затем рассчитывается значение ROC-AUC, предсказываются значения меток классов и получают значения F1-Score, Precision, Recall.

В ходе проверки каждой модели были получены значения переменных и время, потраченное на проверку.

Логистическая регрессия

При гиперпараметре {"C": 0,01, "penalty": "l2"} получили следующие значения:

- значение ROC-AUC логистической регрессии на тестовом наборе: 0,975;
- значение F1-Score логистической регрессии на тестовом наборе: 0,598;
- значение Precision логистической регрессии на тестовом наборе: 0,479;
- значение Recall логистической регрессии на тестовом наборе: 0,796;
- затраченное время: 1,20 секунд.

Дерево решений

При гиперпараметре {"criterion": "entropy", "max_depth": 3, "min_samples_leaf": 1, "min_samples_split": 2} получили следующие значения:

- значение ROC-AUC дерева решений на тестовом наборе: 0,931;
- значение F1-Score дерева решений на тестовом наборе: 0,82;
- значение Precision дерева решений на тестовом наборе: 0,803;
- значение Recall дерева решений на тестовом наборе: 0,837;
- затраченное время: 5,40 секунд.

Случайный лес

При гиперпараметре {"min_samples_split": 7, "n_estimators": 500} получили следующие значения:

- значение ROC-AUC случайного леса на тестовом наборе: 0,962;
- значение F1-Score случайного леса на тестовом наборе: 0,828;

- значение Precision случайного леса на тестовом наборе: 0,82;
- значение Recall случайного леса на тестовом наборе: 0,837;
- затраченное время: 1581,33 секунд.

Градиентный спуск

При гиперпараметре {"learning_rate": 0,1, "max_depth": 3, "subsample": 0,7} получили следующие значения:

- значение ROC-AUC градиентного спуска на тестовом наборе: 0,969;
- значение F1-Score градиентного спуска на тестовом наборе: 0,824;
- значение Precision градиентного спуска на тестовом наборе: 0,812;
- значение Recall градиентного спуска на тестовом наборе: 0,837;
- затраченное время: 3,87 секунд.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что лучшей моделью машинного обучения для определения мошеннических транзакций стала модель, обученная с помощью алгоритма логистической регрессии, получившей значение ROC-AUC, равное 0,975.

Заключение

Была рассмотрена актуальная проблема обнаружения мошеннических транзакций в банковской сфере с использованием методов машинного обучения. Для решения данной задачи были использованы несбалансированные массивы данных. В ходе работы были проведены следующие этапы:

1. Предобработка данных (обезличивание, применение метода PCA, масштабирование с помощью RobustScaler и устранение асимметрии распределения).

2. Тестирование алгоритмов классификации. Для оценки моделей использовались метрики ROC-AUC, F1-мера. Среди четырех рассмотренных алгоритмов машинного обучения наибольшую эффективность показала логистическая регрессия (значение ROC-AUC составило 0,975 на тестовом массиве данных), в то время как остальные методы также имеют преимущества разного характера (например, случайный лес обеспечил высокую точность, но показал длительное время обработки). В некоторых случаях возможен компромисс между точностью и вычислительными ресурсами.

Таким образом, целесообразно применять машинное обучение для обнаружения и защиты банковских операций от мошенничества. Перспективы развития данной работы возможны за счет внедрения более глубоких нейросетевых архитектур, увеличения датасетов. Использование интеллектуальных технологий позволит автоматизировать процесс обнаружения мошенничества, снизить убытки и повысить уровень безопасности.

Список литературы

- Аскаров Е.Ф., Хамитов Р.М. 2024. Использование временных рядов для прогнозирования мошеннических операций. *Экономика и предпринимательство*, 3(164): 1356–1359.
- Григорьев А. 2023. Машинное обучение. Портфолио реальных проектов. Санкт-Петербург: Питер, 496 с.
- Мартин Р. 2022. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. Санкт-Петербург: Питер, 352 с.
- Марченко А.Л. 2023. Python: большая книга примеров. Издательство Московского университета, 361 с.
- Окуньков С.В., Барулина М.А., Санбаев А.К. 2023. Мультиклассовая классификация на сильно несбалансированном наборе данных. *Фундаментальная и прикладная медицина: материалы Международной конференции молодых ученых*, Саратов, 105–106.
- Орельен Ж. 2020. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и TensorFlow: концепции, инструменты и методы построения интеллектуальных систем, 2-е изд. Санкт-Петербург: ООО "Диалектика", 1520 с.
- Плас Дж. В. Python для решения сложных задач: наука о данных и машинное обучение. Санкт-Петербург: Питер, 2021. 576 с.
- Траск Э. 2025. Грокаем глубокое обучение. Санкт-Петербург: Питер, 352 с.



- Хлобыстова А.О., Абрамов М.В. 2024. Публичность организации как уязвимость при проведении социоинженерной атаки. *Информационное общество*, 1: 85–93.
- Chio K. 2020. Machine learning and security. Protecting systems with data and algorithms. Moscow: DMK Press, 388 p.
- ICO Falcon Fraud Manager [Electronic resource]. URL: <https://www.fico.com/en/products/fico-falcon-fraud-manager> (date of request: 20.10.2025)
- Ioffe L. 2024. Application of big data technology for fraud detection in financial transactions. *Universum: technical sciences*, 2(119): 6.
- Kelleher J.D. 2019. Deep Learning. The Massachusetts Institute of Technology, 296 p.
- Liu Yu., Li Ya., Xie D. 2024. Implications of imbalanced datasets for empirical ROC-AUC estimation in binary classification tasks. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 94(1): 183–203.
- 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.
- Omolara O., Agwubuo C., Onyechi S., Omotoyosi O., Kenneth N. and Olajumoke A. 2024. The impact of big data analytics on financial risk management. *International Journal of Science and Research Archive*, 12(02): 821–827.
- Wang Y., Wang Q., Zhao L., Wang C. 2023. Differential privacy in deep learning: Privacy and beyond. *Future Generation Computer Systems*, 148: 408–424.
- Ye J.X. 2023. A review of two-stage target detection algorithms based on deep learning. *Internet Wkly*, 18: 16–18.
- 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.
- Zhu H., Zhou S.Y. 2023. A review of single-stage target detection algorithms based on deep learning. *Ind. Control. Comput.* 36: 101–103.

References

- Askarov E.F., Xamitov R.M. 2024. Ispol`zovanie vremenny`x ryadov dlya prognozirovaniya moshennicheskix operacij [Using time series to predict fraudulent transactions]. *E`konomika i predprinimatel`stvo*, 3(164):1356–1359.
- Grigor`ev A. 2023. Mashinnoe obuchenie. Portfolio real`ny`x proektov [Machine Learning. Portfolio of Real Projects]. Sankt-Peterburg: Piter, 496 s.
- Martin R. 2022. Chistaya arxitektura. Iskusstvo razrabotki programmogo obespecheniya [Clean Architecture. The Art of Software Development]. Sankt-Peterburg: Piter, 352 s.
- Marchenko A.L. 2023. Python: bol`shaya kniga primerov [Python: a great book of examples]. Izdatel`stvo Moskovskogo universiteta, 361 s.
- Okun`kov S.V., Barulina M.A., Sanbaev A.K. 2023. Mul`tiklassovaya klassifikaciya na sil`no nesbalansirovannom nabore danny`x [Multiclass classification on a highly imbalanced dataset]. *Fundamental`naya i prikladnaya medicina: materialy` Mezhdunarodnoj konferencii molody`x ucheny`x*, Saratov, 105–106.
- Orel`en Zh. 2020. Prikladnoe mashinnoe obuchenie s pomoshh`yu Scikit-Learn, Keras i TensorFlow: koncepcii, instrumenty` i metody` postroeniya intellektual`ny`x sistem [Applied Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Methods for Building Intelligent Systems], 2-e izd. Sankt-Peterburg: OOO Dialektika, 1520 s.
- Plas Dzh. V. Python dlya resheniya slozhny`x zadach: nauka o danny`x i mashinnoe obuchenie [Python for solving complex problems: data science and machine learning]. Sankt-Peterburg: Piter, 2021. 576 s.
- Trask E. 2025. Grokaem glubokoe obuchenie [Grok deep learning]. Sankt-Peterburg: Piter, 352 s.
- Xloby`stova A.O., Abramov M.V. 2024. Publichnost` organizacii kak uyazvimost` pri provedenii socioinzhenernoj ataki [The organization's public nature as a vulnerability in a social engineering attack]. *Informacionnoe obshhestvo*, 1:85–93.
- Chio K. 2020. Machine learning and security. Protecting systems with data and algorithms. Moscow: DMK Press, 388 p.
- ICO Falcon Fraud Manager [Electronic resource]. URL: <https://www.fico.com/en/products/fico-falcon-fraud-manager> (date of request: 20.10.2025)
- Ioffe L. 2024. Application of big data technology for fraud detection in financial transactions. *Universum: technical sciences*, 2(119): 6.

- Kelleher J.D. 2019. Deep Learning. The Massachusetts Institute of Technology, 296 p.
- Liu Yu., Li Ya., Xie D. 2024. Implications of imbalanced datasets for empirical ROC-AUC estimation in binary classification tasks. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 94(1): 183–203.
- 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.
- Omolara O., Agwubuo C., Onyeché S., Omotoyosi O., Kenneth N. and Olajumoke A. 2024. The impact of big data analytics on financial risk management. *International Journal of Science and Research Archive*, 12(02): 821–827.
- Wang Y., Wang Q., Zhao L., Wang C. 2023. Differential privacy in deep learning: Privacy and beyond. *Future Generation Computer Systems*, 148: 408–424.
- Ye J.X. 2023. A review of two-stage target detection algorithms based on deep learning. *Internet Wkly*, 18: 16–18.
- 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.
- Zhu H., Zhou S.Y. 2023. A review of single-stage target detection algorithms based on deep learning. *Ind. Control. Comput.* 36: 101–103.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 24.10.2025

Поступила после рецензирования 13.01.2026

Принята к публикации 20.01.2026

Received October 24, 2025

Revised January 13, 2026

Accepted January 20, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хамитов Ренат Минзашарифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Куценко Светлана Мунавировна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Салтанаева Елена Андреевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем, Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Renat M. Khamitov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

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



УДК 004.94
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-122-135
EDN JVKCOP

Метод системно-объектного моделирования документооборота

¹Наджаджра М.Х., ²Бобышев П.П., ³Федоров В.И., ³Лозовая С.Ю., ³Бабенко А.А.

¹ Университет Аль-Истикляль, Палестина, г. Иерихон, ул. Хишам Палас, д. 10

² ПАО «Ростелеком», Россия, 119415, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 41

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
mnajajra@pass.ps

Аннотация. В работе предложен подход к совершенствованию информационно-аналитического обеспечения документооборота за счет разработки метода системного моделирования документооборота, учитывающего структуру процесса документационного обеспечения, участников такого процесса и процедуры обработки документов. Рассматривается алгоритмическое обеспечение метода системно-объектного моделирования документооборота, которое включает в себя общий алгоритм рассматриваемой процедуры, алгоритм построения системно-объектной модели документооборота в состоянии «как-есть», алгоритмы оптимизации и трансформации модели документооборота. Оптимизация документооборота предполагает сокращение времени реализации его отдельных этапов. Трансформация направлена на изменение архитектуры процесса документационного обеспечения с учетом автоматизации его этапов. Показано, что применение разработанного метода системного моделирования документооборота реализует поддержку принятия решений при управлении технологией документооборота за счет возможности симуляции реализации различных сценариев функционирования процесса документационного обеспечения деятельности и анализа соответствующих результатов. Рассматривается пример разработки системно-объектной модели процесса документационного обеспечения закупочной деятельности. С применением разработанной модели были выявлены необоснованные временные задержки реализации отдельных этапов документооборота. Разработанная модель была трансформирована с учетом возможности автоматизации и распараллеливания обработки некоторых этапов документооборота. Продемонстрирована эффективность полученной модели документооборота с точки зрения времени реализации процесса документационного обеспечения закупочной деятельности.

Ключевые слова: метод моделирования, системно-объектный подход, графоаналитическая модель, моделирование документооборота, оптимизация документооборота, автоматизация, бизнес-процесс, организационно-деловой процесс

Для цитирования: Наджаджра М.Х., Бобышев П.П., Федоров В.И., Лозовая С.Ю., Бабенко А.А. 2026. Метод системно-объектного моделирования документооборота. *Экономика. Информатика*, 53(1): 122–135. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-122-135. EDN JVKCOP

Method of System-Object Modeling of Document Flow

¹Mohammed H. Najajra, ²Petr P. Bobyshev, ³Vyacheslav I. Fedorov, ³Svetlana Yu. Lozovaya,
³Alexander A. Babenko

¹Al-Istiqlal University, 10 Hisham Palace St., Jericho, Palestine,

²PJSC Rostelecom, 41 Vernadsky Ave., Moscow 119415, Russia

³Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
mnajajra@pass.ps

Abstract. The paper proposes an approach to improving the information and analytical support of document flow by developing a method for systemic modeling of document flow that takes into account the structure of the

© Наджаджра М.Х., Бобышев П.П., Федоров В.И., Лозовая С.Ю., Бабенко А.А., 2026

documentation process, the participants in such a process, and the document processing procedures. The study is focused on the algorithmic support for the method of system-object modeling of document, which includes the general algorithm of the procedure under consideration, an algorithm for constructing a system-object model of document flow in the "as-is" state, and algorithms for optimizing and transforming the document flow model. Document flow optimization implies reducing the implementation time at individual stages. The transformation is aimed at changing the architecture of the documentation process, taking into account the automation of its stages. It is shown that the application of the developed method of systemic modeling of document flow implements decision-making support in document flow technology management due to the ability to simulate the implementation of various scenarios for the documentation process and analyze the corresponding results. An example of developing a system-object model of the documentation process for procurement activities is considered. Using the developed model, the authors identified unjustified time delays in the implementation of individual stages of document flow. The model was transformed to allow for automation and parallelization of certain document flow stages. The study findings demonstrate the effectiveness of the resulting document flow model in terms of procurement documentation implementation time.

Keywords: modeling method, system-object approach, graph-analytical model, document flow modeling, document flow optimization, automation, business process, organizational and business process

For citation: Najajra M.H., Bobyshev P.P., Fedorov V.I., Lozovaya S.Yu., Babenko A.A. 2026. Method of System-Object Modeling of Document Flow. *Economics. Information technologies*, 53(1): 122–135 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-122-135. EDN JVKCOP

Введение

Сегодня трудно переоценить значимость и актуальность цифровизации всех без исключения сфер жизнедеятельности человека. Актуальность и значимость автоматизации процессов подтверждается действующими в настоящий момент государственными программами и национальными проектами, такими как: государственная программа Российской Федерации «Информационное общество»; национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» [Герасименко, 2020]. Практика использования средств автоматизации организационно-деловых и производственно-технологических процессов показывает, что автоматизация приводит к повышению эффективности автоматизируемых процессов. Повышение эффективности, в свою очередь, выражается в сокращении времени на выполнение определённых операций, освобождении сотрудников от рутинных задач, что в свою очередь, ведет к сокращению субъективного фактора, влияющего на реализуемый процесс, упрощается контроль и управление процессами [Петрова, 2022].

Разработка автоматизированных систем управления документооборотом требует соответствующего информационного обеспечения процедур обработки информации такими системами. На этапах их проектирования и разработки применяются различные технологии моделирования и анализа процессов документационного обеспечения деятельности, поддающихся автоматизации, которые формализуют требования к разрабатываемой автоматизированной системе. Необходимо отметить, что автоматизация документооборота, как правило, предполагает изменение архитектуры процесса документационного обеспечения. Часто изменяется структура процесса (корректируется набор и порядок этапов процесса и соответствующих переходов), изменяются типы входящих и исходящих связей. Также зачастую меняется поведение процесса, так как при автоматизации изменяется характер учетной деятельности [Кузнецов, 2022].

Инструментарии, используемые в процессе разработки автоматизируемых систем электронного документооборота, должны позволять не только представлять автоматизируемые процессы в виде, например, диаграмм, т. е. обладать определенными выразительными возможностями, но и обеспечивать регламентированную оптимизацию и преобразование процессов в такой вид, при котором возможна трансляция модели в исполняемый код программного модуля автоматизированной информационной системы. Оптимизация



документооборота предполагает формулировку критериев оптимизации, например – сокращение времени за счет сокращения количества этапов, возможность оценки достижения или недостижения показателя эффективности, верификацию и валидацию процесса документационного обеспечения. Описанные выше операции невозможны без наличия формализованных средств описания автоматизируемых процессов, позволяющих выполнить описанные выше процедуры. Таким образом, не теряет актуальности решение задач, связанных с разработкой новых средств моделирования документооборота, обеспечивающих формирование и конкретизацию требований к документационному обеспечению деятельности и регламентирующих этапы моделирования, оптимизации и трансформации моделей автоматизируемых процессов.

Алгоритм системно-объектного моделирования документооборота

С целью реализации нового метода системно-объектного моделирования документооборота при разработке автоматизированных систем рассмотрим обобщенный алгоритм системно-объектного моделирования вышеупомянутых процедур. Блок-схема алгоритма системно-объектного моделирования документооборота представлена ниже (рис. 1). В качестве входных данных метод имеет описание исходного процесса документационного обеспечения деятельности [Бобышев, 2024]. На основе данного описания строится системно-объектная модель в состоянии «как есть» [Жихарев, 2024]. Для каждого организационно-делового процесса (процесса документационного обеспечения деятельности) необходимо выделить целевое и якорные состояния [Бобышев, 2025]. Именно по наличию данных состояний в работе предлагается оценивать процесс обработки информации после оптимизации и трансформации.

Целевое состояние процесса представляет собой потоковый объект [Жихарев, 2022] с заданными значениями его параметров, которые в рамках рассматриваемой предметной области могут быть рассмотрены как цель функционирования процесса. Примером целевого состояния может быть состояние, описывающее подписание руководителем организации служебного задания на командирование сотрудника в контексте рассмотрения организационно-делового процесса по оформлению командировок сотрудникам [Чепурной, 2019]. Якорные состояния процесса – это выделенные состояния, которые по определению должны иметь место в рассматриваемом процессе. Здесь мы не говорим о целесообразности или причинах наличия таких состояний. Рассматривая пример стандартного организационно-делового процесса по оформлению командировок, одним из таких якорных состояний может быть согласование служебного задания на командировку с самим командируемым сотрудником. Якорные состояния определяются регламентирующими документами как обязательные состоянию, в которых должен пребывать процесс в рамках своего функционирования.

На следующем этапе осуществляется оптимизация организационно-делового процесса [Лямкин, 2020]. Здесь необходимо отметить, что оптимизация частично может быть выполнена в автоматическом режиме. Так, например, привести в соответствие процесс общесистемному принципу организационной непрерывности можно в автоматическом режиме путем удаления узловых объектов, не связанных с другими узловыми объектами. Таким образом мы минимизируем общее число состояний процесса. Также могут быть удалены отдельные состояния процесса при соответствующем анализе их влияния на достижение целевого состояния, и если они не относятся к якорным состояниям. Предложить более точное описание такой процедуры пока не представляется возможным, так как архитектура такой оптимизации зависит от специфики организационно-делового процесса и его документационного обеспечения.

Скорректированный организационно-деловой процесс далее необходимо верифицировать на предмет соответствия исходной спецификации процесса. После этого осуществляется процедура трансформации организационно-делового процесса. Подробно данный этап рассмотрим ниже. По завершении трансформации получившийся процесс

проходит очередную верификацию на предмет соответствия спецификации процесса (целевое и якорные состояния). На выходе работы алгоритма получаем организационно-деловой процесс с описанием этапов на высокоуровневом языке программирования, который можно «проиграть» и оценить параметры его функционирования с дальнейшей трансляцией в исходный код программных модулей автоматизированной системы электронного документооборота. Рассмотрим подробнее описанные выше этапы.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма системно-объектного моделирования документооборота
Fig. 1. Block diagram of the algorithm for system-object modeling of document flow

Первый этап связан с построением системно-объектной модели организационно-деловых процессов документационного обеспечения деятельности. Рассмотрим его подробнее. Блок-схема алгоритма построения системно-объектной модели показана на рис. 2.

В качестве входных данных для построения системно-объектных моделей процессов выступают локальные нормативные документы, регламентирующие отдельные организационно-деловые процессы. Диаграммы 1-го и 2-го уровня определяют границы процессов документационного обеспечения деятельности [Зимовец, 2024]. Узловые объекты 2-го уровня определяют границы отдельных организационно-деловых процессов. Метод узлового объекта 2-го уровня реализуется в виде диаграммы 3-го уровня, в рамках которой узловые объекты представляют собой этапы или состояния процесса документационного обеспечения. На данном этапе осуществляется идентификация состояний процесса в соответствии с регламентирующими локальными документами. Каждое действие, описанное в регламентирующем документе, должно порождать соответствующее состояние процесса. В модели это реализуется отдельным узловым объектом [Маторин, 2018].

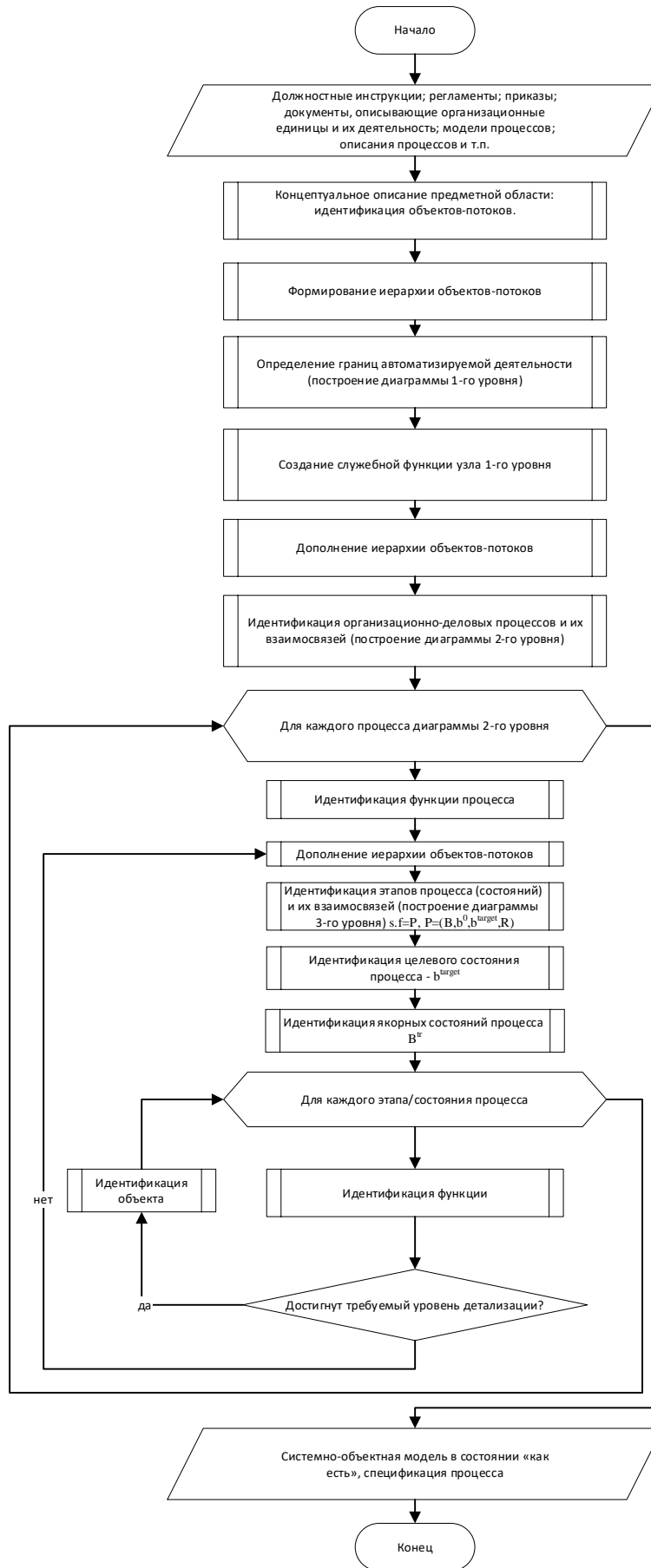


Рис. 2. Блок-схема процедуры построения системно-объектной модели документооборота
 Fig. 2. Flowchart of the procedure for constructing a system-object model of document flow

Среди множества идентифицированных действий далее необходимо выделить целевое состояние и подмножество якорных состояний. Подмножество узловых объектов 3-го уровня, содержащее целевой узловой объект и набор якорных узловых объектов, далее будем называть спецификацией организационно-делового процесса. Формально спецификацию организационно-делового процесса [Маторин, 2019], описываемого узловым объектом 2-го уровня s_i , обозначим следующим образом:

$$sp(s_i) = S_{sp}, s_i \cdot f = \begin{cases} s_1 \cdot f, s_1 \in S_{sp} \\ \dots \\ s_n \cdot f, s_n \in S_{sp} \end{cases}, n = |S_{sp}|, \quad (1)$$

где $sp(s_i)$ – оператор спецификации, который возвращает подмножество узловых объектов S_{sp} , которое далее будем интерпретировать как спецификацию организационно-делового процесса s_i .

Каждое идентифицированное состояние организационно-делового процесса описывается в виде скрипта [Zhikharev, 2022]. Скрипт моделирует процедуру реализации конкретного этапа организационно-делового процесса. Время, затрачиваемое на определенный этап, рассчитывается аналитически, если это возможно, либо оценивается аналитиком при изучении поведения процесса [Zhikharev, 2022]. После завершения на выходе имеем системно-объектную модель организационно-делового процесса в состоянии «как есть» и его спецификацию.

Алгоритмы оптимизации документооборота

На следующем этапе обеспечивается оптимизация организационно-делового процесса [Михеев, 2019]. Рассмотрим подробнее оптимизацию по количеству состояний процесса. Блок-схема процедуры оптимизации организационно-делового процесса показана на рис. 3.

В качестве входных данных работы алгоритма используется системно-объектная модель и спецификация, полученные на предыдущем этапе.

1. Начало.
2. Для каждого узлового объекта 2-го уровня $s \in S$, такого что $s \cdot f = P$, $P = (B, b_0, b_{target}, R)$:
 - 2.1. Если рассматриваемый организационно-деловой процесс s соответствует принципу организационной непрерывности, т. е. $\exists q = (s_{out}, s_{in}, l) \in Q$, $s_{out} = s$ или $s_{in} = s$, тогда переход к шагу 2.3, иначе – 2.2.
 - 2.2. Удалить s , для которого справедливо $\nexists q = (s_{out}, s_{in}, l) \in Q$, $s_{out} = s$ или $s_{in} = s$.
 - 2.3. Корректировка состояний процесса в соответствии с измененными регулируемыми документами (при необходимости).
 - 2.4. Верификация процесса измененного процесса $s^* \cdot f = P^*$, $P^* = (B^*, b^{0*}, b^{target*}, R^*)$: $b^{target*} = b^{target}$, $B^{tr*} = B^{tr}$, если да, переход к шагу 2, иначе – 2.5.
 - 2.5. Добавить состояние $b^{target*}$, такое что $b^{target*} = b^{target}$.
 - 2.6. Добавить якорные состояния B^{tr*} , такие что $B^{tr*} = B^{tr}$.
3. Конец.

Описанный выше алгоритм позволяет автоматически привести организационно-деловой процесс в соответствие принципу организационной непрерывности (в случае несоответствия). После процедуры оптимизации проводится верификация процесса на предмет соответствия заданной спецификации процесса, описанной выше.

После оптимизации осуществляется реорганизация процесса с учетом его автоматизации. Рассмотрим подробнее алгоритм трансформации организационно-делового процесса. Блок-схема алгоритма показана на рис. 4. В качестве входных данных здесь выступает оптимизированная системно-объектная модель организационно-делового процесса и его спецификация. Для каждого узлового объекта 2-го уровня все его потоковые объекты преобразуются в информационный тип. Методы узловых объектов – состояний (3-й уровень

системно-объектной модели) описываются с использованием встроенного языка. Полученный организационно-деловой процесс поддается повторной процедуре верификации.

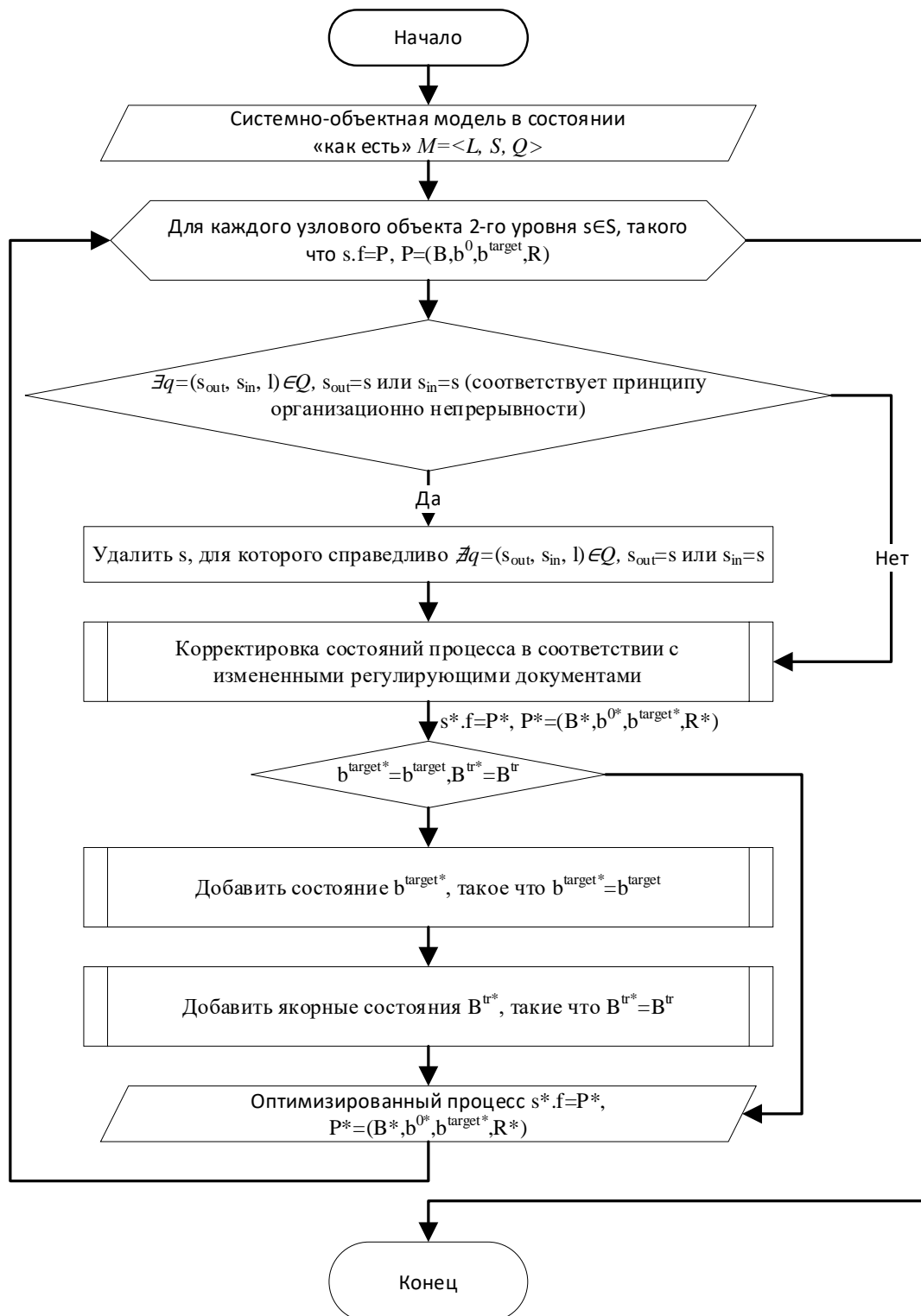


Рис. 3. Блок-схема алгоритма оптимизации документооборота
 Fig. 3. Block diagram of the document flow optimization algorithm

Если процедура пройдена, полученный организационно-деловой процесс может быть преобразован в программную логику автоматизированной системы электронного документооборота.

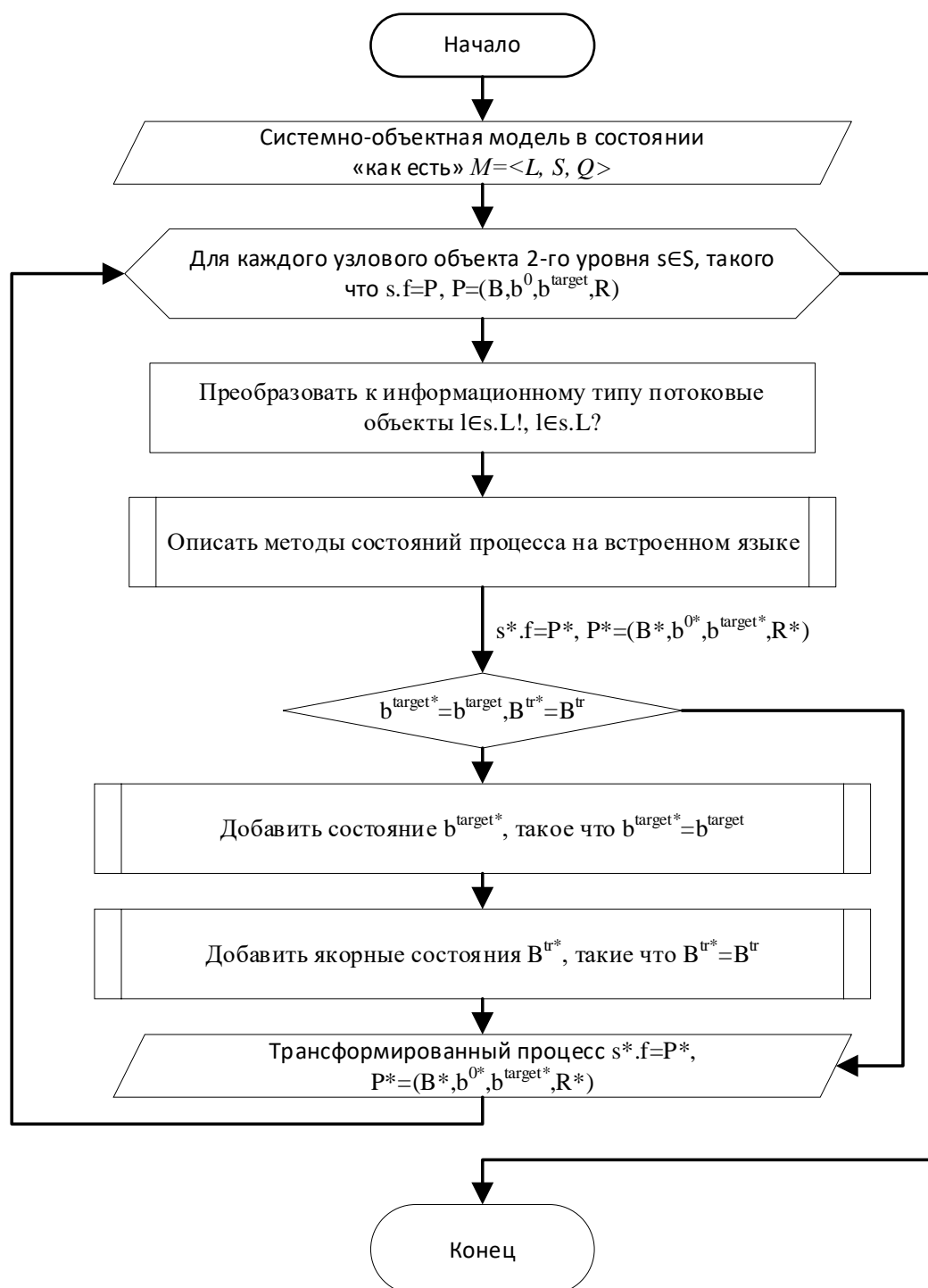


Рис. 4. Блок-схема алгоритма трансформации документооборота
 Fig. 4. Block diagram of the document flow transformation algorithm

Модель документационного обеспечения закупочной деятельности

Рассмотрим пример использования разработанного метода моделирования организационно-деловых процессов документационного обеспечения деятельности с целью их оптимизации за счет трансформации и автоматизации.

Общая архитектура данного процесса показана на рис. 5. Общая задача состоит в автоматизации процедур, связанных с закупками товаров, работ, услуг. В соответствии с алгоритмом метода системно-объектного моделирования организационно-деловых процессов с целью их автоматизации была разработана системно-объектная модель процесса

организации закупок. В качестве исходных данных на данном этапе использовался локальный нормативный документ «регламент взаимодействия структурных подразделений при закупке товаров, работ, услуг». Согласно данному регламенту, основным артефактом данного процесса является документ «заявка на проведение торгов». Это твердый документ, который должен пройти ряд согласований, как показано на рис. 5. Обозначим организационно-деловой процесс, описывающий закупочную деятельность как узловой объект 2-го уровня [Маторин, 2021] следующего вида:

$$S_{zakupka} = [(L?, L!; L? = f(L!); O]. \quad (2)$$

Для рассматриваемого случая выделим целевое состояние рассматриваемого организационно-делового процесса. Целевым состоянием является узловой объект 3-го уровня, описывающий этап процесса, связанный с заключением договора поставки. Обозначим данный узловой объект как s^{target} . В качестве якорных этапов рассматриваемого организационно-делового процесса, согласно регламентирующему документу, являются этапы, связанные с подготовкой закупочной документации и согласованием с юридическим управлением. Обозначим данные якорные состояния как $s1^{tr}$ и $s2^{tr}$. Тогда спецификация для рассматриваемого организационно-делового процесса примет вид, как показано ниже:

$$sp(S_{zakupka}) = S_{sp} = \{s^{target}, s1^{tr}, s2^{tr}\}. \quad (3)$$

Выражение 3 фактически формирует требования к организационно-деловому процессу вида: он должен содержать целевое состояние определенного вида, также на пути к целевому состоянию процесс должен иметь два обязательных этапа, описанных выше.

Далее разработанная диаграмма процесса поддается анализу на предмет эффективности его организации, наличия дубликатов, временных задержек и т. п. С этой целью разработанный программный инструмент позволяет симулировать поведение процесса в состоянии «как есть». Пример запуска разработанной модели на исполнение показан на схеме ниже:

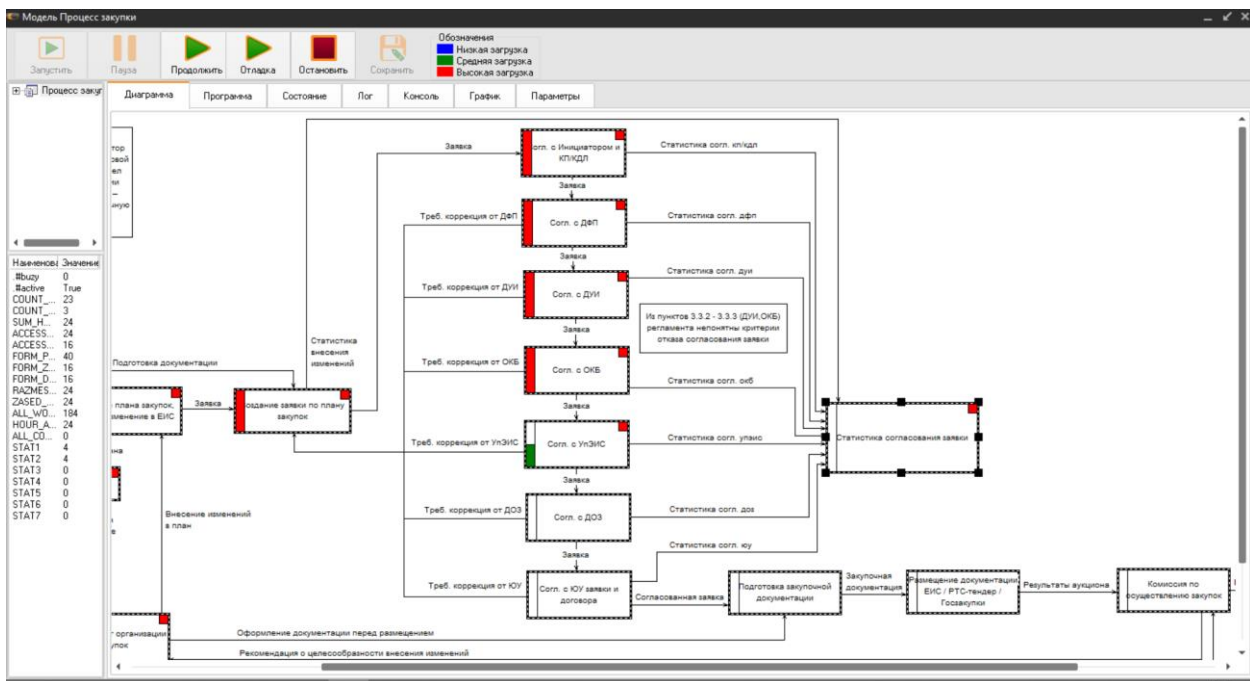


Рис. 5. Симуляция реализации схемы документооборота в состоянии «как есть»
 Fig. 5. Simulation of the document flow scheme implementation in the “as is” state

Индикаторы узловых объектов на схеме интерпретируются как процент завершения определенного этапа процесса. При детальном анализе описанного выше организационно-делового процесса можно идентифицировать несколько «узких мест» процесса. Например, из модели видно, что согласование заявки на торги осуществляется последовательно различными структурными подразделениями. При этом, если на определенном этапе возникнут замечания к заявке, она направляется на доработку, после чего снова согласуется всеми подразделениями. Имеет место дублирование функционала. Еще одним «узким местом» процесса является то, что в регламентирующем документе не указаны четко параметры, по которым оценивается заявка отдельными структурными подразделениями. Это также вносит некоторую неопределённость и существенно повышает субъективный фактор реализации данного процесса.

Далее осуществляется этап оптимизации процесса. В автоматическом режиме разработанный программный инструмент позволяет привести модель в соответствие принципу организационной непрерывности, благодаря чему из модели удаляются состояния, несвязанные с другими состояниями организационно-делового процесса. После оптимизации и трансформации организационно-делового процесса он примет вид, как показано на схеме ниже (рис. 6).

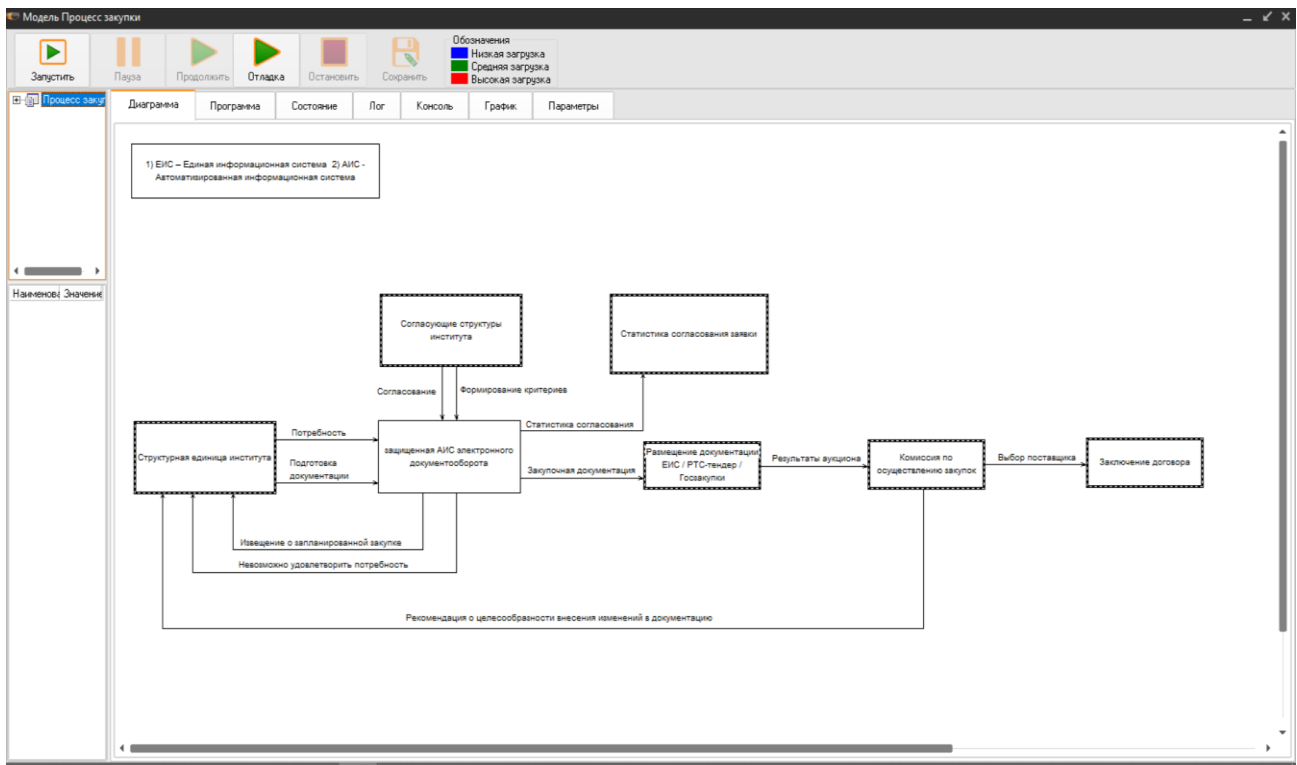


Рис. 6. Схема документооборота с учетом автоматизации его этапов
Fig. 6. Document flow diagram taking into account its automation

На схеме этапы процесса, которые полностью приобретают цифровой формат, размещены в отдельном узлом объекте, описывающем границы автоматизации. Цифровой вид трансформированного процесса показан на схеме ниже (рис. 7).

На схеме выше показан пример симуляции исполнения трансформированного процесса. Каждый из этапов процесса реализован с использованием встроенного скриптового языка.

Таким образом, полученный организационно-деловой процесс представляет собой готовый программный модуль, разработанный с использованием высокоуровневого языка, представляемый в виде отдельных фрагментов исходного кода, относящихся к реализации отдельных этапов организационно-делового процесса.

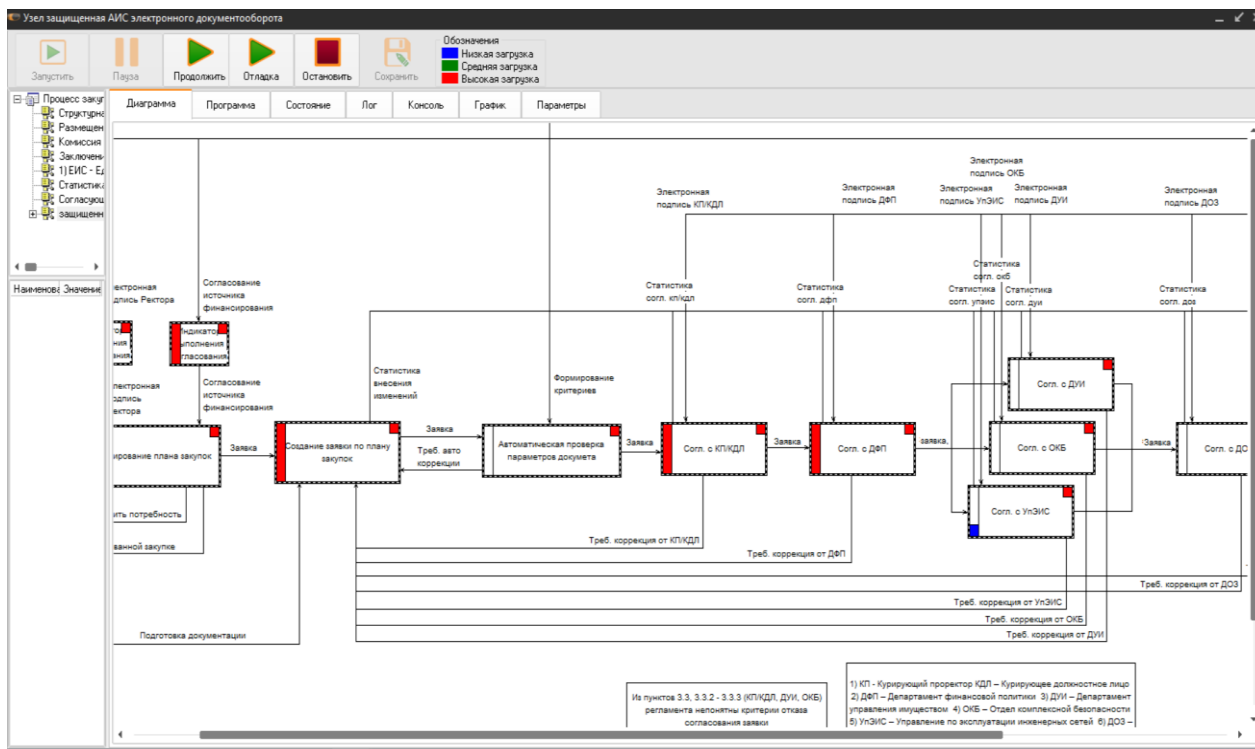


Рис. 7. Симуляция реализации оптимизированной схемы документооборота
 Fig. 7. Simulation of the implementation of an optimized document flow scheme

Заключение

Рассмотренный метод системного моделирования этапов документооборота позволяет оптимизировать документооборот за счет изменения его архитектуры и автоматизации отдельных этапов. Системно-объектная модель документооборота является наглядным инструментарием информационно-аналитического обеспечения управления технологией документооборота. Модель показывает этапы документационного обеспечения произвольного бизнес-процесса и позволяет идентифицировать временные задержки и возможные заикливания. Разработанный инструментарий имеет удобную индикацию выполнения каждого этапа в процентном измерении. Режим симуляции функционирования документооборота позволяет отработать на модели различные сценарии его реализации. Таким образом, разработанная системно-объектная модель осуществляет поддержку принятия решений при управлении технологией документооборота и позволяет выбрать наиболее оптимальный сценарий его реализации с позиции временных затрат.

Список литературы

Zhikharev A.G. 2022. Formalization of knowledge by tools of system-object simulation. Lecture Notes in Networks and Systems. T. 330 LNNS: 390–399.

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.

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.

Бобышев П.П., Жихарев А.Г., Кузнецов А.В., Тиняков О.А., Кабанов Е.К. 2025. К вопросу формализации функционирования сложных систем с использованием сетей Петри. *Научно-технический вестник Поволжья*, 8: 50–55.

Герасименко В.Г., Гусаков В.Я. 2020. Информационная безопасность и защита информации в системах электронного документооборота. Москва: Горячая линия-Телеком, 401 с.

- 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.
- Кузнецов В.Н., Макаров Ю.И. 2022. Организация и оптимизация документооборота в условиях перехода на электронные формы взаимодействия. Тюмень: Тюменский государственный университет, 294 с.
- Леонтьев Д.А., Попов В.В. 2020. Особенности интегрированной автоматизации документооборота и управления качеством продукции. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 190 с.
- Лямкин В.А., Масленников А.Ф. 2020. Основы моделирования управленческих решений и процессов. СПб.: Политехника-сервис, 287 с.
- Маторин С.И. и др. 2021. Теория систем и системный анализ: учебник. А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко; под ред. С.И. Маторина. М.: КНОРУС, 456 с.
- 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.
- Михайлов В.А., Скворцова Е.Н. 2021. Организационно-правовые и технологические аспекты электронного документооборота в инновационной экономике. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет, 406 с.
- Михеев А.Г. 2019. Системы управления бизнес-процессами и административными регламентами на примере свободной программы RunaWFE. М.: ДМК, 336 с.
- Петрова Н.А., Новиков С.В. 2022. Автоматизация документооборота на предприятиях среднего и малого бизнеса. Самара: Самарский университет, 341 с.
- Соловьев А.И., Соколов А.А. 2023. Комплексные решения автоматизации рабочего места сотрудника с внедрением системы электронного документооборота. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 479 с.
- Чепурной А.И., Белозёров Ю.Е. 2019. Методы моделирования потоков документов на предприятиях: монография. Ростов-на-Дону: Феникс, 283 с.
- Яковлев П.А., Андреев И.В. 2022. Проблемы автоматизации и стандартизации электронного документооборота в организациях государственного сектора. Волгоград: ВолГУ, 316 с.

References

- Zhikharev A.G. 2022. Formalization of knowledge by tools of system-object simulation. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 330 LNNS: 390–399.
- 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.
- Bobyshev P.P., Zhikharev A.G., Gapitsonov I.Yu. 2024. On the issue of digital transformation of organizational and business processes. *Scientific result. Information technologies*, 4(9): 4–10.
- Bobyshev P.P., Zhikharev A.G., Kuznetsov A.V., Tinyakov O.A., Kabanov E.K. 2025. On the issue of formalizing the functioning of complex systems using Petri nets. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*, 8: 50–55.
- Gerasimenko V.G., Gusakov V.Ya. 2020. Information Security and Information Protection in Electronic Document Management Systems. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 401 p.
- 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 Calculus of Systems as Functional Objects. *Scientific 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. Informatics*, 51(4): 936–945.
- Kuznetsov V.N., Makarov Yu.I. 2022. Organization and Optimization of Document Flow in the Context of the Transition to Electronic Forms of Interaction. Tyumen: Tyumen State University, 294 p.



- Leontyev D.A., Popov V.V. 2020. Features of Integrated Automation of Document Flow and Product Quality Management. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 190 p.
- Lyamkin V.A., Maslennikov A.F. 2020. Fundamentals of Modeling Management Decisions and Processes. St. Petersburg: Politekhniko-servis, 287 p.
- Matorin S.I. et al. 2021. Systems Theory and Systems Analysis: Textbook. A.G. Zhikharev, O.A. Zimovets, M.F. Tuboltsev, A.A. Kondratenko; edited by S.I. Matorin. Moscow: KNORUS, 456 p.
- 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. The System-Object Approach as the Basis for General Systems Theory. *BelSU Scientific Bulletin. Series: Economics. Informatics*, 4 (46): 717–730.
- Mikhailov V.A., Skvortsova E.N. 2021. Organizational, Legal, and Technological Aspects of Electronic Document Management in an Innovative Economy. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University, 406 pages.
- Mikheev A.G. 2019. Business Process and Administrative Regulation Management Systems: The RunaWFE Free Software Example. Moscow: DMK, 336 pages.
- Petrova N.A., Novikov S.V. 2022. Document Flow Automation in Small and Medium-Sized Enterprises. Samara: Samara University, 341 pages.
- Soloviev A.I., Sokolov A.A. 2023. Integrated Solutions for Employee Workplace Automation with the Implementation of an Electronic Document Management System. Vladivostok: Far Eastern Federal University, 479 pages.
- Chepurnoy A.I., Belozerov Yu.E. 2019. Methods for Modeling Document Flows in Enterprises: Monograph. Rostov-on-Don: Phoenix, 283 pages.
- Yakovlev P.A., Andreev I.V. 2022. Problems of Automation and Standardization of Electronic Document Management in Public Sector Organizations. Volgograd: VolSU, 316 pages.

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 23.11.2025

Поступила после рецензирования 13.01.2026

Принята к публикации 20.01.2026

Received November 23, 2025

Revised January 13, 2026

Accepted January 20, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наджаджра Мухаммед Хассан, кандидат технических наук, профессор кафедры информационных систем управления, Университет Аль-Истикляль, г. Иерихон, Палестина

Бобышев Петр Петрович, директор проектов проектного офиса реинжиниринга архитектуры цифровых решений государственных сервисов корпоративного центра, ПАО «Ростелеком», г. Москва, Россия

Федоров Вячеслав Игоревич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mohammed H. Najajra, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Management Information Systems, Al Istiqlal University, Jericho, Palestine

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

Vyacheslav I. Fedorov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



Лозовая Светлана Юрьевна, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Svetlana Yu. Lozovaya, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Бабенко Александр Андреевич, ассистент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Alexander A. Babenko, Assistant, Department of Mathematical and Software Support for Information Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 004.94;303.732
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-136-143
EDN KXVSPQ

Структурный синтез материальных систем

¹ Коптелова Л.В., ² Маторин С.И.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, д. 116А

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
koptelov2a@mail.ru, matorin@bsuedu.ru

Аннотация. Создание и эксплуатация производственно-технологических систем связаны с разработкой производственных и технологических цепочек, а также цепей поставок. Несмотря на проводимые в данном направлении исследования, в том числе в рамках теории систем, а также существование множества систем автоматизации проектирования, процесс проектирования таких цепочек остается в значительной степени ручным творческим процессом. При этом обеспечение даже частичной автоматизации проектирования таких структур требует использования сложного и дорогого ПО и высокой квалификации специалистов его использующих. Анализ современного состояния показывает, что несмотря на обилие публикаций по отдельным направлениям синтеза цепочек, задача совершенствования процедур их проектирования остается в настоящее время актуальной как в общесистемном, так и в техническом плане. Целью данного исследования является разработка способа структурного синтеза цепочек материальных систем с использованием системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». В результате проведенного исследования предложен способ обеспечения синтеза цепочек материальных объектов с использованием библиотеки (базы знаний) специальной конструкции. Полученные результаты вносят вклад в теорию систем в виде формального описания принципа совместимости как общесистемной закономерности и могут служить основой для автоматизации процедуры сборки цепочек систем различной природы, в том числе производственных и технологических, а также логистических.

Ключевые слова: принцип совместимости, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», исчисление объектов, условия соединения материальных систем, библиотека материальных систем, производственные и технологические цепочки

Для цитирования: Коптелова Л.В., Маторин С.И. 2026. Структурный синтез материальных систем. *Экономика. Информатика*, 53(1): 136–143. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-136-143. EDN KXVSPQ

Structural Synthesis of Material Systems

¹ Liliya V. Koptelova, ² Sergey I. Matorin

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
koptelov2a@mail.ru, matorin@bsuedu.ru

Abstract. The creation and operation of production and technological systems involve the development of production and process chains, as well as supply chains. Despite ongoing research in this area, including that within the systems theory, and the existence of numerous design automation systems, construction of such chains remains largely a manual, creative process. Even its partial automation requires complex and expensive software and highly-skilled specialists. An analysis of the current state shows that, despite the abundance of publications on specific areas of chain synthesis, the task of improving design procedures remains relevant both in general system and technical terms. The aim of this study is to develop a method for the structural

© Коптелова Л.В., Маторин С.И., 2026

synthesis of material system chains using the "Unit-Function-Object" system-object approach. This study proposes a method for synthesis of material object chains using a specially designed library (knowledge base). The results obtained contribute to the systems theory in the form of a formal description of the compatibility principle as a system-wide regularity and may serve as a basis for automating the procedure for assembling chains of systems of various natures, including production, technological, and logistical ones.

Keywords: compatibility principle, system-object approach "Unit-Function-Object", calculus of objects, conditions for connecting material systems, library of material systems, production and technological chains

For citation: Koptelova L.V., Matorin S.I. 2026. Structural Synthesis of Material Systems. *Economics. Information technologies*, 53(1): 136–143 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-136-143. EDN KXVSPQ

Введение

Создание и эксплуатация производственно-технологических систем связаны с разработкой производственных и технологических цепочек (ПТЦ), а также логистических цепей / цепей поставок (ЛЦ). Например, в работе [Шиянов, Неженец, 2010, с. 51] утверждается, что «формирование технологической цепочки является одной из важнейших задач при организации производства, в равной степени актуальной на всех уровнях и этапах производственного процесса». При проектировании таких цепей возникает множество проблем, одной из которых является проблема их сборки (структурного синтеза) из конкретных материальных объектов (технических и организационных систем) [Шиянов, Неженец, 2010; Самгородская, 2012; Григорьев, 2015; Любященко, 2024; Капранова и др., 2024]. «Известен ряд концептуальных подходов к решению проблемы синтеза структур технологических цепочек и процессов. Однако, каждый из них обладает рядом принципиальных недостатков, которые делают невозможным создание на их основе эффективно работающих систем автоматизированного проектирования» [Агроник и др., 2016, с. 255].

Несмотря на проводимые в данном направлении исследования, в том числе в рамках теории систем (см., например, работу [Крылов, 2003]), а также существование множества систем автоматизации проектирования [Агроник и др., 2016; Поляков и др., 2024; Вертикаль], процесс проектирования ПТЦ и ЛЦ остается в значительной степени ручным творческим процессом [Агроник и др., 2016; Капранова и др., 2024; Головина, 2025]. При этом обеспечение даже частичной автоматизации проектирования таких структур требует использования сложного и дорогого ПО и высокой квалификации специалистов его использующих.

«Анализ современного состояния показывает, что, несмотря на обилие публикаций по отдельным направлениям синтеза технологических цепочек и процессов, теоретические исследования, объединяющие различные подходы в единую интеллектуальную технологию, составляют их малую часть» [Агроник и др., 2016, с. 265]. Таким образом, задача совершенствования процедур проектирования ПТЦ и ЛЦ остается в настоящее время актуальной как в общесистемном, так и в техническом плане.

Данная проблема, в рамках системного подхода, представляет собой частный случай общесистемной задачи синтеза или агрегации материальных систем (или систем-явлений [Теория систем..., 2021]) в какую-либо структуру.

Системно-объектный подход к решению задачи синтеза систем-явлений

В теории систем в качестве общесистемной закономерности, связанной с синтезом систем, рассматривается *принцип совместимости* [Сетров, 1969], определяющий условия взаимодействия между системами: *наличие у них относительной совместимости, то есть относительной качественной и организационной однородности*. В данном случае этот общесистемный принцип можно проинтерпретировать технически следующим образом. Системы-явления (материальные системы) могут быть соединены (собраны в какую-либо структуру) при условии, что (рис. 1):

1. Интерфейсы (порты) соединяющихся систем должны быть предназначены для связей (потоков элементов) одного и того же конкретного вида.

2. Пропускные способности интерфейсов (портов) соединяющихся систем одинаковы. Другими словами, интенсивность потока элементов из выходного интерфейса предшествующей системы должна быть равна интенсивности потока элементов того же вида во входном интерфейсе последующей системы.

3. Интерфейсы (порты) соединяющихся систем должны быть «конгруэнтны» (соответствовать друг другу), т. е. выход предшествующей системы может быть физически присоединен ко входу последующей системы или непосредственно, или с помощью соединителя.

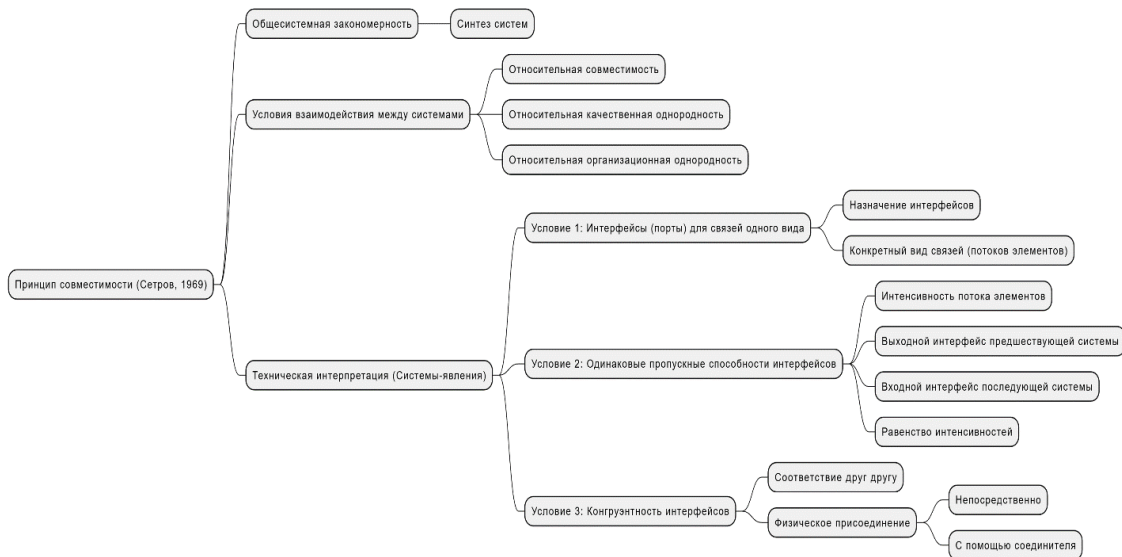


Рис. 1. Представление принципа «Совместимость» в решении задачи синтеза систем-явлений
 Fig. 1. Presentation of the “Compatibility” principle of in solving the problem of synthesizing phenomenon-type systems

Источник: составлено авторами на основе исследований М.И. Сетрова [Сетров, 1969]
 Source: compiled by the authors based on the research of M.I. Setrov [Setrov, 1969]

Таким образом, возможность синтеза или агрегации систем-явлений обусловлена, в первую очередь, внешними, эмерджентными, объектными характеристиками этих систем.

Для формального описания названных выше условий соединения (сборки) систем целесообразно использовать представление системы в рамках системно-объектного подхода в виде конструкции «Узел-Функция-Объект». Данное представление позволяет описать систему в виде специального объекта исчисления объектов Абади-Кардели [Теория систем..., 2021]:

$$s_i = [(L_i^?, L_i!); f(L_i^?)L_i!; (O_i^?, O_i!, O_i f)],$$

где $L_i^?$ – поле специального объекта для описания множества входящих интерфейсных потоков, соответствующих входящим связям системы s_i , $L_i!$ – поле специального объекта для описания множества исходящих интерфейсных потоков, соответствующих выходящим связям системы s_i . Причем $L_i^? \subset L$ и $L_i! \subset L$, т. е. относятся к множеству всех связей L ;

– f – метод специального объекта, описывающий функцию системы s_i , т. е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоков (входящих связей системы) $L_i^?$ в выходящие $L_i!$. В соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод объекта представляется в следующем виде: $f(L_i^?)L_i!$, где f – метод объекта (функция/процесс системы s_i) с областью определения $L_i^?$ и областью значений $L_i!$, соответственно;

– $O_i^?$ – множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики специального объекта (системы s_i), $O_i!$ – множество полей, которое содержит интерфейсные

выходные характеристики специального объекта (системы s_i), O_i^f – множество полей, которое содержит внутренние передаточные характеристики специального объекта (системы s_i). При этом множество полей для описания объектных характеристик системы $O_i = O_i^? \cup O_i^! \cup O_i^f$,

Для решения задачи синтеза представление системы как специального объекта исчисления объектов может быть уточнено с учетом упомянутых выше условий соединения систем-явлений (материальных систем). В данном случае метод объекта f , описывающий функцию системы, и поле объекта O_i^f , содержащие внутренние передаточные характеристики системы, не играют никакой роли для понимания возможности соединения систем друг с другом. Это обусловлено тем фактом, что внутренние, в том числе функциональные, характеристики определяются внешними функциональными связями, которые учтены в полях, описывающих входящие и выходящие связи. Таким образом, материальная система, в данном случае, может быть представлена следующим образом:

$$s_i = [(L_i^?, L_i^!); (O_i^?, O_i^!)]$$

С учетом результатов, представленных в работе [Маторин и др., 2024], множество L можно конкретизировать как наборы входных и выходных связей функциональных узлов: $L = \{V, VE, VI, VEI, E, EV, EI, EVI, I, IV, IE, IVE\}$, где V – поток вещества; E – поток энергии; I – поток информации.

Входные и выходные объектные характеристики можно представить в виде кортежа, содержащего параметры интенсивности и физические характеристики интерфейсов: $O_i^? = \langle \beta L_i^?, mL_i^? \rangle$; $O_i^! = \langle \beta L_i^!, mL_i^! \rangle$, где βL – интенсивность потока (пропускная способность интерфейса); mL – механическая характеристика интерфейса.

Данное уточненное формальное представление системы позволяет описать процедуру и результат синтеза систем-явлений следующим образом:

Две системы $s_i = [(L_i^?, L_i^!); (\beta L_i^?, mL_i^?; \beta L_i^!, mL_i^!)]$ и $s_j = [(L_j^?, L_j^!); (\beta L_j^?, mL_j^?; \beta L_j^!, mL_j^!)]$ могут быть соединены, если: $L_i^! = L_j^?$; $\beta L_i^! = \beta L_j^?$; $mL_i^! \Rightarrow mL_j^?$. Результат соединения: $s_{ij} = [(L_i^?, L_j^!); (\beta L_i^?, mL_i^?; \beta L_j^!, mL_j^!)]$.

Библиотека материальных систем

Представленная интерпретация принципа совместимости позволяет предложить способ решения практических задач сборки (структурного синтеза) материальных систем. Так как решение данной задачи непосредственно зависит от наличия знаний об элементах, из которых осуществляется сборка, то целесообразным является создание и использование специальной библиотеки (как базы знаний) таких систем, описываемых показанным выше способом, для соответствующей предметной области.

Предлагаемая структура библиотеки представлена ниже.

1. Для каждой $L_i^?$ и $L_i^!$ хранятся наборы конкретных видов вещественных (V), энергетических (E) и информационных (I) связей в соответствии с упомянутыми выше входами и выходами функциональных узлов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Конкретные виды входных и выходных связей
Specific types of input and output connections

V	VE	VI	VEI	E	EV	EI	EVI	I	IV	IE	IVE
v_1	ve_1	vi_1	vei_1	e_1	ev_1	ei_1	evi_1	i_1	iv_1	ie_1	ive_1
...
v_k	ve_k	vi_k	vei_k	e_k	ev_k	ei_k	evi_k	i_k	iv_k	ie_k	ive_k
...



В данной таблице (их должно быть две: одна для входов (?) и другая для выходов (!) соответственно) представлено, как предполагается хранить виды конкретных входных и выходных связей (например, $v_k, ve_k, \dots, vei_k, \dots$ и т. д.), распределенные по классам входов и выходов функциональных узлов, определенных и описанных в работе [Маторин и др., 2024].

При этом отдельно взятая, например, вещественная связь v_k (так же как энергетическая связь e_k и информационная связь i_k) и, например, вещественная связь в конструкции ve_k или конструкции vei_k – это разные связи, так как данные конструкции представляют собой единое целое. Индекс k определяет количество конкретных видов связей в каждом классе связей функциональных узлов, которое может быть различным. Кроме того, входной комплекс связей (например, $ve_k?$) включает в себя связи отличные от связей выходного комплекса (например, $ve_k!$).

2. Для каждого конкретного вида входных и выходных связей хранятся характеристики интенсивности потоков элементов по этим связям $\beta L_i?$ и $\beta L_i!$ (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Характеристики интенсивности потоков элементов по связям
 Characteristics of the intensity of element flows along links

v_k	ve_k	vi_k	vei_k	e_k	ev_k	ei_k	evi_k	i_k	iv_k	iek	ive_k
βv_{k1}	βve_{k1}	βvi_{k1}	βvei_{k1}	βe_{k1}	βev_{k1}	βei_{k1}	βevi_{k1}	βi_{k1}	βiv_{k1}	βiek_{k1}	βive_{k1}
...
βv_{kn}	βve_{kn}	βvi_{kn}	βvei_{kn}	βe_{kn}	βev_{kn}	βei_{kn}	βevi_{kn}	βi_{kn}	βiv_{kn}	βiek_{kn}	βive_{kn}
...

В данной таблице (их должно быть две: одна для входов (?) и другая для выходов (!) соответственно) представлено, как предполагается хранить характеристики интенсивности потоков элементов по входным и выходным связям (например, $\beta v_{kn}, \beta ve_{kn}, \dots, \beta evi_{kn}, \dots$ и т. д.), распределенные по конкретным видам связей.

Символ β , например, в конструкции βve_{kn} означает, что и вещественная связь, и энергетическая имеют каждая свою характеристику интенсивности. Индекс n определяет количество возможных вариантов характеристик потоков связей для конкретного вида связей, которое может быть различным. Кроме того, характеристики входных связей (например, $\beta ve_{kn}?$), естественно, отличаются от характеристик выходных связей (например, $\beta ve_{kn}!$).

3. Для каждого конкретного вида входных и выходных связей хранятся механические характеристики входного и выходного интерфейса $mL_i?$ и $mL_i!$, позволяющие определить возможность физического присоединения одной системы к другой (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Механические характеристики интерфейса
 Mechanical characteristics of the interface

v_k	ve_k	vi_k	vei_k	e_k	ev_k	ei_k	evi_k	i_k	iv_k	iek	ive_k
mv_{k1}	mve_{k1}	mvi_{k1}	$mvei_{k1}$	me_{k1}	mev_{k1}	mei_{k1}	$mevi_{k1}$	mi_{k1}	miv_{k1}	$miek_{k1}$	$mive_{k1}$
...
mv_{kp}	mve_{kp}	mvi_{kp}	$mvei_{kp}$	me_{kp}	mev_{kp}	mei_{kp}	$mevi_{kp}$	mi_{kp}	miv_{kp}	$miek_{kp}$	$mive_{kp}$
...

В данной таблице (их должно быть две: одна для входов (?) и другая для выходов (!) соответственно) представлено, как предполагается хранить механические характеристики интерфейсов по входным и выходным связям (например, $mv_{kp}, mve_{kp}, \dots, mevi_{kp}, \dots$ и т. д.), распределенные по конкретным видам связей. Символ m , например, в конструкции mv_{knekn} означает, что и вещественная связь, и энергетическая имеют каждая свою механическую характеристику интерфейса. Индекс p определяет количество возможных вариантов

механических характеристик интерфейсов для конкретного вида связей, которое может быть различным. Кроме того, характеристики входных интерфейсов (например, $mve_{кр}?$), естественно, отличаются от характеристик выходных интерфейсов (например, $mve_{кр}!$).

Методика использования библиотеки для сборки материальных систем

Сборка (структурный синтез) материальных систем с использованием предлагаемой библиотеки сводится к следующей процедуре, которую рассмотрим далее на примере.

Пусть имеется некоторая система $ss1$ как начальный компонент некоторой цепи. При этом данная система может быть представлена в терминах описанной выше библиотеки следующим образом:

$$ss1 = [(v_k?, ve_b!); (\beta v_{kd}?, mv_{kc}?, \beta ve_{br}!, mve_{bt}!).]$$

Для нахождения последующей системы $ss2$, которая может быть присоединена к $ss1$, необходимо в таблице 1? (для входов) найти входные связи, одноименные с $ve_b!$. Затем в таблице 2? (для входов) найти эти связи с характеристиками $\beta ve_{br}!$, а затем в таблице 3? (для входов) найти для них интерфейсы, соответствующие $mve_{bt}!$.

Для того, чтобы поиск мог быть осуществлен по формальным признакам, индексы одинаковых связей в таблицах входов (?) и выходов (!) должны быть одинаковыми. Кроме того, должны быть одинаковыми индексы идентичных характеристик интенсивности потоков по этим связям, а также одинаковыми должны быть индексы механических параметров интерфейсов, соответствующих друг другу.

Если библиотека построена с учетом этого условия, то в ней оперативно можно определить, что к системе $ss1$ можно присоединить систему

$$ss2 = [(ve_b?, ___!); (\beta ve_{br}?, mve_{bt}?, ___!, ___!).]$$

Выходы данной системы не обозначены специально, так как в общем случае это не единственный вариант, и окончательный выбор будет определяться целями синтеза, которые здесь не оговорены.

Заключение

Задачи синтеза и анализа систем тесно связаны. Анализ (декомпозиция) системы всегда переходит в синтез (агрегацию, сборку) выявляемых в результате анализа элементов. Поэтому использование разрабатываемой библиотеки для моделирования сборки материальных систем при проектировании ПТЦ или ЛЦ должно предваряться решением задачи анализа некоторой системы, которое должно наметить направление, цель синтеза, сборки ее подсистем.

При этом задача синтеза, как самостоятельная актуальная задача, может решаться описанным выше способом. Данный способ при наличии библиотеки в заданной предметной области позволяет в перспективе автоматизировать структурный синтез ПТЦ или ЛЦ без использования сложного и дорогого ПО для имитационного моделирования.

Использование предлагаемой библиотеки может приводить к нескольким вариантам сборки цепей. Выбор из нескольких вариантов должен осуществляться путем учета дополнительных требований, например, связанных со стоимостью функционирования учтенных в библиотеке систем.

Список литературы

- Агроник А.Ю., Талалаев А.А., Фраленко В.П., Хачумов В.М., Шишкин О.Г. 2016. Анализ систем проектирования технологических цепочек и процессов. *Онтология проектирования*, 6. 3(21): 255–269.
- «ВЕРТИКАЛЬ». Система автоматизированного проектирования технологических процессов. URL: <https://ascon.ru/products/vertical/>
- Головина Е. 2025. Нормативно-техническая база информационного моделирования требует кардинальных изменений. *САПР И ГРАФИКА*, 2(342): 24–27.



- Григорьев Ю.П. 2015. Модель обслуживания цепей поставок материальных ресурсов. *Ученые записки Санкт-Петербургского им. В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии*, 2 (54): 68–75.
- Капранова Л.Д., Абдикеев Н.М., Бекулова С.Р. 2024. Особенности и проблемы формирования производственно-технологических цепочек в цифровом пространстве промышленности. *Проблемы экономики и юридической практики*, 20. 5: 123–133.
- Крылов С.М. 2003. Формально-технологические модели в общей теории систем. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 5. 1: 83–90.
- Любященко С.Н. 2024. Моделирование функционирования производственно-хозяйственной цепи. *Идеи и идеалы*, Т. 16, № 1, ч. 2: 333–350.
- Маторин С.И., Песоцкий С.А., Жихарев А.Г., Дмитриева Ю.В. 2024. Усовершенствованный алфавит для графоаналитического моделирования процессов с использованием системно-объектного анализа. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2: 95–108.
- Поляков Е.Ю., Кондусов Д.В., Кондусова В.Б. 2024. Использование модулей инженерных знаний при автоматизированном проектировании технологических процессов. *Автоматизация в промышленности*, 2: 12–14.
- Самгородская О.В. 2012. Формирование технологических цепочек инновационно-ориентированных обрабатывающих производств в условиях интеграции российских предприятий в мировые научно-технологические циклы. *Экономические науки*, 10(95): 213–216.
- Сетров М.И. 1969. Степень и высота организации систем. Системные исследования. Ежегодник. М., Наука, 159 с.
- Теория систем и системный анализ. 2021. Под ред. С.И. Маторина, А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко. М., КНОРУС, 455 с.
- Шиянов Б.А., Неженец В.С. 2010. Анализ моделей и методов формирования технологических цепочек на основе территориально-распределенных объектов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 6.12: 51–58.

References

- Agronik A.YU., Talalaev A.A., Fralenko V.P., Nachumov V.M., SHishkin O.G. 2016. Analiz sistem proektirovaniya tekhnologicheskikh cepochek i processov [Analysis of design systems for technological chains and processes]. *Ontologiya proektirovaniya [Design ontology]*, 6. 3(21): 255–269.
- «VERTIKAL'». Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologicheskikh processov [Automated design system for technological processes]. URL: <https://ascon.ru/products/vertical/>
- Golovina E. 2025. Normativno-tekhnicheskaya baza informacionnogo modelirovaniya trebuets kardinal'nyh izmenenij [The regulatory and technical framework for information modeling requires radical changes]. *SAPR I GRAFIKA [CAD AND GRAPHICS]*, 2(342): 24–27.
- Grigor'ev YU. P. 2015. Model' obsluzhivaniya cepej postavok material'nyh resursov [A model for servicing supply chains of material resources]. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo im. V.B. Bobkova filiala Rossijskoj tamozhennoj akademii [Scientific Notes of the St. Petersburg State University]*, 2 (54): 68–75.
- Kapranova L.D., Abdikeev N.M., Bekulova S.R. 2024. Osobennosti i problemy formirovaniya proizvodstvenno-tekhnologicheskikh cepochek v cifrovom prostranstve promyshlennosti [Features and problems of formation of production and technological chains in the digital space of industry]. *Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki [Problems of Economics and Legal Practice]*, 20. 5: 123–133.
- Krylov S.M. 2003. Formal'no-tekhnologicheskie modeli v obshchej teorii system [Formal Technological Models in General Systems Theory]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 5. 1: 83–90.
- Lyubyashchenko S.N. Modelirovanie funkcionirovaniya proizvodstvenno-hozyajstvennoj cepe [Modeling the Functioning of a Production and Economic Chain]. *Idei i idealy [Ideas and Ideals]*, 2024. Т. 16, № 1, ч. 2: 333–350.
- Matorin S.I., Pesockij S.A., ZHiharev A.G., Dmitrieva YU.V. 2024. Usovershenstvovannyj alfavit dlya grafoanaliticheskogo modelirovaniya processov s ispol'zovaniem sistemno-ob'ektnogo analiza [Improved alphabet for graph-analytical modeling of processes using system-object analysis]. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making]*, 2: 95–108.
- Polyakov E.YU., Kondusov D.V., Kondusova V.B. 2024. Ispol'zovanie modulej inzhenernyh znaniy pri avtomatizirovannom proektirovanii tekhnologicheskikh processov [Use of engineering knowledge

- modules in automated design of technological processes]. *Avtomatizaciya v promyshlennosti [Automation in industry]*, 2: 12–14.
- Samgorodeckaya O.V. 2012. Formirovanie tekhnologicheskikh cepochek innovacionno-orientirovannykh obrabatyvayushchih proizvodstv v usloviyah integracii rossijskikh predpriyatij v mirovye nauchno-tekhnologicheskie cikly [Formation of technological chains of innovation-oriented manufacturing industries in the context of the integration of Russian enterprises into global scientific and technological cycles]. *Ekonomicheskie nauki [Economic sciences]*, 10(95): 213–216.
- Setrov M.I. 1969. Stepen' i vysota organizacii sistem. Sistemnye issledovaniya [The Degree and Height of System Organization]. *Systems Research. Yearbook. Moscow, Nauka*, 159 p.
- Teoriya sistem i sistemnyj analiz [Systems Theory and Systems Analysis]. 2021. Pod red. S.I. Matorina, A.G. ZHiharev, O.A. Zimovec, M.F. Tubol'cev, A.A. Kondratenko.M., KNORUS, 455 s.
- SHiyarov B.A., Nezhenec V.S. 2010. Analiz modelej i metodov formirovaniya tekhnologicheskikh cepochek na osnove territorial'no-raspredeleennykh ob"ektov [Analysis of models and methods for forming technological chains based on geographically distributed objects]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Technical University]*, 6.12: 51–58.

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 20.01.2026

Поступила после рецензирования 27.02.2026

Принята к публикации 02.03.2026

Received January 20, 2026

Revised February 27, 2026

Accepted March 02, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коптелова Лилия Валерьевна, старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Liliya V. Koptelova, Senior Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND MANAGEMENT

УДК 004.82
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-144-152
EDN LFDANJ

Использование моделей BERT и GPT как эффективное решение для автоматизации построения онтологий

Катышев А.М., Аникин А.В.

Волгоградский государственный технический университет
Россия, 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, д. 28
anton@anikin.name

Аннотация. В статье рассматривается проблема автоматизации построения онтологических баз знаний из неструктурированных русскоязычных текстов. Основная цель исследования – разработка и оценка комбинированного подхода, повышающего качество извлечения знаний. Методология основана на синергии двух передовых моделей обработки естественного языка (Natural Language Processing): Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) для точной идентификации концептов и базовых отношений, и Generative Pre-trained Transformer (GPT) для генерации неявных связей и обогащения онтологии. Экспериментальная оценка на корпусе текстов по веб-разработке показала, что предложенный метод BERT+GPT достигает F1-меры 0.82, что значительно превосходит существующие решения, такие как Text2Onto (0.52) и FRED (0.62). Наиболее важным результатом является статистически значимое улучшение полноты извлечения и итоговой F1-меры, что доказывает эффективность гибридного подхода. Практическая значимость работы заключается в возможности автоматизировать создание баз знаний для русскоязычных информационных и образовательных систем.

Ключевые слова: онтологическая база знаний, граф знаний, извлечение онтологий, BERT, GPT

Для цитирования: Катышев А.М., Аникин А.В. 2026. Использование моделей BERT и GPT как эффективное решение для автоматизации построения онтологий. *Экономика. Информатика*, 53(1): 144–152. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-144-152. EDN LFDANJ

Effective BERT and GPT Integration for Ontology Development

Aleksandr M. Katyshev, Anton V. Anikin

Volgograd State Technical University
28 Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia
anton@anikin.name

Abstract. This paper addresses the challenge of automated ontology construction, particularly for morphologically rich languages like Russian, where existing tools such as Text2Onto and FRED show significant limitations. We introduce a novel hybrid methodology that synergistically integrates two powerful transformer-based models to build comprehensive ontological knowledge bases from Russian text corpora. The primary objective is to overcome the trade-off between precision and recall inherent in single-model approaches. Our proposed framework operates in a two-stage process. Initially, a Russian-adapted Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) model is employed for high-precision

extraction of explicit knowledge. Leveraging its deep contextual understanding, BERT performs named entity recognition to identify candidate concepts and extracts a foundational set of semantic relationships through a sentence-pair classification approach. Subsequently, a fine-tuned Generative Pre-trained Transformer (GPT) model is utilized for knowledge enrichment and recall enhancement. GPT generates plausible hypotheses about unstated or implicit relationships between concepts, refines and verifies relations found by BERT, and resolves logical conflicts, thereby filling knowledge gaps. An empirical evaluation was conducted on a corpus of educational texts on web development to validate the method efficacy. The combined BERT+GPT approach demonstrated superior performance, achieving an F1-measure of 0.82, which significantly surpasses standalone BERT (0.80), FRED (0.62), and Text2Onto (0.52). This improvement is primarily attributed to a substantial increase in recall (0.81) while maintaining high precision (0.82). The practical application and utility of the generated ontologies are discussed in the context of their integration with knowledge management platforms like Stardog, enabling advanced semantic search, data enrichment, and logical inference capabilities.

Keywords: Ontological Knowledge Base, Knowledge Graph, Ontology Learning, BERT, GPT

For citation: Katyshev A.M., Anikin A.V. 2026. Effective BERT and GPT Integration for Ontology Development. *Economics. Information technologies*, 53(1): 144–152 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-144-152. EDN LFDANJ

Введение

Онтологические базы знаний (ОБЗ) и графы знаний все чаще используются для организации и применения накопленной информации в различных областях науки и техники [Hogan et al., 2021]. С развитием интернет-технологий объем неструктурированных текстовых данных, в том числе на русском языке, стремительно растет [Anikin et al., 2014; Katyshev et al., 2021]. Автоматическое извлечение знаний из этих текстовых корпусов и последующее формирование ОБЗ позволяют преобразовать разрозненные тексты в структурированное представление знаний, пригодное для семантического поиска, анализа данных и логического вывода. Задача создания онтологических баз знаний из текстов является крайне актуальной в связи с необходимостью организации знаний и поддержки принятия решений в условиях больших данных, а также развитием семантического веба.

Несмотря на значительный прогресс в области обработки естественного языка (NLP) и машинного обучения, задача автоматического построения онтологий остается сложной [Petroni et al., 2019]. Требуется модели, способные понимать контекст русскоязычных текстов, извлекать ключевые концепты и их взаимосвязи, а также формировать формальное представление – онтологию.

Современное состояние вопроса. В области извлечения онтологий из текстовых данных разработан широкий спектр подходов. Систематические обзоры показывают, что использование больших языковых моделей для инженерии онтологий и построения графов знаний является одним из наиболее активно развивающихся направлений [Al-Aswadi et al., 2020; Pan et al., 2023; Viemann, 2005]. Ранние исследования опирались на сочетание лингвистического анализа и статистических методов. Например, Text2Onto является одной из ранних систем для извлечения онтологий из текста, использующей вероятностные методы для выявления терминов, концептов и отношений [Cimiano, Völker, 2005]. Text2Onto представляет собой дальнейшее развитие Text-To-Onto, использующего моделирование знаний с помощью примитивов (концептов, отношений, аксиом), извлекаемых из корпуса текстов посредством анализа частей речи и идентификации совместных упоминаний на основе частоты. Однако последующие исследования выявили ограничения Text2Onto, включая сложность настройки и установки инструмента, зависимость качества от объема обучающих данных и трудности масштабирования на большие текстовые корпуса. В частности, отмечалась необходимость ручного улучшения качества получаемых онтологий.

Другим подходом является инструмент OntoGen, который реализует принцип полуавтоматического построения онтологий [Fortuna et al., 2007]. OntoGen сочетает алгоритмы

кластеризации текстов и интерактивный пользовательский интерфейс для вовлечения эксперта в процесс генерации онтологии. Основные возможности OntoGen включают автоматическое предложение потенциальных концептов на основе тематического моделирования, упрощение их именования и визуализацию онтологии для пользователя. Ограничением OntoGen является то, что он требует активного участия эксперта и не является полностью автоматическим, а качество онтологии в значительной степени зависит от действий пользователя. Кроме того, его применение к русскоязычным текстам требует дополнительных этапов предварительной обработки (например, морфологического анализа) и может приводить к снижению качества кластеризации из-за богатства русской морфологии.

Современные методы все чаще используют достижения в области семантического анализа и лингвистического парсинга. Например, FRED (Friendly Efficient Deductor) – это инструмент машинного чтения для семантического веба, который автоматически преобразует неструктурированные тексты в формальные онтологии (RDF/OWL) [Gangemi et al., 2017]. FRED опирается на комбинаторную категориальную грамматику и фреймовую семантику для глубокой обработки текста: выполняется синтаксический анализ предложений, разрешение анафоры, распознавание именованных сущностей и снятие омонимии в словаре. FRED может обогащать полученную онтологию ссылками на внешние базы знаний (например, DBpedia) и лексические базы (WordNet). Однако у этого инструмента есть ограничения: он в первую очередь ориентирован на английский язык, а визуализация полученных сложных графов знаний часто затруднена из-за их объема. Использование FRED в реальном времени ограничено производительностью глубокой обработки текста.

Помимо перечисленных, существуют и другие подходы, такие как шаблонные методы на основе лексико-синтаксических паттернов (например, шаблоны типа «X есть Y») и системы извлечения открытых отношений (OpenIE). Однако большинство традиционных систем либо требуют трудоемкой настройки, либо не в полной мере используют контекст, что особенно критично для русского языка. Это мотивирует нас обратиться к современным контекстным языковым моделям для повышения качества извлечения знаний.

Постановка проблемы. Целью данного исследования является разработка подхода для извлечения знаний из русскоязычных текстовых корпусов и генерации на их основе онтологической базы знаний. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

- 1) анализ существующих методов и инструментов для извлечения онтологических знаний из текстов;
- 2) разработка комбинированной модели на основе современных языковых моделей BERT и GPT для повышения качества извлечения концептов и отношений;
- 3) экспериментальная проверка эффективности предложенного подхода;
- 4) демонстрация работы модели на конкретном примере;
- 5) обсуждение возможностей интеграции полученных онтологий с платформами управления знаниями.

Объект и методы исследования

Объект исследования. Объектом исследования являются русскоязычные текстовые корпуса из различных предметных областей. В качестве основного примера в данной работе используется корпус учебных материалов по теме «Разработка веб-сайтов на PHP», включающий разделы, описывающие язык PHP, принципы веб-разработки, взаимодействие PHP с базами данных, HTML-разметку и сопутствующие технологии.

Методы исследования. Мы предлагаем комбинированный подход, который объединяет мощь двух современных типов моделей на основе трансформеров, BERT и GPT, для автоматического построения онтологической базы знаний.

Этап 1: извлечение знаний с помощью BERT. На первом этапе используется BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – двунаправленная модель-трансформер, предварительно обученная на большом текстовом корпусе [Devlin et al., 2019]. Мы применяем

русскоязычную версию BERT, адаптированную для учета специфики морфологии и лексики русского языка [Kuratov, Arkhipov, 2019]. BERT выполняет следующие шаги:

1. Распознавание именованных сущностей и ключевых терминов. Модель BERT, дообученная для задачи извлечения сущностей (NER), проходит по текстам и размечает последовательности слов, соответствующие потенциальным концептам. Благодаря использованию контекстного представления распознаются общие сущности независимо от их формальной вариативности. Например, «PHP» и «язык PHP» будут распознаны как связанный концепт PHP (язык программирования). Ключевое преимущество BERT заключается в его способности создавать контекстуальные представления (эмбединги) для каждого слова. Это позволяет модели понимать, что «PHP» и «язык PHP» относятся к одному и тому же концепту, даже если они выражены по-разному. BERT учитывает окружающие слова, чтобы точно определить значение и категорию сущности. Например, если в тексте встречается "PHP", BERT может определить, что это язык программирования, а не случайное сочетание букв, исходя из контекста предложения или всего документа. Результатом этого шага является набор размеченных сущностей из входного текста, каждая из которых ассоциирована с определенной категорией. Например: [(PHP, ЯзыкПрограммирования), (MySQL, СУБД), (HTML, ЯзыкРазметки)].

2. Классификация и кластеризация сущностей. Используя латентные представления (эмбединги) извлеченных терминов из BERT, система вычисляет семантическое сходство между ними. Термины автоматически группируются по значению, что помогает выявить общие концепты более высокого уровня. Например, термины «MySQL» и «PostgreSQL» могут иметь схожие эмбединги и быть классифицированы как реляционные СУБД, в то время как «HTML» и «Markdown» – как язык разметки. Таким образом строится первичная таксономия (иерархия «класс-подкласс»). Результатом является структурированная иерархия концептов, где общие категории объединяют более специфические сущности.

3. Извлечение семантических отношений. BERT также используется для обнаружения отношений между концептами с помощью контекстных представлений. Мы применяем подход классификации пар предложений: для каждой пары кандидатов формируется вход для BERT, состоящий из фразы, в которой упоминаются обе сущности. Модель, дообученная на размеченных данных, определяет тип отношения между X и Y или указывает на его отсутствие. В результате формируется каркас онтологии в виде набора триплетов (субъект, отношение, объект), содержащий отношения «класс-подкласс», «элемент множества», «функциональная связь» и т. д. Главное преимущество здесь – высокая точность (precision) благодаря глубокому контекстуальному пониманию, которое обеспечивает BERT. Модель способна выявлять даже неявно выраженные, но подразумеваемые связи, минимизируя количество ложных срабатываний. BERT в основном ограничен извлечением тех отношений, которые явно или достаточно очевидно выражены в тексте. Это создает потребность в этапе обогащения с помощью GPT.

Основное преимущество BERT – высокая точность (precision) извлечения фактов за счет учета контекста, что снижает количество ложных срабатываний. Однако его использование ограничено извлечением только тех отношений, которые явно выражены в тексте.

Этап 2: обогащение знаний с помощью GPT. На втором этапе используется GPT (Generative Pre-trained Transformer) – авторегрессионная языковая модель [Brown et al., 2020], которая в нашей системе выступает в роли генератора и уточнителя отношений. Мы использовали модель, дополнительно дообученную на текстовом корпусе в области программирования, чтобы максимально приблизить ее к нужному контексту [Karpukhin et al., 2021]. GPT выполняет следующие задачи:

1. Генерация дополнительных отношений. После того как BERT сформировал базовый граф знаний, GPT проверяет возможное наличие семантической связи для каждой пары концептов, не связанных явно. Модели подается описание каждого концепта и вопрос в свободной форме, например: «Как связаны концепты X и Y?». GPT генерирует вероятное

утверждение. Если в сгенерированном тексте явно присутствует отношение (например, «PHP взаимодействует с MySQL для доступа к базе данных»), из него извлекается новый триплет. Это помогает улучшить полноту (recall) онтологии, добавляя триплеты, которые не были явно выражены в исходном корпусе. Если в сгенерированном GPT тексте явно присутствует новое отношение (например, «взаимодействует_с» между «PHP» и «MySQL»), оно извлекается и добавляется в онтологию как новый триплет (Субъект, Отношение, Объект). Это позволяет «наполнить» граф знаний связями, которые не были очевидны из прямого текстового анализа BERT. Этот процесс значительно улучшает полноту онтологии, добавляя ценные связи, которые не были явно выражены в исходном корпусе текстов. GPT восполняет пробелы, используя свои «знания мира» и способность к логическому выводу.

2. Уточнение и верификация существующих отношений. Для каждого отношения, найденного BERT, GPT может сгенерировать уточняющее предложение или краткое описание этого отношения. Например, для триплета (PHP, используется_для, Веб-разработка) GPT может сгенерировать описание: «PHP используется для серверной веб-разработки». Это служит как для проверки правдоподобности отношения (если GPT «согласен» с фактом и может его связно описать), так и для обогащения онтологии аннотациями, что ценно для конечных пользователей. Этот процесс служит двойной цели: проверка правдоподобия – если GPT «согласен» с фактом и может его связно и логично описать, это служит косвенным подтверждением правдоподобия отношения. Неспособность GPT сгенерировать адекватное описание может указывать на потенциальную ошибку или неточность в извлеченном триплете, требующую дальнейшей проверки; обогащение онтологии аннотациями – сгенерированные описания могут быть добавлены к отношениям в онтологии в качестве аннотаций или комментариев. Это делает онтологию более «читаемой» и полезной для конечных пользователей, которым не всегда очевидно значение формальных связей.

3. Разрешение конфликтов и заполнение пробелов. Если в графе знаний обнаруживаются противоречия, GPT используется для их разрешения. Модели на основе GPT способны учитывать огромное количество мировых знаний, поэтому они могут предположить, например, что один из конфликтующих суперклассов является более общим понятием [Bosselut et al., 2019; Petroni et al., 2019]. Современные подходы также включают методы промпт-тюнинга с использованием онтологических знаний, что повышает эффективность при малом количестве примеров [Ye et al., 2022]. Аналогично, GPT может предлагать новые обобщающие концепты для нескольких несвязанных сущностей с общими чертами. GPT также может быть использован для выявления «несвязанных» сущностей, которые, тем не менее, имеют общие черты. Модель может предложить новый, более общий концепт, который объединит эти сущности. Например, если в онтологии присутствуют «PHP», «Python» и «Java» как отдельные языки программирования, но нет общего класса «ЯзыкПрограммирования», GPT может предложить создать такой класс, основываясь на их общих характеристиках и функциях. Это помогает в дальнейшей иерархической организации знаний.

Этап 3: устранение предвзятости. Для решения проблем предвзятости были проведены специальные работы, что является важным аспектом, так как предвзятость и справедливость в больших языковых моделях – активно исследуемая проблема [Haque et al., 2025]. Применялись техники дебиасинга, такие как перевзвешивание и методы проецирования; использовались промпты и механизмы фильтрации для направления модели к более нейтральным и справедливым ответам; формулировались запросы, стимулирующие модель рассматривать различные точки зрения; а также применялись инструкции, поощряющие генерацию оригинальных решений и дополнительное обучение на редких, но успешных примерах.

Метрики оценки. Для оценки качества извлечения информации мы использовали стандартные метрики: полнота (Recall), точность (Precision) и их гармоническое среднее – F1-мера. Эталонные онтологии для оценки были подготовлены вручную экспертами.

Результаты и их обсуждение

Для оценки эффективности разработанного метода были проведены эксперименты на корпусах русскоязычных текстов. В качестве сравниваемых решений были выбраны классический инструмент Text2Onto, современный метод FRED, а также версии нашего подхода, использующие только BERT или только GPT. Поскольку некоторые из сравниваемых инструментов не поддерживают русский язык напрямую, для них тексты предварительно переводились на английский язык. Результаты для корпуса по веб-разработке представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Результаты извлечения онтологии для корпуса по веб-разработке (метрики усреднены по 10 запускам)
Ontology extraction results for the web development corpus (metrics averaged over 10 runs)

Метод	Точность	Полнота	F1-мера
Предложенный BERT+GPT	0,82	0,81	0,82
BERT	0,85	0,75	0,80
GPT	0,78	0,80	0,79
Text2Onto	0,60	0,45	0,52
FRED	0,70	0,55	0,62
OntoGen	0,65	0,50	0,57

Обсуждение результатов. Анализ результатов выявляет явное преимущество предложенного комбинированного подхода. Метод BERT+GPT достиг наивысшей полноты (в некоторых прогонах до 88 %), значительно превосходя классические системы. Увеличение полноты объясняется способностью GPT генерировать скрытые отношения, которые не были явно представлены в тексте. Точность нашего метода (82 %) незначительно уступает чистому подходу на основе BERT (85 %), что является ожидаемым, поскольку генерация новых фактов может приводить к небольшому количеству ошибок. Несмотря на это, итоговая F1-мера (0.82) является самой высокой среди всех сравниваемых методов. Статистически значимое улучшение (на 5–20 процентных пунктов по F1-мере) демонстрирует эффективность синергии BERT и GPT.

Качественный анализ извлеченных онтологий показал, что наш метод обнаруживает как все основные концепты, так и ряд дополнительных, которые были лишь неявно связаны с темой. Инструменты, такие как Text2Onto, часто ограничивались узким набором сущностей, упуская, например, обобщающие категории. FRED, в свою очередь, генерировал избыточный граф со множеством нерелевантных для данной предметной области узлов (шум). Наш метод эффективно фильтрует нерелевантные сущности на этапе BERT и добавляет недостающие важные связи с помощью GPT, в то время как другие модели могут испытывать трудности с обработкой сложных табличных данных [Zhao et al., 2023].

Пример практической реализации. В результате обработки корпуса по теме «Разработка веб-сайтов на PHP» была автоматически построена онтология предметной области. Она включает основные концепты: PHP, Веб-сайт, веб-разработка, база данных, HTML и др., а также отношения между ними: например, PHP «является» языком программирования, PHP «используется в» веб-разработке, PHP «взаимодействует с» MySQL, MySQL «является» базой данных и т. д.

Обсуждение интеграции. Практическая ценность автоматически построенных онтологий раскрывается при их интеграции в существующие инструменты управления знаниями, такие как OntoDog [Zheng et al., 2014] и StarDog.

OntoDog может использоваться для визуализации, редактирования и создания упрощенных «представлений для сообщества» на основе сгенерированной онтологии [Zheng

et al., 2014]. Это позволяет экспертам: (а) скрывать части онтологии, нерелевантные для конкретного приложения; (б) добавлять пользовательские описания или метки; (в) генерировать упрощенную версию для образовательных целей, доводя автоматически сгенерированную структуру до удобного для пользователя состояния.

Stardog, промышленная платформа графов знаний, открывает возможности для выполнения сложных семантических запросов (SPARQL) к данным, извлеченным из текстов. Например, можно найти все технологии, которые «взаимодействуют с базами данных», даже если эти связи были разбросаны по разным документам. Stardog также позволяет обогащать онтологию путем связывания ее узлов с внешними источниками данных (CSV, SQL, API) и поддерживает логический вывод для автоматического получения новых фактов. Например, если определить отношение «взаимодействует_с» как симметричное, система сможет автоматически вывести, что если А взаимодействует с В, то и В взаимодействует с А, повышая полноту знаний.

Перед интеграцией в промышленные репозитории рекомендуется верификация и очистка онтологии, для чего наш подход может предоставлять уровни уверенности для каждого извлеченного факта.

Заключение

В данной работе был предложен и исследован новый комбинированный подход к автоматическому построению онтологических баз знаний из русскоязычных текстов, основанный на совместном использовании моделей BERT и GPT. BERT используется для точного извлечения концептов и базовых отношений, а GPT – для генерации дополнительных связей и обогащения онтологии, что повышает ее полноту.

Экспериментальная оценка продемонстрировала превосходство предложенного метода над существующими решениями со значительным улучшением F1-меры и полноты извлечения онтологии. На практическом примере из области веб-разработки было показано, что метод способен конструировать осмысленную онтологию, отражающую ключевые концепты предметной области и их взаимосвязи.

Научная значимость результатов заключается в развитии методов онтологического инжиниринга, применимых к русскоязычным текстам, а также в демонстрации эффективности гибридного использования предобученных языковых моделей для задач семантического анализа. Практическая ценность работы заключается в возможности автоматизировать создание баз знаний для русскоязычных информационных ресурсов, которые могут быть использованы в системах электронного обучения, интеллектуальных справочных системах и семантическом поиске.

Будущие исследования будут направлены на дальнейшее совершенствование подхода. Планируется инкорпорация более современных моделей (например, GPT-4) [Bhatt et al., 2024], разработка механизмов контроля качества генерируемых онтологий с использованием логических правил и обратной связи от экспертов, а также адаптация метода для многоязычных корпусов, что является важным в специализированных областях, например, в юриспруденции [Zheng et al., 2021]. Конечной целью является интеграция решения в полнофункциональный программный прототип с веб-интерфейсом для генерации онтологий «на лету».

References

- Al-Aswadi F.N., Chan H.Y., Gan K.H. 2020. Automatic ontology construction from text: a review from shallow to deep learning trend. *Artificial Intelligence Review*, 53: 3901–3928. DOI: 10.1007/s10462-019-09782-9.
- Anikin A., Kultsova M., Irina Z., Sadovnikova N., Litovkin D. 2014. Knowledge based models and software tools for learning management in open learning network. In: *Communications in Computer and Information Science*. Vol. 466. Springer, 156-171. DOI: 10.1007/978-3-319-11854-3_15.
- Bhatt A., Vaghela N., Dudhia K. 2024. Generating knowledge graphs from large language models: A comparative study of GPT-4, LLAMA 2, and BERT. arXiv preprint arXiv:2401.07412.

- Biemann C. 2005. Ontology Learning from Text: A Survey of Methods. In: Proceedings of the LDV-Forum, Band 20(2): 75-93.
- Bosselut A., Rashkin H., Sap M., Malaviya C., Celikyilmaz A., Choi Y. 2019. Comet: Commonsense transformers for automatic knowledge graph construction. In: Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Florence, Italy, Association for Computational Linguistics, 1530-1540. DOI: 10.18653/v1/P19-1146.
- Brown T., Mann B., Ryder N., et al. 2020. Language models are few-shot learners. In: Advances in Neural Information Processing Systems 33 (NeurIPS 2020), 1877-1901.
- Cimiano P., Völker J. 2005. A framework for ontology learning and data-driven change discovery. In: Natural Language Processing and Information Systems. Alicante, Spain, Springer, 227-238. DOI: 10.1007/11428817_22.
- Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. 2019. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In: Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. Minneapolis, Minnesota, Association for Computational Linguistics, 4171-4186. DOI: 10.18653/v1/N19-1423.
- Fortuna B., Grobelnik M., Mladenic D. 2007. OntoGen: Semi-automatic Ontology Editor. In: Knowledge Discovery in Databases: PKDD 2007. Warsaw, Poland, Springer, 65-76. DOI: 10.1007/978-3-540-74976-9_9.
- Gangemi A., Presutti V., Reforgiato Recupero D., et al. 2017. Semantic web machine reading with FRED. *Semantic Web*, 8(6): 873-893. DOI: 10.3233/SW-160240.
- Haque F., Xu D., Niu X. 2025. A Comprehensive Survey on Bias and Fairness in Large Language Models. In: Trends and Applications in Knowledge Discovery and Data Mining. Springer, 83-101. DOI: 10.1007/978-981-96-8197-6_7.
- Hogan A., Blomqvist E., Cochez M., et al. 2021. Knowledge graphs. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(4): 1-37. DOI: 10.1145/3447790.
- Karpukhin V., Baranchukov A., Burtsev M., Tsetlin Y., Gusev G. 2021. RuGPT-3: Large-scale russian language models with few-shot learning capabilities. arXiv preprint arXiv:2109.04351.
- Katyshev A., Anikin A., Denisov M., Petrova T. 2021. Intelligent Approaches for the Automated Domain Ontology Extraction. In: Advanced Network Technologies and Intelligent Computing. Springer, 81-91. DOI: 10.1007/978-981-96-8197-6_7.
- Kuratov Y., Arkhipov M. 2019. Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for russian language. arXiv preprint arXiv:1905.07213.
- Pan S., Luo L., Wang Y., et al. 2023. Unifying Large Language Models and Knowledge Graphs: A Roadmap. arXiv preprint arXiv:2306.08302.
- Petroni F., Rocktäschel T., Lewis P., et al. 2019. Language models as knowledge bases? In: Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP). Hong Kong, China, Association for Computational Linguistics, 2763-2773. DOI: 10.18653/v1/D19-1282.
- Ye H., Zhang N., Deng S., et al. 2022. Ontology-enhanced Prompt-tuning for Few-shot Learning. arXiv preprint arXiv:2201.11332.
- Zhao B., Ji C., Zhang Y., et al. 2023. Large language models are complex table parsers. arXiv preprint arXiv:2312.11521.
- Zheng J., Xiang Z., Stoecckert Jr C.J., He Y. 2014. Ontodog: a web-based ontology community view generation tool. *Bioinformatics*, 30(9): 1340-1342. DOI: 10.1093/bioinformatics/btt761.
- Zheng L., Guha N., Anderson B.R., Henderson P., Ho D.E. 2021. When does pre-training help? assessing self-supervised learning for law and the casehold dataset of 53,000+ legal holdings. In: Proceedings of the 18th International Conference on Artificial Intelligence and Law (ICAIL 2021). São Paulo, Brazil, ACM, 159-168. DOI: 10.1145/3462757.3462772.

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 25.08.2025

Received August 25, 2025

Поступила после рецензирования 27.11.2025

Revised November 27, 2025

Принята к публикации 02.12.2025

Accepted December 02, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Катышев Александр Михайлович, преподаватель кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Аникин Антон Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr M. Katyshev, Lecturer of the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Anton V. Anikin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software for Automated Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

УДК 004.4

DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-153-163

EDN МНЕМУН

Интеллектуальный чат-бот как инструмент цифрового сопровождения дополнительного образования

Виштак О.В., Очкур Г.В., Виштак Н.М., Грачев В.А.

Балаковский инженерно-технологический институт –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Россия, 413800, Саратовская обл., г. Балаково, ул. Чапаева, д. 140
OVVishtak@mephi.ru, GVOchkur @mephi.ru, NMVishtak@mephi.ru, vladT4WERKA@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются возможности и перспективы использования технологии чат-ботов в дополнительном образовании. Приводится классификация чат-ботов с учётом технологических особенностей их применения, анализируются платформы, предназначенные для их внедрения. Представлен процесс разработки чат-бота с использованием технологий больших языковых моделей, предназначенного для оптимизации образовательного процесса за счёт автоматизации предоставления информации, консультационной поддержки и адаптации контента под нужды конкретного обучающегося. Описана архитектура разработанного веб-приложения, раскрыты ключевые технологические решения, реализованные в ходе его разработки.

Ключевые слова: чат-бот, дополнительное образование, веб-приложение, большая языковая модель

Для цитирования: Виштак О.В., Очкур Г.В., Виштак Н.М., Грачев В.А. 2026. Интеллектуальный чат-бот как инструмент цифрового сопровождения дополнительного образования. *Экономика. Информатика*, 53(1): 153–163. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-153-163. EDN МНЕМУН

Intelligent Chatbot as a Tool for Digital Support of Continuing Education

Olga V. Vishtak, Galina V. Ochkur, Natalia M. Vishtak, Vladislav A. Grachev

Balakovo Institute of Engineering and Technology, branch of the National Research Nuclear University
MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)
140 Chapayev St., Balakovo 413800, Saratov Region, Russia
OVVishtak@mephi.ru, GVOchkur @mephi.ru, NMVishtak@mephi.ru, vladT4WERKA@yandex.ru

Abstract. This paper examines the possibilities and prospects of using chatbot technology in continuing education. The classification of chatbots is provided, taking into account the technological features of their application, and the platforms intended for their implementation are analyzed. The paper presents the process of developing an LLM-based chatbot, which is designed to optimize the educational process by automating the provision of information, consulting support and adapting content to the needs of a particular student. The authors describe the architecture of the proposed web application, reveal the key technological solutions implemented during its development, and present the chatbot interface and testing of user scenarios.

Keywords: chatbot, continuing education, web application, large language model

For citation: Vishtak O.V., Ochkur G.V., Vishtak N.M., Grachev V.A. 2026. Intelligent Chatbot as a Tool for Digital Support of Continuing Education. *Economics. Information technologies*, 53(1): 153–163 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-153-163. EDN МНЕМУН

Введение

На фоне цифровизации и стремительного обновления технологий возникает потребность в постоянном обновлении знаний сотрудников. Дополнительное образование становится неотъемлемой частью профессионального развития персонала предприятий. Современные ИТ-инструменты, включая искусственный интеллект, машинное обучение и технологии чат-ботов, активно внедряются в систему дополнительного образования. Эти технологии позволяют автоматизировать процессы обучения и адаптировать их под конкретные потребности сотрудников предприятий [Виштак, Кох, 2018; Виштак, Яковлева, 2018; Никольский и др., 2024 и др.]. Перспективна интеграция современных информационных решений, таких как искусственный интеллект и чат-боты, в процесс повышения квалификации. Особенно актуальным является использование чат-ботов как инструмента персонализации дополнительного образования. Программные решения в области образовательных чат-ботов направлены на обеспечение удобства, доступности и адаптивности учебного контента в цифровой среде.

Целью данной работы является создание цифрового инструмента, способного эффективно сопровождать слушателей дополнительной профессиональной программы, предоставлять методические рекомендации, обеспечивать обратную связь и формировать индивидуальные траектории обучения. Программное решение ориентировано на слушателей, обладающих базовыми цифровыми компетенциями, и не требует от них специальной технической подготовки. Особое внимание уделяется простоте интерфейса и минимизации времени отклика чат-бота.

Особенности чат-ботов

Чат-бот представляет собой программный комплекс, имитирующий межличностную коммуникацию с помощью аудиовизуальных средств [Шилова С.А., Крючкова А.А. 2021], способный взаимодействовать с пользователем чаще всего в привычных цифровых средах – мессенджерах, социальных сетях, мобильных приложениях. На основе анализа определений, встречающихся в литературе, чат-бот можно охарактеризовать как специализированную программу, взаимодействующую с человеком через естественный язык, которая может функционировать автоматически или по заранее заданному алгоритму. Подчеркивается, что такие боты способны имитировать речевое поведение, включая стили общения и использование лексических уловок, создавая эффект живого диалога. Наличие голосового интерфейса существенно повышает удобство использования образовательных платформ. Например, ChatGPT может быть интегрирован с голосовыми ассистентами, что позволяет использовать его без обращения к экрану [Uludag, Zhao, 2023].

В исследованиях [Labadze et al., 2023] подчеркивается, что чат-боты могут быть использованы как наставники, помощники при выполнении заданий, инструкторы по навыкам и даже эмоциональные поддерживающие агенты, что является важным и для инклюзивного образования [Zhao et al., 2024].

Многие исследователи описывают преимущества и недостатки использования чат-ботов в образовательном процессе [Язецкий, 2021; Алексахин, Алексахина, 2023; Еськин, 2023; Юсупова, 2024; Величко, Бобович, 2024], рассматривают перспективы развития подобных технологий, играющие ключевую роль в реорганизации современного образования [Kooli, 2023; Халидов и др., 2024], выносят предложения по созданию интеллектуальных обучающих систем [Батраева И.А. и др., 2022; Mahamadov, 2022; Долгополов, Вандышева, 2023; Shalomova, Elovenkov, 2025].

С дидактической точки зрения чат-боты выполняют три базовые функции. Во-первых, это функция понимания, предполагающая наличие средств обработки естественного языка (ввод текста или речи и их анализ). Во-вторых, функция компетентности – чат-бот должен использовать как внешние базы знаний, так и сохранять пользовательский контекст (например, историю общения, персональные данные). В-третьих, функция присутствия – боты могут

формировать иллюзию «живого» собеседника, используя вариативность лексики, стилистику и элементы персонализации.

Использование чат-ботов в образовательной среде способствует оптимизации коммуникации и повышению доступности информации. Пользователь может получить нужные сведения без участия преподавателя, что особенно актуально в условиях массового обучения и при реализации дополнительных программ.

С технологической точки зрения чат-боты различаются по принципам построения и взаимодействия с пользователем. Существует 3 основных подхода: на основе бизнес-правил, на основе искусственного интеллекта и гибридные решения.

Боты, построенные на бизнес-правилах, функционируют по заранее заданным сценариям – пользователь выбирает варианты ответов, и тем самым движение по ветвям диалога строго контролируется. Такие боты хорошо подходят для предоставления справочной информации или структурированных консультаций.

ИИ-боты работают на основе алгоритмов машинного обучения и обработки естественного языка. Они способны анализировать свободный текст, выявлять пользовательские намерения и генерировать ответы, не ограничиваясь строго заданными путями. Однако такие системы требуют больших обучающих выборок и более сложной технической реализации.

Гибридные чат-боты объединяют достоинства обоих указанных выше подходов.

Также в чат-ботах важна структуризация информационных материалов, таких как теоретические материалы, методические указания к выполнению практических заданий, ссылки на внешние электронные ресурсы и пр.

Для реализации чат-ботов используются различные платформы: социальные сети (ВКонтакте, Одноклассники), мессенджеры (Telegram, Max), специализированные конструкторы (PuzzleBot, Smartbot Pro, Botmother), фреймворки для программирования ботов (Microsoft Bot Framework, Dialogflow, Botpress, Rasa) и др.

Выбор платформы зависит от уровня квалификации разработчиков, целевой аудитории чат-бота, требований к степени интеграции бота с внешними сервисами. Кроме того, учитываются вопросы безопасности, конфиденциальности пользовательских данных и стабильности работы сервисов.

Таким образом, выбор платформы – одно из ключевых условий успешной реализации образовательного чат-бота. Она должна соответствовать как техническим, так и педагогическим требованиям, обеспечивать лёгкость доступа, интуитивную навигацию и возможность масштабирования проекта.

Разработка образовательного чат-бота

В контексте специфики дополнительного образования сотрудников предприятий возникает необходимость создания чат-бота, максимально адаптированного под запросы целевой аудитории и особенности образовательного контекста. Стандартные решения часто не учитывают специфику контента, форматов взаимодействия, а также потребности в гибкости и модульности образовательной информации.

Поэтому в рамках данного исследования принято решение о разработке собственного образовательного чат-бота, предназначенного для оптимизации образовательного процесса за счёт автоматизации ключевых функций: предоставления информации, консультационной поддержки и адаптации контента под нужды конкретного обучающегося.

Функциональные возможности чат-бота включают интерактивное взаимодействие на естественном языке, сохранение истории диалогов, гибкий поиск по записям, а также регистрацию и аутентификацию пользователей. Интеллектуальное ядро чат-бота основано на интеграции с большой языковой моделью, обеспечивающей генерацию контента в зависимости от учебных задач. Все коммуникации между клиентской и серверной частями

реализуются через REST API и WebSocket, а передача данных осуществляется в формате JSON, что обеспечивает совместимость и масштабируемость архитектуры.

С точки зрения технической реализации, продукт представляет собой модульное клиент-серверное приложение с распределённой архитектурой. Серверная часть отвечает за обработку запросов, взаимодействие с языковой моделью и управление базой данных, тогда как клиентский интерфейс – за удобное и интуитивное взаимодействие с пользователем. Проектирование интерфейса опирается на современный стек технологий (React, ES6, HTML5, CSS3), что обеспечивает кроссбраузерность и адаптивность.

База данных спроектирована в соответствии с требованиями третьей нормальной формы, что позволяет обеспечить целостность и непротиворечивость хранимой информации. Основные сущности включают пользователей, чаты, сообщения и токены аутентификации. Реализация хеширования чувствительных данных и поддержка масштабируемости платформы соответствует базовым требованиям информационной безопасности и отказоустойчивости.

В рамках реализации чат-бота были использованы современные веб-технологии. Клиентская часть разработана на языке JavaScript с применением библиотеки React, что позволило реализовать одностраничное приложение с быстрым интерфейсом и модульной архитектурой. Использовались такие библиотеки, как axios (для HTTP-запросов), js-cookies (для работы с куками), а также инструментальная среда Visual Studio Code, Postman для тестирования API и Figma для проектирования интерфейса.

Серверная часть разделена на два модуля: первый реализован на Node.js с использованием Express.js и отвечает за REST API и WebSocket-взаимодействие; второй – на Python с использованием FastAPI и llama-cpp-python для генерации ответов на основе большой языковой модели. Для запуска и обслуживания Python-сервиса используется сервер uvicorn, обеспечивающий высокую производительность. Вся система построена с учётом масштабируемости, модульности и разделения ответственности между компонентами. На рис. 1 приведена структура веб-приложения, а на рис. 2 приведена структура базы данных.

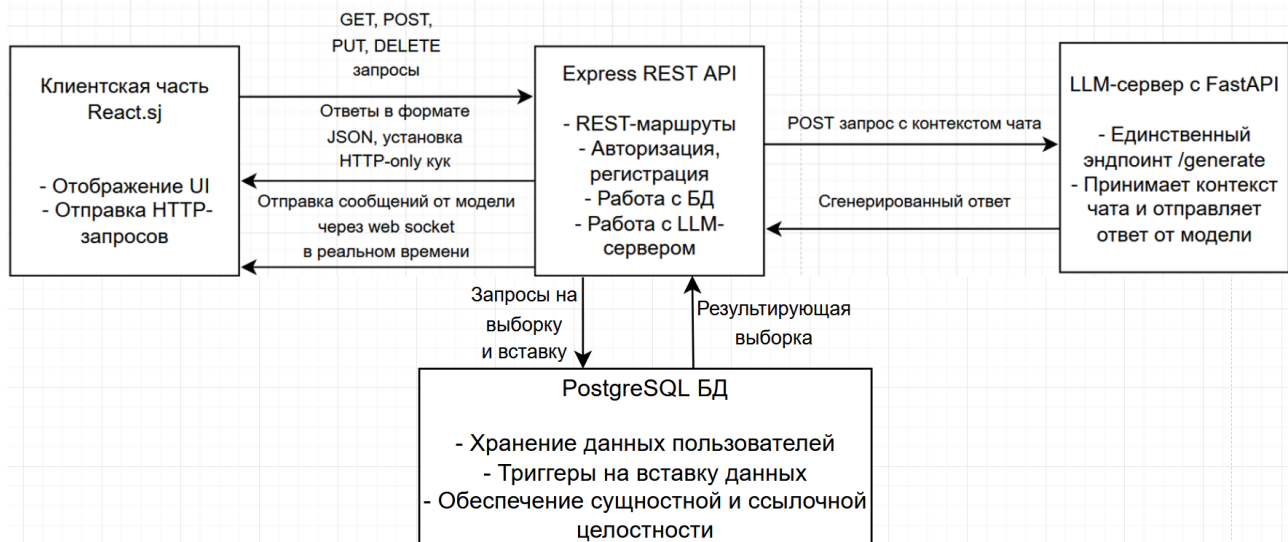


Рис. 1. Структура веб-приложения
Fig. 1. Web application structure

Клиентская часть реализована как SPA с использованием компонентного подхода React.js. Основные компоненты приложения включают App (контейнер приложения), AiChat (основной контейнер для компонентов чата), LeftPanel (боковая панель с чатами), SignIn и SignUp (страницы входа и регистрации).

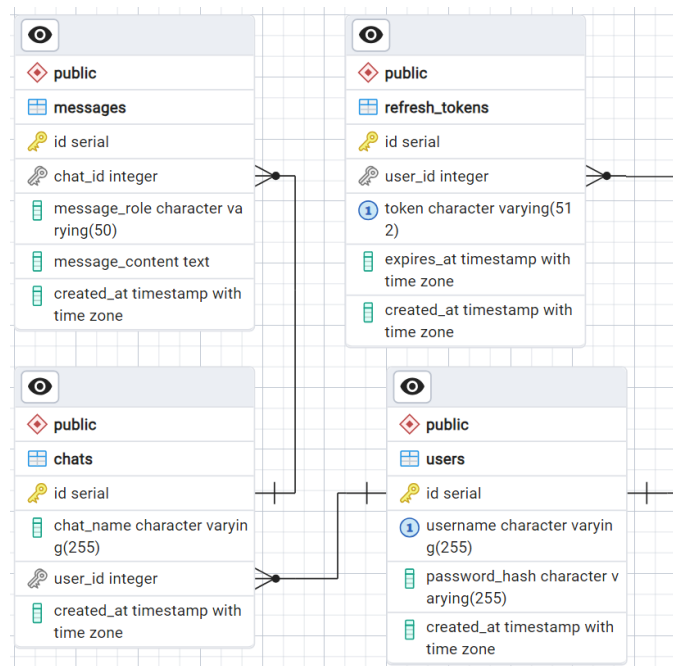


Рис. 2. Структура базы данных
Fig. 2. Database structure

Для навигации применяется react-router-dom. Все маршруты содержатся в компоненте «App». Приложение содержит следующие маршруты:

- «/app» – для этого маршрута в случае, если пользователь не авторизован, происходит перенаправление на маршрут «/authorize», иначе рендерится компонент «AiChat» (главная страница);
- «/» – при попадании в корневой маршрут происходит перенаправление на маршрут «/app» или «/authorize», в зависимости от состояния аутентификации;
- «/authorize» – если пользователь не авторизован, то рендерится компонент «AskRegistered» (страница авторизации), иначе происходит перенаправление в «/app»;
- «/login» – отображает компонент «SignIn» (страница входа), если пользователь не авторизован, и перенаправляет в «/app» в противном случае;
- «/register» – рендерит компонент «SignUp» (страница регистрации) если пользователь не авторизован, и перенаправляет в «/app», если он авторизован;
- «/*» – все прочие маршруты перенаправляются в корень (то есть в «/»).

Для хранения информации о состоянии авторизации пользователя используется хук «useState», «позволяющий использовать состояние в функциональных компонентах».

Для того чтобы все вложенные компоненты могли знать о состоянии авторизации пользователя, применяется контекст, позволяющий передавать данные по дереву компонентов без необходимости передачи их через пропсы на каждом уровне. Контекст AuthContext создаётся с помощью createContext и предоставляется через AuthProvider, который оборачивает корневой компонент App. Состояние авторизации (authorized) и имя пользователя (username) доступны всем вложенным компонентам через хук useAuth.

Состояние авторизации устанавливается при монтировании компонента «App». Для этого производится POST-запрос к бэкенду по маршруту «/refresh_access», в случае успешного ответа (HTTP-код 200) пользователь считается авторизованным, из кук загружается имя пользователя и рендерится главная страница, в любом другом случае пользователя перенаправляет на страницу авторизации.

Для отправки запроса при монтировании компонента «App» применяется хук useEffect, представляющий совокупность методов componentDidMount, componentDidUpdate, и componentWillUnmount. Для асинхронных операций используется axios в сочетании с хуками

состояния и эффектов. Это позволяет динамически обновлять данные без полной перезагрузки страницы.

Серверная часть на Express представляет собой REST API с множеством маршрутов. Все маршруты начинаются с префикса «/api». Следующие маршруты предназначены для аутентификации пользователя:

– «POST /register», «POST /login», «DELETE /logout» – маршруты для регистрации, входа и выхода соответственно. Три базовых маршрута, которые не требуют проверки токена для доступа. Предоставляют функционал для первоначальной регистрации и входа, производят валидацию данных и устанавливают токены для пользователя, записывают данные в БД. Маршрут «/logout» позволяет разлогиниться, при этом происходит выход из аккаунта и удаляется сессионный токен из БД (также удаляются токены из кук);

– «POST /refresh_access» – маршрут позволяет обновить access-токен при наличии действующего refresh-токена.

Остальные маршруты требуют токен доступа, они включают в себя маршруты для работы с чатами пользователей:

– «POST /user/chats» предназначен для создания нового чата, из токена доступа получается id пользователя и создается новая запись в базе данных, пользователю возвращается id чата, его название и время создания, причем по умолчанию каждый чат получает название «New chat», а при вставке первого сообщения название обновляется и его первые 40 символов становятся новым названием (благодаря триггеру на вставку данных);

– «DELETE /user/chats» позволяет удалить заданный чат при помощи delete-запроса к базе данных;

– «POST /user/chats/search» – маршрут предназначен для поиска чата по названию (применяется оператор регистронезависимого поиска «LIKE») для конкретного пользователя. В качестве ответа пользователь получает поисковую выборку метаданных чатов, ограниченную размером в 100 записей;

– «GET /user/chats/meta» предназначен для выборки метаданных чатов постранично, возвращает выборку из 30 чатов, id которых меньше заданного (если переданный id равен нулю – возвращает последние 30 сообщений).

Наконец, два маршрута предназначены для работы с сообщениями чатов:

– «PUT /user/chats/messages» – служит для добавления сообщения в базу данных, при этом запускается асинхронная функция для генерации ответа от языковой модели. Поскольку сообщение может генерироваться достаточно долго, нет необходимости дожидаться результата завершения генерации ответа;

– «GET /user/chats/messages» позволяет получить сообщения для выбранного чата. Передается параметр last_id, благодаря которому реализуется постраничная выборка. Механизм работы постраничной выборки аналогичен получению метаданных чатов. Возвращает 20 сообщений, отсортированных по дате написания.

Таким образом, разработанные маршруты обеспечивают надежное взаимодействие с клиентской частью и предоставляют возможности для получения всех необходимых данных в формате JSON.

Для верификации токенов (как access, так и refresh) применяется middleware, позволяющий обрабатывать данные запроса и по цепочке вызывать следующий обработчик.

Присутствуют следующие обработчики в цепочке middleware:

– «verifyAccessToken» – необходим для верификации access-токена. Расшифровывает токен при помощи секретного ключа, проверяет время его жизни и передает расшифрованные из токена данные (id пользователя) в следующий обработчик. В случае недействительного токена отправляет запрос с кодом 401;

– «verifyRefreshToken» – предназначен для верификации refresh-токена. Верификация производится на основе выборки из БД данных о токене пользователя с заданным id, причем id расшифровывается из самого токена, а данные о времени его жизни сверяются с данными в БД.

Структуру бэкенда можно представить в виде классической схемы «модель-представление-контроллер» (MVC), которая состоит из следующих частей:

– представление – так как бэкенд представляет собой REST API, то представлением являются данные, преобразованные в структурированный формат JSON;

– контроллеры (UserController, BotController) принимают входящие запросы, извлекают параметры, вызывают соответствующие сервисы (для выборки из БД и генерации токенов) и формируют ответы;

– модель – работает непосредственно с базой данных, осуществляя запросы с заданными параметрами. Представлена в виде слоя DatabaseService, инкапсулирует взаимодействие с базой данных, что позволяет управлять доступом к данным централизованно;

– сервисный слой, содержащий бизнес-логику, напрямую не относящуюся к контроллерам и базе данных (TokenService). Ответственен за генерацию и валидацию токенов.

Таким образом, структура бэкенда разделена на компоненты с четкими зонами ответственности, что упрощает разработку и тестирование каждого из модулей в отдельности.

Полученные результаты

На рис. 3 представлен интерфейс чат-бота. Интерфейс разработан с учетом требования простоты и удобства в использовании. Слева расположена панель управления с возможностью создания, удаления и поиска чатов по названию. Основная часть экрана отведена под диалог с ботом и форму ввода сообщения. В правом верхнем углу отображаются имя пользователя, кнопка выхода из аккаунта и переключатель темы оформления. Такой дизайн обеспечивает быструю навигацию и комфортное взаимодействие с системой.



Рис. 3. Интерфейс приложения
Fig. 3. Application interface

Было проведено тестирование веб-приложения. После ввода сообщения в чат запускается (асинхронно) механизм генерации ответа от языковой модели, при этом сервер отправляет на клиент временное сообщение с флагом «isGenerating» (рис. 4), которое позволяет пользователю понять, что сообщение находится в процессе генерации.

После генерации ответа от модели временное сообщение заменяется на настоящее (рис 5).

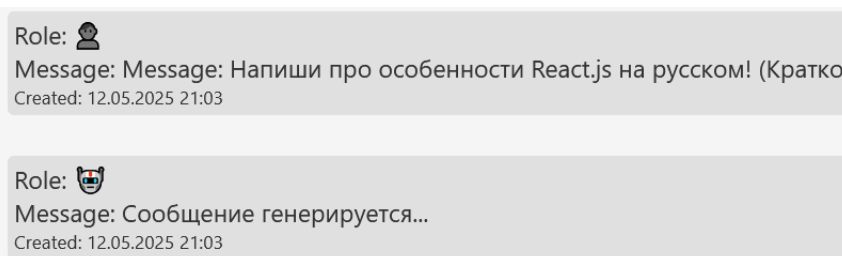


Рис. 4. Временное сообщение
Fig. 4. Temporary message

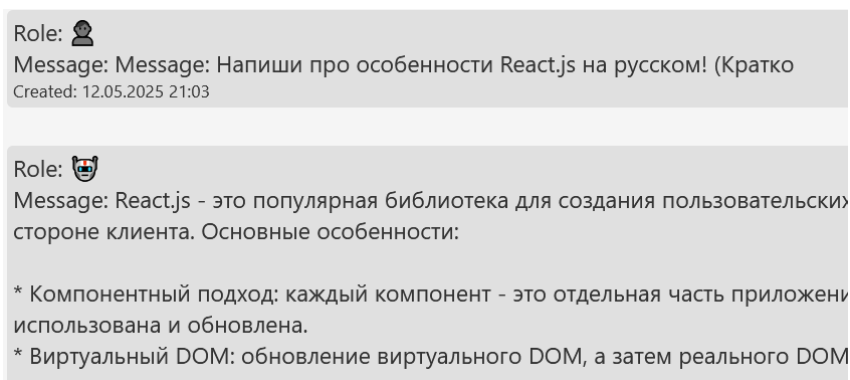


Рис. 5. Получение ответа от чат-бота
Fig. 5. Receiving a response from the chatbot

Таким образом, тестирование самых распространенных пользовательских сценариев использования приложения показало, что приложение производит валидацию пользовательского ввода, а также позволяет взаимодействовать с большой языковой моделью, наблюдая, как она генерирует текст.

Заключение

Существующие архитектурные решения и системы для разработки чат-ботов позволяют создавать различные программы для широкого круга пользовательских задач. Внедрение современных чат-ботов в систему дополнительного профессионального образования открывает новые возможности для модернизации и повышения качества и эффективности обучения.

Предложенное программное решение обеспечивает интуитивно понятную для пользователя работу интерфейса, эффективное взаимодействие программы с большой языковой моделью и высокую производительность при генерации ответов на запросы пользователей.

Список литературы

- Алексахин А.Н., Алексахин С.А. 2023. Современные подходы к использованию чат-ботов в образовательном процессе. *Управление общественными и экономическими системами*, 3(35): 36–40.
- Батраева И.А., Шилова С.А., Крючкова А. А. 2022. Образовательный чат-бот: особенности архитектуры и лингводидактические перспективы. *Информационные технологии в образовании*, 5: 23–27.
- Величко М.В., Бобович Т.А. 2024. Искусственный интеллект в образовании: роль чат-ботов. Прикладной искусственный интеллект: перспективы и риски: Сборник докладов Международной научной конференции, Санкт-Петербург, Санкт-Петербург: 144–145.
- Виштак Н.М., Кох Ю.А. 2018. Современные электронные образовательные ресурсы в системе дополнительного образования. Проблемы развития регионов в условиях модернизации

- экономики, общества и образования. Материалы IV Международной научно-практической конференции, Москва, НИЯУ МИФИ: 39–42.
- Виштак Н.М., Яковлева Е.А. 2018. Интерактивные технологии как основа диалогового обучения. Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования. Материалы IV Международной научно-практической конференции, Москва, НИЯУ МИФИ: 35–39.
- Вольников М.С., Данилов Е.А. 2024. Обзор существующих решений чат-ботов, использующих искусственные нейронные сети: их возможности, преимущества и недостатки. *Современные информационные технологии*, 39: 9–15.
- Долгополов Д.В., Вандышева Л.В. 2023. Дидактический потенциал чат-ботов: возможности и перспективы. Образование в современном мире: риски и перспективы цифровизации. Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием. Самара, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева: 85–89.
- Еськин Д.Л. 2023. Использование технологий искусственного интеллекта в обучении. *Мир науки, культуры, образования*, 6 (103): 329–331.
- Кадырова Л.Р., Захаров А.В. 2021. Чат-бот на основе искусственного интеллекта в образовательном процессе. Моделирование и конструирование в образовательной среде. Материалы VI Всероссийской (с международным участием) научно-практической, методологической конференции для научно-педагогического сообщества. Москва, Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение города Москвы «Московский государственный образовательный комплекс»: 263–267.
- Никольский А.Г., Виштак О.В., Очкур Г.В., Виштак Н.М. 2024. Искусственный интеллект как инструмент изучения программирования. *Известия Тульского государственного университета. Серия «Технические науки»*, 2: 191–197.
- Халидов А.А., Теплая Н.А., Ноздревых Д.О. 2024. Роль чат-ботов в образовательном процессе. *Экономика и управление: проблемы, решения*, Т.6, 11(152): 89–93.
- Шилова С.А., Крючкова А.А. 2021. Методологические требования к структуре чат-бота как образовательной платформы. *Организация самостоятельной работы студентов по иностранным языкам*, 4: 232–236.
- Юсупова А.С. 2024. Использование чат-ботов в образовательном процессе. *Тенденции развития науки и образования*, 109-2: 150–153.
- Язцкий Е.Ю. 2021. Чат-бот как средство сопровождения образовательного процесса. *Молодой ученый*, 17(359): 17–20.
- Kooli C. 2023. Chatbots in Education and Research: A Critical Examination of Ethical Implications and Solutions. *Sustainability*, 15(7): 1–15.
- Labadze L., Grigolia M., Machaidze L. 2023. Role of AI chatbots in education: systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1): 56
- Mahamadov R. 2022. Prospects for the application of artificial intellectual technologies in education. *tecHика*, 1(7): 1–10.
- Shalomova, E. V., Elovenkov V. A. 2025. Introduction of Artificial Intelligence Technologies in the Activities of the Educational Organization. *Global Scientific Potential*, 1, 5(170): 40–43.
- Uludag K., Zhao M. 2023. How ChatGPT Can Help Visually Impaired Individuals? *Journal of Advances in Artificial Intelligence*, 1, 1: 49–56.
- Zhao X., Cox A., Chen X. 2025 The use of generative AI by students with disabilities in higher education. *Internet and Higher Education*, 66(2):101014

References

- Aleksakhin A.N., Aleksakhin S.A. 2023. Modern approaches to the use of chatbots in the educational process. *Management of social and economic systems*, 3(35): 36–40 (in Russian).
- Batraeva I.A., Shilova S.A., Kryuchkova A.A. 2022. Educational chatbot: architectural features and linguistic and didactic perspectives. *Information Technologies in Education*, 5: 23–27 (in Russian).
- Velichko M.V., Bobovich T.A. 2024. Artificial intelligence in education: the role of chatbots. Applied artificial intelligence: prospects and risks: Collection of reports of the International Scientific Conference, St. Petersburg, St. Petersburg: 144–145 (in Russian).

- Vishtak N.M., Koh Yu.A. 2018 Modern electronic educational resources in the system of additional education. Problems of regional development in the context of modernization of the economy, society and education. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Moscow, NRU MEPhI: 39–42 (in Russian).
- Vishtak N.M., Yakovleva E.A. 2018. Interactive technologies as the basis of interactive learning. Problems of regional development in the context of modernization of the economy, society and education. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Moscow, NRU MEPhI: 35–39 (in Russian).
- Volnikov M.S., Danilov E.A. 2024. An overview of existing chatbot solutions using artificial neural networks: their capabilities, advantages and disadvantages. *Modern Information Technologies*, 39: 9–15 (in Russian).
- Dolgopолоv D.V., Vandysheva L.V. 2023. The didactic potential of chatbots: opportunities and prospects. Education in the modern world: risks and prospects of digitalization. Materials of the All-Russian Scientific and Methodological conference with international participation. Samara, Samara National Research University named after academician S.P. Korolev: 85–89 (in Russian).
- Eskin D.L. 2023. The use of artificial intelligence technologies in education. *The World of Science, Culture, and Education*, 6 (103): 329–331 (in Russian).
- Kadyrova L.R., Zakharov A.V. 2021. A chatbot based on artificial intelligence in the educational process. Modeling and construction in an educational environment. Materials of the VI All-Russian (with international participation) scientific, practical, methodological conference for the scientific and pedagogical community. Moscow, State Budgetary Professional Educational Institution of the city of Moscow "Moscow State Educational Complex": 263–267 (in Russian).
- Nikolsky A.G., Vishtak O.V., Ochkur G.V., Vishtak N.M. 2024. Artificial intelligence as a tool for learning programming. *Proceedings of Tula State University. Series "Technical Sciences"*, 2: 191–197 (in Russian).
- Khalidov A.A., Teplaya N.A., Nozdrevatykh D.O. 2024. The role of chatbots in the educational process. *Economics and management: problems, solutions*, 6, 11(152): 89–93 (in Russian).
- Shilova S.A., Kryuchkova A.A. 2021. Methodological Requirements for the Structure of a Chatbot as an Educational Platform. *Organization of Independent Work of Students in Foreign Languages*, 4: 232–236 (in Russian).
- Yusupova A. S. 2024. The use of chatbots in the educational process. *Trends in the development of science and education*, 109-2: 150–153 (in Russian).
- Yazetsky E. Y. 2021. A chatbot as a means of accompanying the educational process. *Young Scientist*, 17(359):17–20 (in Russian).
- Kooli C. 2023. Chatbots in Education and Research: A Critical Examination of Ethical Implications and Solutions. *Sustainability*, 15(7): 1–15.
- Labadze L., Grigolia M., Machaidze L. 2023. Role of AI chatbots in education: systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1): 56
- Mahamadov R. 2022. Prospects for the application of artificial intellectual technologies in education. *tecHuka.*, 1(7): 1–10.
- Shalomova, E. V., Elovenkov V. A. 2025. Introduction of Artificial Intelligence Technologies in the Activities of the Educational Organization. *Global Scientific Potential*, 1, 5(170): 40–43.
- Uludag K., Zhao M. 2023. How ChatGPT Can Help Visually Impaired Individuals? *Journal of Advances in Artificial Intelligence*, 1, 1: 49–56.
- Zhao X., Cox A., Chen X. 2025 The use of generative AI by students with disabilities in higher education. *Internet and Higher Education*, 66(2):101014

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 19.09.2025

Received September 19, 2025

Поступила после рецензирования 12.01.2026

Revised January 12, 2026

Принята к публикации 16.01.2026

Accepted January 16, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии», Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково, Россия

Очкур Галина Викторовна, кандидат технических наук., заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии», Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково, Россия

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково, Россия

Грачев Владислав Александрович, студент направления «Информационные системы и технологии», Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Vishtak, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the "Information Systems and Technologies" Department, Balakovo Institute of Engineering and Technology, branch of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, Russia

Galina V. Ochkur, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of the "Information Systems and Technologies" Department, Balakovo Institute of Engineering and Technology, branch of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, Russia

Natalia M. Vishtak, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the "Information Systems and Technologies" Department, Balakovo Institute of Engineering and Technology, branch of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, Russia

Vladislav A. Grachev, student of the "Information Systems and Technologies" program, Balakovo Institute of Engineering and Technology, branch of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Balakovo, Russia

УДК 004.94; 303.732
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-164-178
EDN MQQQYM

Автоматизация системно-объектного графического моделирования процессов

¹Дмитриева Ю.В., ²Жихарев А.Г.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, д. 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
uka506@mail.ru, zhikharev@bsuedu.ru

Аннотация. В статье рассматривается способ автоматизации графоаналитического моделирования процессов, основанный на формально-семантической нормативной системе (ФСНС), разработанной для графической нотации «Узел-Функция-Объект» (УФО-нотации). Целесообразность автоматизации графического моделирования процессов обоснована влиянием человеческого фактора на процедуру и результат моделирования, что зачастую приводит к несоответствию между используемыми процессами ресурсами и получаемыми результатами. Это в свою очередь снижает эффективность функционально-стоимостного анализа и регламентации бизнес-процессов. Для решения данной проблемы авторами разработан и предложен формально-семантический алфавит функциональных узлов (ФУ), который использует три непересекающихся класса потоков вещества (V), энергии (E) и информации (I), представляющих собой связи/потоки между бизнес-процессами. При этом взаимные преобразования упомянутых потоков имеют естественные ограничения, влияющие на состав алфавита функциональных узлов. В работе рассмотрены алгоритм частичной автоматизации графоаналитического моделирования процессов, использующий ФСНС, а также процедура вычисления интерфейсных ФУ, обеспечивающих входные и выходные связи контекста, и процедура вычисления промежуточных (ФУ), обеспечивающих построение диаграммы декомпозиции. Приведены примеры использования предложенного алгоритма.

Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход), УФО-нотация, графическое моделирование, формально-семантическая нормативная система (ФСНС), алгоритм автоматизации графического моделирования

Для цитирования: Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г. 2026. Автоматизация системно-объектного графического моделирования процессов. *Экономика. Информатика*, 53(1): 164–178. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-164-178. EDN MQQQYM

Automation of System-Object Graphical Modeling of Processes

¹Yulia V. Dmitrieva, ²Aleksandr G. Zhikharev

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
uka506@mail.ru, zhikharev@bsuedu.ru

Abstract. This article examines a method for automating graphical-analytical process modeling based on a formal-semantic normative system (FSNS) developed for the Unit-Function-Object graphical notation (UFO notation). The rationale for automating graphical process modeling is based on the influence of the human factor on the modeling procedure and results, which often leads to a discrepancy between the resources used by processes and the results obtained. This, in turn, reduces the effectiveness of functional cost analysis and business

© Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г., 2026

process regulation. To address this issue, the authors have developed and proposed a formal-semantic alphabet of functional units (FUs). It utilizes three disjoint classes of flows of matter (V), energy (E), and information (I), representing connections/flows between business processes. Furthermore, the mutual transformations of these flows have natural limitations, which influence the composition of the alphabet of functional units. This paper examines an algorithm for partially automating graph-analytical process modeling using a functional network (FNN), as well as a procedure for calculating interface functional units (FUs) that provide input and output context relationships, and a procedure for calculating intermediate functional units (FUs) that support the construction of a decomposition diagram. Examples of using the proposed algorithm are provided.

Keywords: system-object approach "Unit-Function-Object" (UFO-approach), UFO-notation, graphical modeling, formal-semantic normative system (FSNS), algorithm for automation of graphical modeling

For citation: Dmitrieva Yu.V., Zhikharev A.G. 2026. Automation of System-Object Graphical Modeling of Processes. *Economics. Information technologies*, 53(1): 164–178 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-164-178. EDN MQQQYM

Введение

Графоаналитическое моделирование представляет собой способ исследования систем с помощью графических моделей процессов. Графические нотации и поддерживающий их программный инструментарий показывает определенную эффективность при моделировании слабо формализуемых бизнес-процессов и организационных систем [Маклаков, 2004; Дубейковский, 2004; Репин; Елизарова и др., 2010; Казиев, 2014].

Однако, графическое моделирование бизнес-процессов представляет собой творческую и трудоёмкую процедуру. И главной проблемой является влияние человеческого фактора на процесс и результат моделирования, что снижает адекватность моделей и затрудняет их дальнейшее использование, например, для проведения функционально-стоимостного анализа, регламентации бизнес-процессов и реинжиниринга бизнеса.

Термин «человеческий фактор» обозначает возможность принятия человеком ошибочных и алогичных решений в конкретных ситуациях. И, к сожалению, он может отрицательно влиять на результаты моделирования деловых и производственных процессов [Дмитриева и др., 2025].

Среди основных проблем графоаналитического моделирования процессов, связанных с влиянием человеческого фактора, можно выделить перечисленные ниже.

1) Восприятие графики сильно варьируется в зависимости от индивидуального опыта и знаний. В данном случае неправильная интерпретация информации создает риск формирования неправильных выводов у специалистов (инженеров, маркетологов, менеджеров), имеющих разный уровень подготовки и понимающих результаты графического моделирования по-своему.

2) Влияние субъективных мнений и предпочтений на качество вводимых данных. Сбор информации о процессах предполагает множество возможных ошибок, приводящих к неверным представлениям о реальной картине происходящего и искажению модели.

3) Игнорирование значимых, но неочевидных тенденций в данных или переоценивание важности очевидных взаимосвязей, то есть человек может поддаваться влиянию когнитивных искажений при работе с графоаналитическими моделями. Это обусловлено тем, что люди склонны учитывать информацию, которая подтверждает их предвзятости, и игнорировать данные, которые с ними не согласуются, что может приводить к созданию неэффективных моделей.

4) Ограничение времени, отведенного со стороны вышестоящего руководства, в связи с чем увеличивается риск быстрого принятия решения без должного обоснования, что может негативно сказаться на результатах моделирования.

5) Длительная и монотонная работа с данными при моделировании может повлечь за собой определенного рода ошибки в связи с влиянием человеческого фактора на достоверность, своевременность и полноту обрабатываемой информации.

Таким образом, влияние человеческого фактора на графоаналитическое моделирование деловых и производственных процессов существенным образом затрагивает как процесс создания моделей, так и интерпретацию полученных результатов в зависимости от уровня квалификации и опыта аналитиков [Маторин, 2024].

При этом различия в восприятии визуальных данных способствуют разногласию мнений в команде аналитиков, что приводит к различного рода затруднениям при принятии решений. Ниже представлен перечень проблем графоаналитического моделирования деловых и производственных процессов, влияющих на управление организационными системами.



Рис. 1. Перечень проблем графоаналитического моделирования с субъективной точки зрения
Fig. 1. List of problems of graphic-analytical modeling from a subjective point of view

Перечисленные проблемы графоаналитического моделирования подчеркивают важность учета человеческого фактора. Следовательно, актуальной задачей является снижение влияния человеческого фактора на ход и результат графоаналитического моделирования бизнес-процессов. Для решения данной задачи необходимо обеспечить объективизацию процедуры построения графических моделей процессов и, таким образом, ее частичную автоматизацию. Предлагаемый авторами способ автоматизации графоаналитического моделирования и рассматривается в настоящей работе.

Формально-семантическая нормативная система

Все методы (нотации) графического моделирования процессов представляют собой наборы символов и правил их использования, т. е. нормативные системы или формальные системы задаваемые не дедуктивным, а генетическим способом [Анисов, 2012]. При этом существующий уровень формализованности символов и правил позволяет, к сожалению, создавать не адекватные реальным моделируемым бизнес-процессам модели. Например, на диаграммах [Idef0 диаграмма поликлиника – 98 фото, 2025] можно увидеть процессы,

имеющие на входе материальные связи/потоки, а на выходе только информационные. На диаграммах [Построение DFD-диаграмм, 2025] можно увидеть получение материального потока только из информации. В том числе подобные ошибочные модели выдает нейросеть с громким названием «Онлайн генератор IDEF0» [Аливия. Онлайн нейросеть для генерации моделей IDEF0, 2025]. Например, если ему/ей задать построения модели процесса «Производство деталей», то на декомпозиции предлагается подпроцесс «Подготовка материалов», у которого вход «Спецификация», а выход «Подготовленные материалы».

И тут дело не просто в несоответствии реальным процессам, а в том, что с помощью таких диаграмм невозможно обеспечить корректную регламентацию бизнес-процессов и, тем более, провести функционально-стоимостной анализ процессов, так как нет соответствия между используемыми ресурсами и получаемыми результатами.

Для того чтобы исключить в принципе возможность появления подобных ошибок, авторами в рамках системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» (УФО-подхода) предложен формально-семантический алфавит функциональных узлов [Маторин и др., 2024], использование которого превращает УФО-нотацию или нормативную систему УФО-подхода в формально-семантическую нормативную систему (ФСНС).

Алфавит ФСНС основан на следующих известных фактах. Во-первых, бизнес-процессы всегда взаимодействуют между собой с помощью только трех видов связей/потоков: вещество (V), энергия (E) и информация (I). Во-вторых, в соответствии с известными законами сохранения существуют ограничения на преобразования этих потоков из одного вида в другой. Эти факты и определили состав алфавита функциональных узлов (ФУ), представленного в табл. 1. ФУ в таблице представлены своими входными (?) и выходными (!) связями. Из всех связей одна (первая) обозначает поток, который преобразуется в данном узле, для преобразования которого данный узел и предназначен. Остальные связи являются обеспечивающими. В работе [Маторин и др., 2024] все ФУ содержательно проинтерпретированы реальными производственными процессами.

Таблица 1
Table 1

Алфавит функциональных узлов УФО-нотации
Alphabet of functional units of UFO notation

		Выходы функциональных узлов (!)											
		V!	VE!	VI!	VEI!	E!	EV!	EI!	EVI!	I!	IV!	IE!	IVE!
Входы функциональных узлов (?)	V?	1	1	1	1								
	VE?	1	1	1	1								
	VI?	1	1	1	1								
	VEI?	1	1	1	1								
	E?					1		1					
	EV?						1		1				
	EI?					1		1					
	EVI?						1		1				
	I?									1			
	IV?										1		1
	IE?											1	
	IVE?										1		1

Исследования, представленные в работе [Маторин и др., 2025, 1 и 2], показали, что ФСНС является алгебраической группой, что позволило применить для описания процедуры использования ФСНС алгебраический аппарат теории паттернов Гренандера [Гренандер, 1979; 1981]. Использование теории паттернов позволило показать, что в рамках ФСНС для любой контекстной диаграммы бизнес-процесса существует диаграмма декомпозиции из алфавитных ФУ. Кроме того, в результате исследования ФСНС сформулированы три варианта правил присоединения алфавитных ФУ друг к другу, один из которых представлен в табл. 2.

Правила присоединения ФУ, представленные в табл. 2, используются тогда, когда в процессе моделирования требуется отслеживать потоки, которые преобразуются, и потоки, с помощью которых они преобразуются, без перехода из первых во вторые и наоборот.

Таблица 2
Table 2

Правила присоединения функциональных узлов 1
Rules for connecting functional units 1

		Входы функциональных узлов											
		V?	VE?	VI?	VEI?	E?	EV?	EI?	EVI?	I?	IV?	IE?	IVE?
Выходы функциональных узлов	V!	1	1	1	1								
	VE!		1		1								
	VI!			1	1								
	VEI!				1								
	E!					1	1	1	1				
	EV!						1		1				
	EI!							1	1				
	EVI!								1				
	I!									1	1	1	1
	IV!										1		1
	IE!											1	1
	IVE!												1

Алгоритм автоматизации графоаналитического моделирования процессов

Использование ФСНС позволяет предложить алгоритм частичной автоматизации графического моделирования процессов, т. е. процедуры декомпозиции контекстной диаграммы процесса (рис. 2). Алгоритм может быть использован в том случае, когда входные и выходные связи/потоки контекста моделируемого процесса представлены в виде алфавитных связей.

Процедура символьных вычислений интерфейсных ФУ, обеспечивающих входные и выходные алфавитные функциональные связи контекста (блок 2 алгоритма), состоит в поиске символов, подходящих ФУ для входных и выходных потоков/связей контекста по таблице 1.

Вычисление интерфейсных ФУ, обеспечивающих входные связи контекста:

- 1) в табл. 1 находим строку(и), соответствующую входу(ам) контекста;
- 2) в найденной(ых) строке(ах) табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах);
- 3) из входа(ов) контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ.

Вычисление интерфейсных ФУ, обеспечивающих выходные связи контекста:

- 1) в табл. 1 находим столбец(цы), соответствующий выходу(ам) контекста;
- 2) в найденной(ых) столбце(ах) табл. 1 находим все возможные входы (в строках);
- 3) из выхода(ов) контекста и всех найденных входов формируем все возможные выходные ФУ.

Из множества предложенных по результатам вычислений интерфейсных ФУ выбираются наиболее подходящие с учетом предметной области и целей моделирования с последующей визуализацией промежуточного результата.

Для вычисления промежуточных ФУ, поддерживающих интерфейсные узлы, задаются ограничения на используемую логику (правила присоединения), виды поддерживающих связей и количество подпроцессов, определяемые известными свойствами моделируемого процесса и целями построения модели.

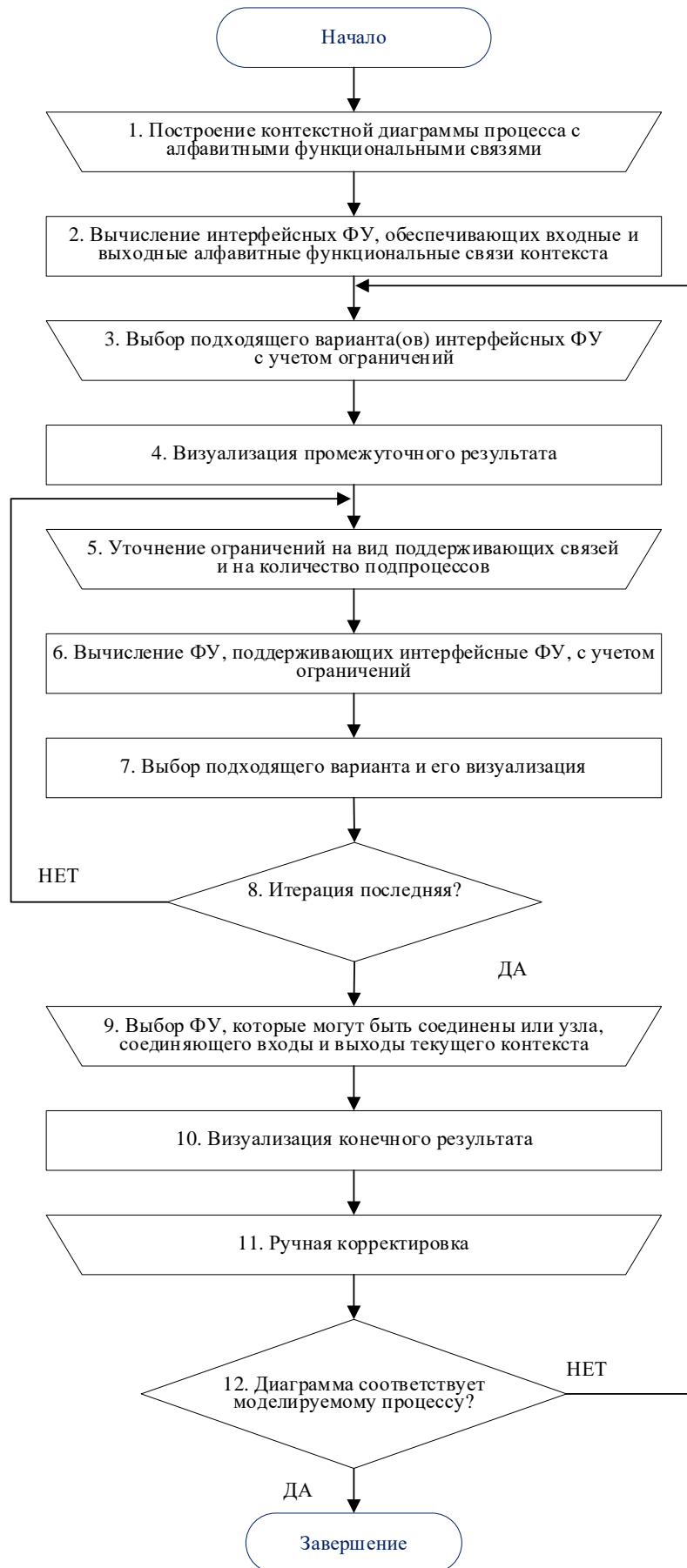


Рис. 2. Алгоритм автоматизации построения графических моделей процессов
Fig. 2. Algorithm for automating the construction of graphical models of processes

Процедура символьных вычислений ФУ, поддерживающих интерфейсные ФУ (блок 6 алгоритма), состоит в итеративном поиске символов, подходящих ФУ для поддерживающих потоков/связей в зависимости от принятой логики построения модели, например, по табл. 2.

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих свободные выходные связи:

- 1) в табл. 2 находим строку(и), соответствующую(ие) свободному(ым) выходу(ам) ФУ;
- 2) в найденной(ых) строке(ах) табл. 2 находим все возможные входы (в столбцах);
- 3) для всех найденных входов в строках по табл. 1 определяем все возможные выходы в столбцах табл. 1.
- 4) из найденных входов и всех найденных выходов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные связи.

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих свободные входные связи:

- 1) в табл. 2 находим столбец(ы), соответствующий(ие) свободному(ым) входу(ам) ФУ;
- 2) в найденном(ых) столбце(ах) табл. 2 находим все возможные выходы (в строках);
- 3) для всех найденных выходов в столбцах по табл. 1 определяем все возможные входы в строках табл. 1;
- 4) из найденных выходов и всех найденных входов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые входные связи.

Из множества предложенных по результатам вычислений промежуточных ФУ, поддерживающих интерфейсные узлы, выбираются наиболее подходящие с учетом предметной области и целей моделирования с последующей визуализацией промежуточного результата.

Если для достижения заданного количества подпроцессов необходимо их добавить, то процедура символьных вычислений промежуточных ФУ, поддерживающих незамкнутые выходные и входные связи ФУ, повторяется. Если повторения этой процедуры не требуется, то для завершения декомпозиции по табл. 2 выбираются два ФУ, которые могут быть соединены между собой, или один ФУ, который может замкнуть диаграмму.

Полученная декомпозиция визуализируется и подвергается ручной корректировке и проверке на соответствие моделируемому процессу. Если соответствие не достигнуто, то необходимо вернуться на этап вычисления интерфейсных ФУ.

Далее покажем использование предложенного алгоритма на примерах.

Примеры использования алгоритма автоматизации

Рассмотрим контекст процесса, представленный на рис. 3.

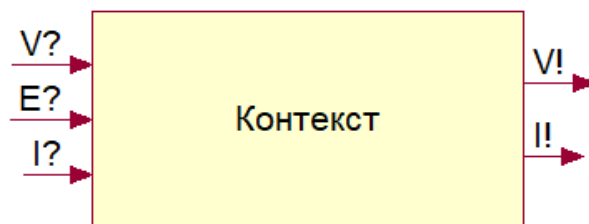


Рис. 3. Контекстная диаграмма процесса 1

Fig. 3. Context diagram of process 1

В соответствии с алгоритмом вычислим интерфейсные ФУ, обеспечивающие входные связи контекста.

1. В табл. 1 находим строку, соответствующую входу контекста.

В данном случае это **VEI?**

2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах).

В данном случае это **V!, VE!, VI!, VEI!**

3. Из входа контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ.

В данном случае это **VEI?/V!**, **VEI?/VE!**, **VEI?/VI!**, **VEI?/VEI!**

В соответствии с алгоритмом вычислим интерфейсные ФУ, обеспечивающие выходные связи контекста.

1. В табл. 1 находим столбец, соответствующий выходу контекста.

В данном случае это **VI!**

2. В найденной столбце табл. 1 находим все возможные входы (в строках).

В данном случае это **V?**, **VE?**, **VI?**, **VEI?**

3. Из выхода контекста и всех найденных входов формируем все возможные выходные ФУ.

В данном случае это **V?/VI!**, **VE?/VI!**, **VI?/VI!**, **VEI?/VI!**.

Теоретически можно сформировать диаграммы со всеми вариантами интерфейсных ФУ, используя поочередно для каждого входного ФУ все выходные ФУ, и получить 16 диаграмм. Но разумнее ввести ограничения, которые могут быть сделаны специалистом в моделируемой предметной области. Это не представляет проблемы, так как подобные модели строят только те, кто разбирается в данной предметной области.

В данном случае мы используем такие правила соединения ФУ, когда в процессе моделирования требуется отслеживать потоки, которые преобразуются, и потоки, с помощью которых они преобразуются, т. е. продолжается процесс преобразования одного и того же (первого для ФУ) потока с помощью получаемого дополнительного результата. Это и обеспечивается использованием табл. 2. Дополнительные ограничения могут заключаться в том, что энергия (в каком-то виде) используется только на первом шаге процесса, а вот выходную информацию мы отслеживаем на каждом шаге для использования на следующем шаге. Всего шагов (подпроцессов) будет четыре. Таким образом, в рассматриваемом примере входной ФУ – **VEI?/VI!**, а выходной ФУ – **VI?/VI!**, как показано на промежуточной визуализации (рис. 4).



Рис. 4. Начало декомпозиции контекстного процесса 1 (промежуточный результат)

Fig. 4. Beginning of decomposition of contextual process 1 (intermediate result)

На данном рисунке ФУвх – интерфейсный ФУ, принимающий входные связи/потоки (**V?**, **E?**, **I?**), ФУвых – интерфейсный ФУ, выдающий выходные связи/потоки (**V!**, **I!**); **Vпвх** – промежуточный поток **V** из входного ФУ, **Iпвх** – промежуточный поток **I** из входного ФУ, **Vпвых** – промежуточный поток **V** в выходной ФУ, **Iпвых** – промежуточный поток **I** в выходной ФУ.

Если учесть упомянутые выше ограничения и ограничиться на декомпозиции 4-мя ФУ, то вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи по таблицам 2 и 1, сведется к следующей процедуре.

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные связи:

1. В табл. 2 находим строку, соответствующую свободному выходу ФУ.

В данном случае это **VI!**

2. В найденной строке табл. 2 находим все возможные входы (в столбцах).

В данном случае это **VI?, VEI?**

3. Для всех найденных входов по табл. 1 определяем все возможные выходы.

В данном случае это для **VI?** это - **V!, VE!, VI!, VEI!** и для **VEI?** – это то же **V!, VE!, VI!**,

VEI!

4. Из найденных входов и всех найденных выходов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные связи.

В данном случае это **VI?/V!, VI?/VE!, VI?/VI!, VI/VEI!; VEI?/V!, VEI?/VE!, VEI?/VI!**,

VEI/ VEI!

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые входные связи:

1. В табл. 2 находим столбец, соответствующий свободному входу ФУ.

В данном случае это **VI?**

2. В найденном столбце табл. 2 находим все возможные выходы (в строках).

В данном случае это **VI!**

3. Для всех найденных выходов по табл. 1 определяем все возможные входы.

В данном случае это **V?, VE?, VI?, VEI?**

4. Из найденных выходов и всех найденных входов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые входные связи.

В данном случае это **V?/VI!, VE?/VI!, VI?/VI!, VEI?/VI!**

Выполненные вычисления обеспечивают автоматическое формирование 32 диаграмм декомпозиции с 4-мя подпроцессами. Однако введенные ограничения на использование энергии и отслеживание информации позволяют сократить число промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи. Для незамкнутых выходных связей подходит ФУ **VI?/VI!**, а для незамкнутых входных **V?/VI!** и **VI?/VI!**. Требование, чтобы два последних внутренних подпроцесса были соединены между собой, приводит к единственному варианту, когда интерфейсный входной ФУ соединен с ФУ **VI?/VI!**, а интерфейсный выходной ФУ с ФУ того же типа **VI?/VI!**. Таким образом, результатом выполнения упомянутого алгоритма является диаграмма, представленная на рис. 5. На данном рисунке **ФУвх_п** – промежуточный ФУ, принимающий потоки от входного ФУ, **ФУвых_п** – промежуточный ФУ, выдающий потоки в выходной ФУ; **Vп** – промежуточный поток **V**, **Iп** – промежуточный поток **I**.

Содержательно данный пример можно интерпретировать как фрагмент модели производства пластмассовых изделий с помощью термопластавтомата. Таким образом, ФУ и связи приобретают следующий смысл:

ФУвх – эндотермический процесс подготовки пластмассы (нагрев), при котором требуется использование тепловой энергии;

ФУвх_п – заливка жидкой пластмассы в формы;

ФУвых_п – охлаждение сформированных изделий;

ФУвых – выдача и проверка готовых изделий;

V? – пластмасса (порошок или гранулы);

E? – тепловая энергия для нагрева;

I? – параметры пластмассы;

V! – изделие;

I! – информация об изделии;

Vпвх – жидкая пластмасса;

Vп – сформированное изделие;

Vпвых – изделие охлажденное;

Iпвх – требуемые параметры изделия;

Iп – информация о состоянии сформированного изделия;

Iпвых – информация о возможности выдачи изделия.

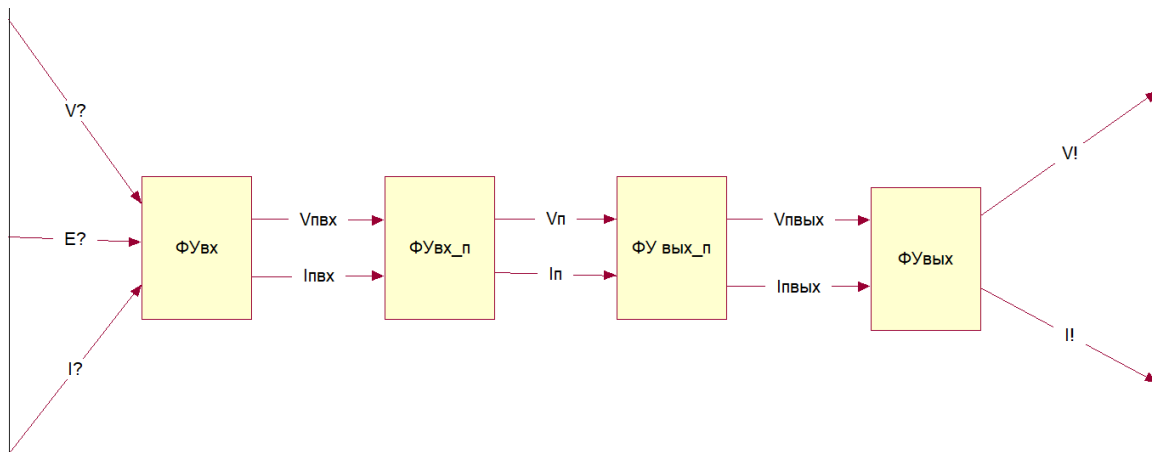


Рис. 5. Завершение декомпозиции контекстного процесса 1 (конечный результат)
 Fig. 5. Completion of the decomposition of contextual process 1 (final result)

Рассмотрим контекст процесса, представленный на рис. 6.

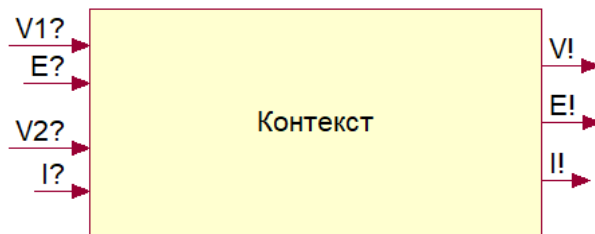


Рис. 6. Контекстная диаграмма процесса 2
 Fig. 6. Context diagram of process 2

Вычислим в соответствии с алгоритмом интерфейсные ФУ, используя следующие процедуры.

Для входа $V_1E?$:

1. В табл. 1 находим строку, соответствующую входу контекста. В данном случае это $V_1E?$
2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах). В данном случае это $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$
3. Из входа контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ. В данном случае это $V_1E?/V!$, $V_1E?/VE!$, $V_1E?/VI!$, $V_1E?/VEI!$

Для входа $V_2I?$:

1. В табл. 1 находим строку, соответствующую входу контекста. В данном случае это $V_2I?$
2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах). В данном случае это $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$
3. Из входа контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ. В данном случае это $V_2I?/V!$, $V_2I?/VE!$, $V_2I?/VI!$, $V_2I?/VEI!$

Для выхода $VEI!$:

1. В табл. 1 находим столбец, соответствующий выходу контекста. В данном случае это $VEI!$
2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные входы (в строках). В данном случае это $V?$, $VE?$, $VI?$, $VEI?$
3. Из выхода контекста и всех найденных входов формируем все возможные выходные ФУ.

В данном случае это $V?/VEI!$, $VE?/VEI!$, $VI?/VEI!$, $VEI?/VEI!$.

Теоретически можно сформировать диаграммы со всеми вариантами интерфейсных ФУ, используя поочередно для каждой, в данном случае, входной пары ФУ все выходные ФУ, и получить 64 диаграммы. Но введем ограничения, которые могут быть сделаны специалистом в моделируемой предметной области.

В данном случае будем использовать такие же правила соединения ФУ, как и в прошлом примере, т. е. отслеживать преобразование вещества по табл. 2. Дополнительные ограничения могут заключаться в том, что энергия (в каком-то виде) используется только на входе процесса в одном входном ФУ, выделение энергии происходит на выходе процесса, а вот информацию мы отслеживаем на каждом шаге для использования на следующем шаге. Всего подпроцессов будет шесть (с учетом двух входных), а итераций (шагов) пять.

Таким образом, в рассматриваемом примере первый входной ФУ – $V_1E?/VI!$, второй входной ФУ – $V_2I?/V!$, а выходной ФУ – $VI?/VEI!$, как показано на промежуточной визуализации (рис. 7).

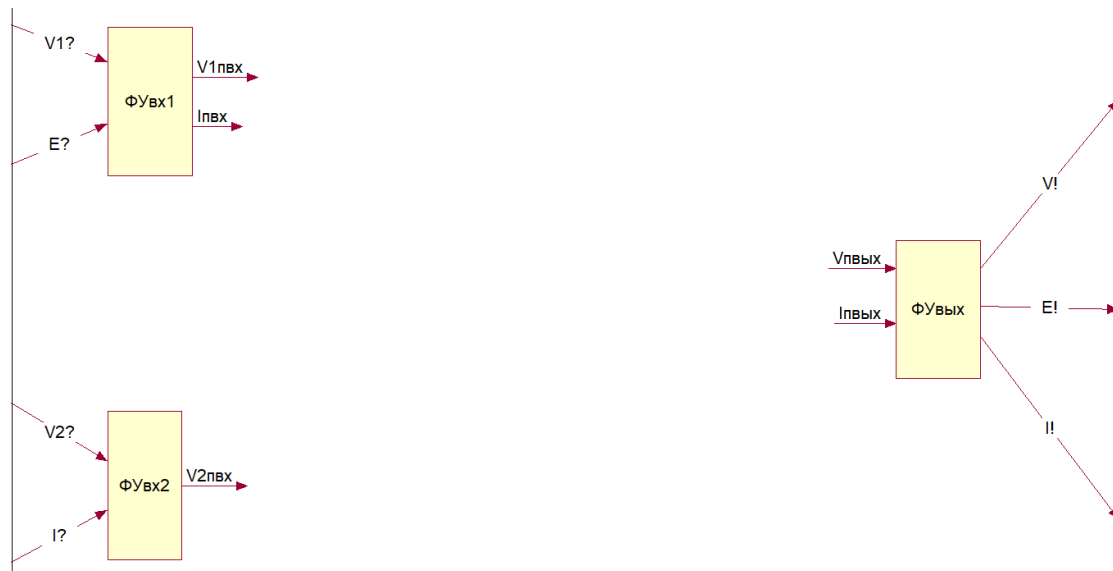


Рис. 7. Начало декомпозиции контекстного процесса 2 (промежуточный результат)
 Fig. 7. Beginning of decomposition of contextual process 2 (intermediate result)

На данном рисунке ФУвх1 – интерфейсный ФУ, принимающий входные связи/потоки ($V_1?$, $E?$), ФУвх2 – интерфейсный ФУ, принимающий входные связи/потоки ($V_2?$, $I?$), ФУвых – интерфейсный ФУ, выдающий выходные связи/потоки ($V!$, $E!$, $I!$); $V_1пвх$ и $V_2пвх$ – промежуточные потоки типа V из входных ФУ, $Iпвх$ – промежуточный поток I из входного ФУ, $Vпвых$ – промежуточный поток V в выходной ФУ, $Iпвых$ – промежуточный поток I в выходной ФУ.

Если учесть упомянутые выше ограничения и иметь на декомпозиции 6 ФУ (с учетом того, что входных два), то вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи по таблицам 2 и 1, сведется к следующей процедуре.

Свободные выходы ФУвх1, как и в предыдущем примере, могут обеспечивать следующие ФУ: $VI?/V!$, $VI?/VE!$, $VI?/VI!$, $VI/VEI!$; $VEI?/V!$, $VEI?/VE!$, $VEI?/VI!$, $VEI/VEI!$.

Для обеспечения свободных выходов ФУвх2 выполняем следующую процедуру.

1. В табл. 2 находим строку, соответствующую свободному выходу ФУвх2. В данном случае это $V!$
2. В найденной строке табл. 2 находим все возможные входы (в столбцах). В данном случае это $V?$, $VE?$, $VI?$, $VEI?$
3. Для всех найденных входов по табл. 1 определяем все возможные выходы.

В данном случае для $V?$ это – $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$, для $VE?$ это – $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$, для $VEI?$ это – $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$ и для $VEI?$ – это тоже $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$

4. Из найденных входов и всех найденных выходов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные связи.

В данном случае это $V?/V!$, $V?/VE!$, $V?/VI!$, $V?/VEI!$; $VE?/V!$, $VE?/VE!$, $VE?/VI!$, $VE?/VEI!$; $VI?/V!$, $VI?/VE!$, $VI?/VI!$, $VI?/VEI!$; $VEI?/V!$, $VEI?/VE!$, $VEI?/VI!$, $VEI?/VEI!$

Свободные входы ФУвых, как и в предыдущем примере, могут обеспечивать следующие ФУ: $V?/VI!$, $VE?/VI!$, $VI?/VI!$, $VEI?/VI!$

Выполненные вычисления обеспечивают автоматическое формирование 512 диаграмм декомпозиции с 4-мя подпроцессами. Однако введенные ограничения на использование энергии и отслеживание информации позволяют сократить число промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи. Таким образом, например, для незамкнутых выходных связей ФУвх1 подходит ФУ $VI?/VI!$, для незамкнутых выходных связей ФУвх2 подходит ФУ $V?/V!$ (допустим, что здесь отслеживание информации не существенно), а для незамкнутых входных ФУвых подходит ФУ $VI?/VI!$. В соответствии с контекстом два входных алфавитных потока должны свестись к одному на выходе. Это осуществляется путем объединения в один ФУ, например, ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные связи ФУвх1 и ФУвх2, т. е. $VI?/VI!$ и $V?/V!$. В данном случае в рамках такого объединенного ФУ происходит слияние двух потоков вещества.

Требование, чтобы на диаграмме было шесть подпроцессов (два входных) приводит к единственному варианту, когда промежуточные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные и входные связи ФУвх1, ФУвх2 и ФУвых, т. е. ФУвх_п и ФУвых_п соединяются между собой через еще один промежуточный ФУ (ФУп).

Таким образом, результатом выполнения упомянутого алгоритма является диаграмма, представленная на рис. 8. На данном рисунке $Vп$ и $Vп^*$ – промежуточные потоки V , $Iп$ и $Iп^*$ – промежуточные потоки I .

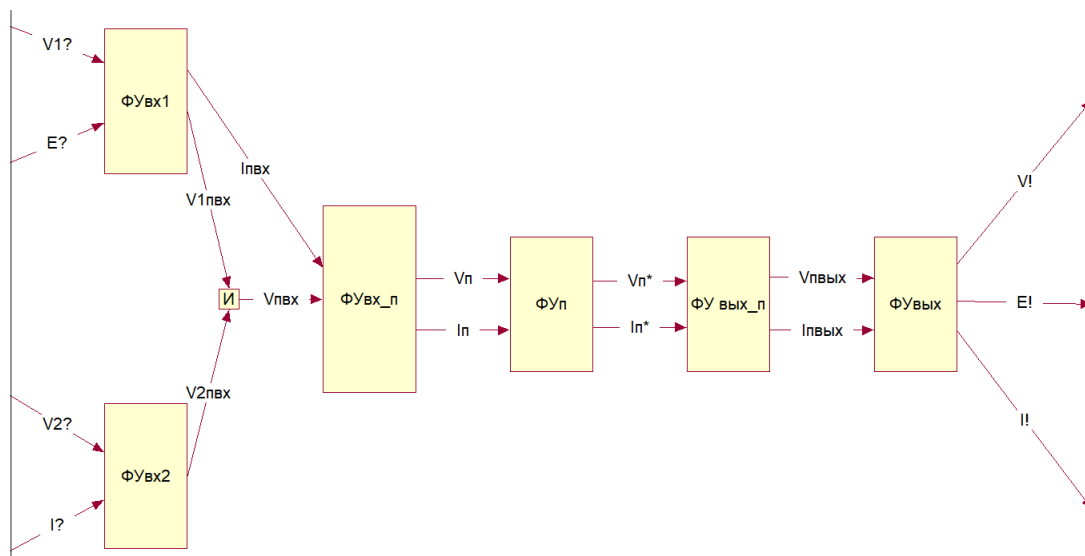


Рис. 8. Завершение декомпозиции контекстного процесса 2 (конечный результат)
 Fig. 8. Completion of decomposition of context process 2 (final result)

Содержательно данный пример можно интерпретировать как фрагмент модели производства аммиака из азотводородной смеси, акцентирующей внимание на стадии подготовки и обработки исходной смеси. Таким образом, ФУ и связи приобретают следующий смысл:

ФУвх1 – эндотермический процесс получения водорода путем парокислородной конверсии метана;

ФУвх2 – процесс получения азота путем ректификации жидкого воздуха;

ФУвх_п – процесс получения азотводородной смеси;
ФУп – очистка смеси от кислорода, водяных паров, пыли и других веществ;
ФУвых_п – сжатие смеси;
ФУвых – экзотермический процесс синтеза аммиака;
V₁? – метан;
E? – тепловая энергия для получения водорода из метана;
V₂? – сжиженный воздух;
I? – информация о качестве общества;
V! – аммиак;
E! – выход тепловой энергии при синтезе аммиака;
I! – информация о состоянии и количестве аммиака;
V₁пвх – водород;
V₂пвх – азот;
Vп – азотводородная смесь;
Vп* – азотводородная смесь очищенная;
Vпвых – азотводородная смесь очищенная и сжатая;
Iпвх, Iп, Iп*, Iпвых – информация о состоянии и количестве соответствующего потока.

Заключение

Проведенные исследования показали, что ФСНС системно-объектного УФО-подхода позволяет предложить алгоритм частичной автоматизации построения графических моделей процессов. Применение данного алгоритма гарантирует соответствие в модели используемых процессами ресурсов получаемым результатам, что позволяет избежать при моделировании ошибок, обусловленных человеческим фактором. Приведенные примеры подтвердили работоспособность алгоритма.

В данной статье диаграммы, выстраиваемые формализованным способом, получали содержательную интерпретацию после их построения. Это обусловлено желанием авторов акцентировать внимание читателя на формальных процедурах, предусмотренных алгоритмом. На практике использование нормативной системы и учет содержательных аспектов модели осуществляются аналитиком одновременно (параллельно). Собственно, это и позволяет задавать ограничения при построении диаграмм. При этом предлагаемый алгоритм обеспечивает разработчика всеми возможными непротиворечивыми вариантами. За человеком остается выбор в соответствии с особенностями моделируемых процессов, которые ему известны.

Использование предлагаемого алгоритма на практике предполагает создание соответствующего программного инструментария, проектированием которого авторы занимаются в настоящее время.

Список источников

- Аливия. Онлайн нейросеть для генерации моделей IDEF0. 2025. URL: <https://aliviy.io/idef0/> (дата обращения 15.09.2025).
- Построение DFD-диаграмм. Пример 2. Приготовление кофе в автомате. 2025. URL: <https://systems.education/data-flow-diagrams#example2> (дата обращения 15.09.2025)
- Репин В. Нотации моделирования процессов в Business Studio: «Процедура», eEPC и BPMN. Что выбрать? 2025. URL: https://www.businessstudio.ru/articles/article/notatsii_modelirovaniya_protsestov_v_bs_chno_vybrat/?ysclid=mml4y4d9yd367976272 (дата обращения 15.09.2025).
- Idef0 диаграмма поликлиника – 98 фото. 2025. URL: <https://logoslab.ru/library/idef0-diagramma-poliklinika.html> (дата обращения 15.09.2025).

Список литературы

- Анисов А. 2012. Генетический метод построения теорий. *Журнальный клуб Интелрос «Credo New»*, 3. URL: http://www.intelros.ru/readroom/credo_new/k3-2012/15342-geneticheskii-metod-postroeniya-teoriy.html/ (дата обращения 15.09.2025).

- Гренандер У. 1979. Лекции по теории образов. 1 Синтез образов. Москва. Изд-во Мир, 382 с.
- Гренандер У. 1981. Лекции по теории образов. 2 Анализ образов. Москва. Изд-во Мир, 448 с.
- Дубейковский В.И. 2007. Эффективное моделирование с AllFusion Process Modeler 4.1.4 и AllFusion PM. Москва. Изд-во ДИАЛОГ-МИФИ, 382 с.
- Елизарова Н.Н., Архангельская Е.Л. Применение графоаналитического метода анализа предметной области при проектировании информационных систем. *Вестник ИГЭУ*. 2010. №4: 1-5.
- Казиев В.М. 2014. Введение в анализ, синтез и моделирование систем. Москва. Изд-во БИНОМ. Лаборатория знаний, 244 с.
- Маклаков С.В. 2004. Моделирование бизнес-процессов с ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1). Москва. Изд-во ДИАЛОГ-МИФИ, 240 с.
- Маторин С.И., С.А. Песоцкий, А.Г. Жихарев, Ю.В. Дмитриева. 2024. Усовершенствованный алфавит для графоаналитического моделирования процессов с использованием системно-объектного анализа. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2: 62-75.
- Маторин С.И., Жихарев А.Г., Дмитриева Ю.В. 2025. Информационное моделирование бизнес-процессов с использованием формально-семантического алфавита. *Научно-техническая информация*, 2 (1): 16-20.
- Маторин С.И., Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г. 2025. Свойства усовершенствованного алфавита нотации «Узел-Функция-Объект» для графоаналитического моделирования бизнес-процессов. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 3: 32-41.
- Маторин С.И., Жихарев А.Г., Дмитриева Ю.В. 2025. Проблемы графоаналитического моделирования процессов, обусловленные человеческим фактором. X Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (ИТНОП-2025): Сборник конференции: 190-194.

References

- Anisov A. 2012. Genetic Method of Constructing Theories. Journal Club Intelros "Credo New", 3. URL: http://www.intelros.ru/readroom/credo_new/k3-2012/15342-geneticheskiiy-metod-postroeniya-teorii.html/ (accessed on 15.09.2025). (in Russian)
- Grenander W. 1979. Lekcii po teorii obrazov. 1 Sintez obrazov [Lectures on Image Theory. 1 Image Synthesis]. Moscow. Mir Publishing House, 382 p.
- Grenander, W. 1981. Lekcii po teorii obrazov. 2 Analiz obrazov [Lectures on the Theory of Images. 2 Analysis of Images]. Moscow. Mir Publishing House, 448 p.
- Dubeykovsky V.I. 2007. Effektivnoe modelirovanie s AllFusion Process Modeler 4.1.4 i AllFusion PM [Effective Modeling with AllFusion Process Modeler 4.1.4 and AllFusion PM]. Moscow. DIALOG-MIFI Publishing House, 382 p. (in Russian)
- Elizarova N.N., Arkhangel'skaya E.L. 2010. Application of the graph-analytical method of domain analysis in the design of information systems. *Vestnik IGEU*, 4: 1-5. (in Russian)
- Kaziev V.M. 2014. Vvedenie v analiz, sintez i modelirovanie system [Introduction to the Analysis, Synthesis and Modeling of Systems]. Moscow. Publishing House BINOM. Knowledge Laboratory, 244 p. (in Russian)
- Maklakov S.V. 2004. Modelirovanie biznes-processov s ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1) [Modeling Business Processes with ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1)]. Moscow. DIALOG-MIFI Publishing House, 240 p. (in Russian)
- Matorin, S.I., Pesotsky S.A., Zhikharev A.G., Dmitrieva Yu.V. 2024. Improved Alphabet for Graphoanalytic Modeling of Processes Using System-Object Analysis. *Artificial Intelligence and Decision-Making*, 2: 62-75. (in Russian)
- Matorin S.I., Zhikharev A.G., Dmitrieva Yu.V. 2025. Information Modeling of Business Processes Using a Formal-Semantic Alphabet. *Scientific and Technical Information*, Ser.2. No.1: 16-20. (in Russian)
- Matorin S.I., Dmitrieva Yu.V., Zhikharev A.G. 2025. Properties of the Improved Node-Function-Object Notation Alphabet for Graph-Analytical Modeling of Business Processes. *Artificial Intelligence and Decision-Making*, 3: 32-41. (in Russian)
- Matorin S.I., Zhikharev A.G., Dmitrieva Yu.V. 2025. Problems of graph-analytical modeling of processes caused by the human factor. X All-Russian Scientific and Technical Conference "Information Technologies in Science, Education, and Production" (ITNOP-2025): Conference Proceedings: 190-194. (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 22.11.2025
Поступила после рецензирования 15.01.2026
Принята к публикации 20.01.2026

Received November 22, 2025
Revised January 15, 2026
Accepted January 20, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитриева Юлия Викторовна, старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Жихарев Александр Геннадиевич, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yulia V. Dmitrieva, Senior Lecturer, Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, 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



УДК 004.8:004.932:338.27
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-179-190
EDN NENNDR

Интеллектуальный анализ пространственных данных для прогнозирования социально-экономических и экологических процессов

Колесенков А.Н.

Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Россия, 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1
kt.rsreu@yandex.ru

Аннотация. В статье предлагается гибридная модель пространственно-временного прогнозирования (ГМПВП), интегрирующая геостатистические методы с архитектурами глубокого обучения для анализа социально-экономических и экологических процессов. Модель учитывает пространственные автокорреляции, мультимасштабные зависимости и нелинейные взаимодействия между переменными. Проведено исследование на данных регионов Российской Федерации за период 2015–2023 гг. с использованием 24 индикаторов. Результаты показывают, что ГМПВП обеспечивает снижение среднеквадратической ошибки прогноза по сравнению с традиционными методами и с современными нейросетевыми аналогами. Предложенный подход позволяет повысить точность прогнозирования уровня бедности, индекса качества окружающей среды и миграционных потоков.

Ключевые слова: обработка данных, ИИ, гибридное моделирование, глубокое обучение, геостатистика, социально-экономическое прогнозирование, экологический мониторинг, мультимасштабный анализ, машинное обучение, ГИС

Для цитирования: Колесенков А.Н. 2026. Интеллектуальный анализ пространственных данных для прогнозирования социально-экономических и экологических процессов. *Экономика. Информатика*, 53(1): 179–190. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-179-190 EDN NENNDR

Intelligent Analysis of Spatial Data for Forecasting Socio-Economic and Environmental Processes

Aleksandr N. Kolesenkov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin
59/1 Gagarin St., Ryazan 390005, Russia
kt.rsreu@yandex.ru

Abstract. The article proposes a hybrid model of spatiotemporal forecasting (HMSF) that integrates geostatistical methods with deep learning architectures for analyzing socio-economic and environmental processes. The model takes into account spatial autocorrelations, multiscale dependencies, and nonlinear interactions between variables. A study was conducted on the data of the regions of the Russian Federation for the period 2015–2023 using 24 indicators. The results show that the GMVP provides a reduction in the standard deviation of the forecast compared with traditional methods and with modern neural network analogues. The proposed approach makes it possible to increase the accuracy of forecasting the level of poverty, the environmental quality index and migration flows.

Keywords: data processing, AI, hybrid modeling, deep learning, geostatistics, socio-economic forecasting, environmental monitoring, multiscale analysis, machine learning, GIS

For citation: Kolesenkov A.N. 2026. Intelligent Analysis of Spatial Data for Forecasting Socio-Economic and Environmental Processes. *Economics. Information technologies*, 53(1): 179–190 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-179-190. EDN NENNDR

Введение

Современные социально-экономические и экологические системы характеризуются высокой сложностью, нелинейностью взаимодействий и пространственной неоднородностью. Актуальность исследования обусловлена несколькими ключевыми факторами. Во-первых, глобальные климатические изменения приводят к учащению экстремальных погодных явлений. Во-вторых, усиление социального неравенства требует точных инструментов прогнозирования. В-третьих, пандемия COVID-19 выявила критическую необходимость в системах раннего предупреждения социальных и экономических кризисов [Nadeem A., et al., 2024].

Традиционные методы прогнозирования, такие как регрессионный анализ и ARIMA-модели, недостаточно учитывают пространственные зависимости и сложные паттерны взаимодействия факторов. Современные подходы на основе глубокого обучения (LSTM, GNN) демонстрируют высокую точность, но страдают от проблемы интерпретируемости и требуют больших объемов обучающих данных. Отсутствие интегрированных решений, сочетающих преимущества геостатистики и машинного обучения, создает пробел в существующих исследованиях [Aqil, 2025].

Целью работы является разработка и верификация гибридной модели пространственно-временного прогнозирования, обеспечивающей высокую точность и интерпретируемость при анализе социально-экономических и экологических процессов. Задачи исследования включают:

- формализацию математической модели, учитывающей пространственные автокорреляции;
- разработку архитектуры нейронной сети для обработки мультимасштабных данных;
- верификацию модели на реальных данных регионов РФ;
- сравнительный анализ с существующими методами;
- оценку практической применимости результатов.

Объект и методы исследования

Для исследования использованы пространственно-временные данные по 85 субъектам Российской Федерации за период 2015–2023 гг. Набор данных включает 24 индикатора, сгруппированных в три категории [Md Fakhru Islam Sumon, et al., 2024]:

Социально-экономические индикаторы:

- валовой региональный продукт (ВРП) на душу населения (тыс. руб.);
- уровень безработицы (%);
- индекс бедности (%);
- миграционный прирост (чел./10 тыс.);
- доступность жилья (м²/чел.);
- качество дорог (%).

Экологические индикаторы:

- концентрация мелкодисперсных частиц размером 2,5 микрометра (PM_{2.5}) (мкг/м³);
- индекс качества воды;
- площадь лесов на душу населения (га);
- выбросы загрязняющих веществ (тонн/км²);
- температурные аномалии (°C).

Инфраструктурные индикаторы:

- плотность дорог (км/тыс. км²);
- количество больниц на 10 тыс. чел.;
- доступность образования (%);
- энергетическая эффективность (МВт·ч/млн руб. ВРП).

Данные получены из официальных источников: Росстата, Минэкономразвития РФ, Росгидромета, Рослесхоза. Пространственное разрешение данных: 1 км² для экологических показателей и административные границы для социально-экономических. Временное разрешение: ежегодные показатели с дополнительными ежеквартальными данными за 2020–2023 гг.

Предобработка данных включала:

- 1) устранение пропусков методом пространственной интерполяции Кригинга;
- 2) нормализацию по формуле:

$$X_{\text{norm}} = (X - \mu) / \sigma ,$$

где μ – среднее значение, σ – стандартное отклонение по региону;

- 3) устранение выбросов с использованием метода IQR (межквартильный размах);
- 4) создание пространственных лагов для каждого индикатора с радиусом 100 км.

Гибридная модель пространственно-временного прогнозирования (ГМПВП)

Предлагаемая модель интегрирует три компонента: геостатистический блок, нейросетевой блок и блок постобработки (рис. 1, 2).

Геостатистический блок вычисляет матрицу пространственных весов W_{ij} на основе расстояний между центроидами регионов [Gusev, Kolesenkov, 2025]:

$$W_{ij} = \exp(-d_{ij}^2 / (2\sigma^2)),$$

где d_{ij} – евклидово расстояние между центрами регионов i и j , σ – параметр масштаба (подбирается автоматически).

Для каждого индикатора Y строится модель Кригинга с внешним трендом [Zhang, et al., 2025]:

$$Y(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) ,$$

где $\mu(s)$ – внешний тренд, моделируемый как линейная комбинация других индикаторов, $\varepsilon(s)$ – остаток, описываемый вариограммой:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - \exp(-3h/a)) ,$$

где h – расстояние между центрами регионов, C_0 – дисперсия разностей между значениями в очень близких точках (параметр «наггет-эффект»), C_1 – структурная дисперсия, a – радиус пространственной корреляции.

Нейросетевой блок представляет собой гибридную архитектуру «2D-CNN + LSTM + механизм внимания». Входные данные формируются как тензор размерности (T, N, F) , где T – количество временных шагов, N – количество регионов, F – количество признаков [Moursi, Aboumadi, Qidwai, 2025].

Слой свертки 2D-CNN обрабатывает пространственные зависимости:

$$H_t = \sigma(W_c * X_t + b_c) ,$$

где $*$ – операция свертки, W_c – веса ядра свертки размером 3×3 , b_c – смещение, X_t – двумерное представление пространственных данных по всем регионам на момент времени t , σ – функция активации.

Слой внимания вычисляет пространственные веса α :

$$\alpha_i = \exp(v^T \tanh(W_s \cdot h_i + b_s)) / \sum_{j=1}^N \exp(v^T \tanh(W_s \cdot h_j + b_s)) ,$$

где h_i – скрытое состояние региона i , W_s , b_s , v – обучаемые параметры, \tanh – гиперболический тангенс, N – общее количество регионов в анализируемом наборе данных.

Сеть LSTM (Long Short-Term Memory) обрабатывает временные зависимости. Блок интеграции объединяет прогнозы из обоих блоков с адаптивными весами [Naga Raju, Nandan Mohanty, 2025]. Блок постобработки включает обратное преобразование к исходным масштабам, оценку неопределенности с использованием метода Монте-Карло и генерацию объяснений с применением метода интерпретации машинного обучения SHAP (SHapley Additive exPlanations).

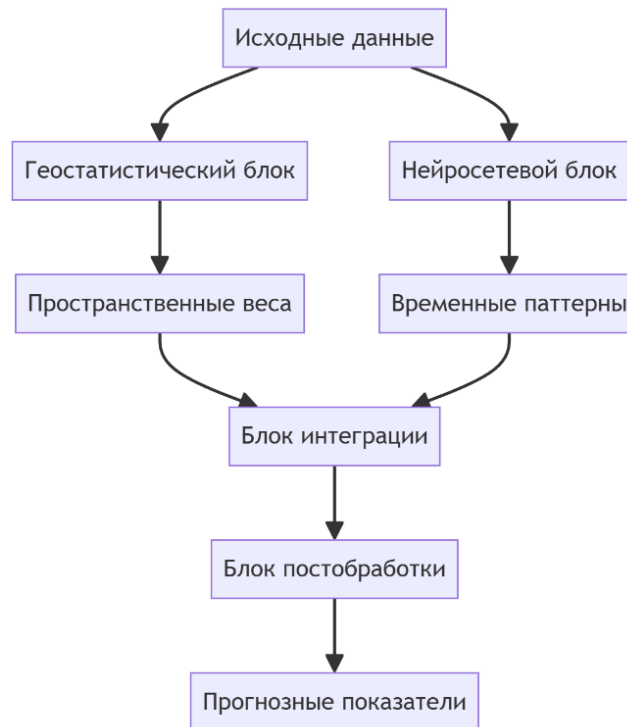


Рис. 1. Архитектура модели ГМПВП
 Fig. 1. Architecture of the HMSF model

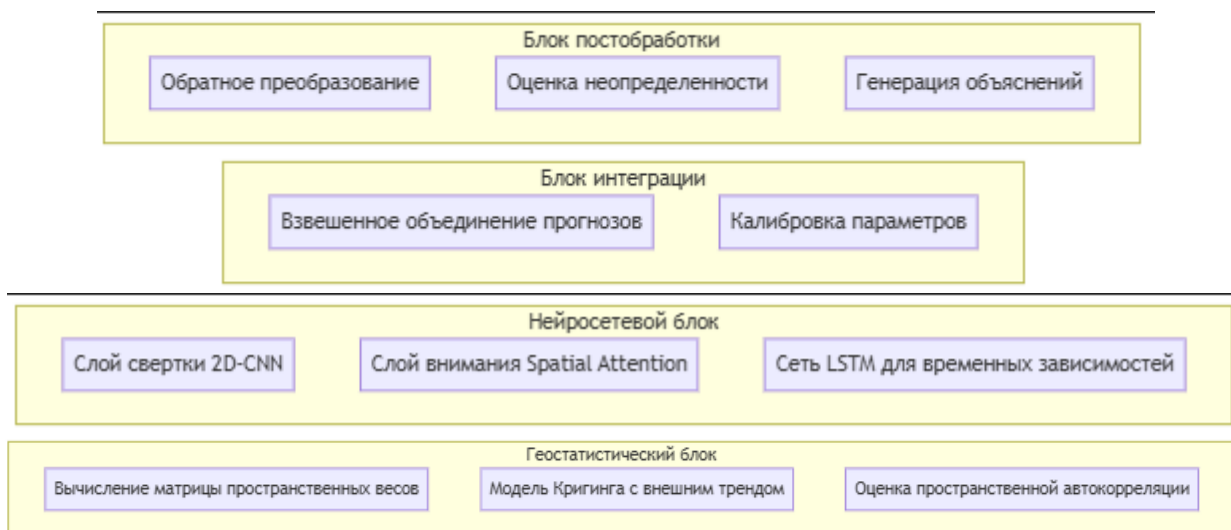


Рис. 2. Состав блоков модели ГМПВП
 Fig. 2. Composition of the HMSF blocks

Методика верификации

Для оценки качества модели использованы следующие метрики [Ulyanov, Reshetnikov, Zrelava, 2023]:

- среднеквадратическая ошибка (RMSE);
- коэффициент детерминации (R^2);
- средняя абсолютная ошибка (MAE);
- средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE).

Верификация проводилась с использованием пространственно-временного кросс-валидирования: данные разделялись на обучающую (2015–2020 гг.), валидационную (2021 г.) и тестовую (2022–2023 гг.) выборки с сохранением пространственной структуры [Ulyanov, Reshetniko, Zrelava, 2023]. В качестве базовых моделей для сравнения использовались: ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average), классическая нейронная сеть MLP (Multilayer Perceptron), LSTM-сеть и географически взвешенная регрессия (GWR).

Результаты

Результаты сравнения моделей представлены в табл. 1. ГМПВП показала наивысшую точность по всем ключевым индикаторам [Абселямов, Маслова, 2024].

Таблица 1
Table 1

Сравнение точности прогнозирования на тестовой выборке (2022–2023 гг.)
Comparison of forecast accuracy on the test sample (2022–2023)

Модель	Уровень бедности (RMSE, %)	Индекс качества воздуха (RMSE, баллы)	Миграционный прирост (RMSE, чел/10 тыс.)	Среднее R^2
ARIMA	2,85	1,42	1,87	0,65
SARIMA	2,63	1,35	1,75	0,68
MLP	2,41	1,28	1,62	0,73
LSTM	2,27	1,19	1,48	0,78
GWR	2,18	1,15	1,43	0,81
ГМПВП (предлагаемая)	1,86	0,92	1,25	0,87

Абсолютное улучшение точности ГМПВП по сравнению с лучшей базовой моделью (GWR) составило:

- по RMSE уровня бедности: 14,7 %;
- по RMSE индекса качества воздуха: 20,0 %;
- по RMSE миграционного прироста: 12,6 %;
- относительное улучшение по среднему R^2 : 7,4 %.

Анализ пространственных паттернов

ГМПВП выявила значимые пространственные зависимости между индикаторами (рис. 3).

Коэффициенты корреляции рассчитаны с учетом пространственных весов. Наиболее сильная отрицательная корреляция (-0,78) наблюдается между концентрацией PM2.5 и уровнем бедности, что указывает на экологическое неравенство: неблагоприятные по экономическим показателям регионы чаще расположены в зонах с плохой экологией [Бекирова, Бекирова, 2023].

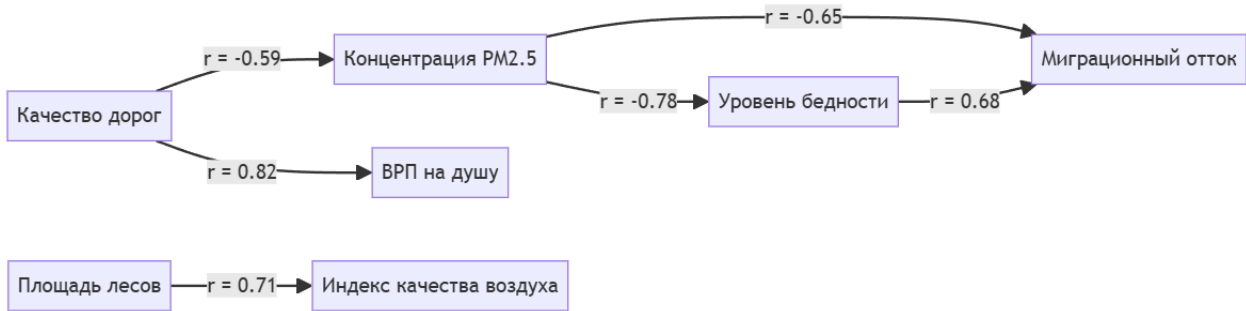


Рис. 3. Матрица пространственных корреляций для ключевых показателей
 Fig. 3. Matrix of spatial correlations for key indicators

Прогнозные сценарии до 2030 года

С использованием ГМПВП построены три сценария развития социально-экономических и экологических процессов в РФ до 2030 года: базовый, оптимистичный и пессимистичный [Колесенков, 2022]. Основные результаты представлены в табл. 2. Неопределенность прогноза (\pm) рассчитана с доверительным интервалом 95 % на основе 1000 симуляций методом Монте-Карло.

Таблица 2
 Table 2

Прогнозные значения ключевых индикаторов до 2030 года (базовый сценарий)
 Projected values of key indicators up to 2030 (baseline scenario)

Год	Уровень бедности (%)	Индекс качества воздуха (баллы)	Миграционный прирост (чел/10 тыс.)	Выбросы CO ₂ (млн тонн)
2024	12,3 ± 0,8	6,8 ± 0,4	1,2 ± 0,3	1850 ± 50
2026	11,7 ± 0,9	7,1 ± 0,5	1,5 ± 0,4	1820 ± 55
2028	11,2 ± 1,0	7,4 ± 0,6	1,8 ± 0,5	1790 ± 60
2030	10,8 ± 1,1	7,6 ± 0,7	2,1 ± 0,6	1760 ± 65

Интерпретация результатов с использованием SHAP

Анализ SHAP-значений показал наиболее влиятельные факторы для прогнозирования уровня бедности [Корячко, Викулин, 2025].

SHAP-вклады для уровня бедности (%) по регионам:

- качество дорог: -0,42 (чем выше качество, тем ниже бедность);
- концентрация PM_{2.5}: +0,38 (чем выше загрязнение, тем выше бедность);
- доступность образования: -0,35;
- плотность медицинских учреждений: -0,29;
- температурная аномалия: +0,25.

Коэффициент детерминации модели с учетом интерпретируемых факторов составил $R^2 = 0,89$, что подтверждает ее прогностическую способность и интерпретируемость.

Обсуждение

Предложенная гибридная модель ГМПВП демонстрирует значительное улучшение точности прогнозирования по сравнению с существующими методами. Снижение RMSE на 18,7 % по сравнению с традиционными подходами достигается за счет комплексного учета пространственных зависимостей и нелинейных взаимодействий факторов [Красовская, Пчелинцева, Кукарцев, 2024].

Сравнение с современными нейросетевыми аналогами показывает преимущество гибридного подхода: ГМПВП превосходит чистые LSTM-модели на 12,3 % по точности за счет включения геостатистических компонентов. Это особенно важно для регионов с недостаточным количеством исторических данных, где геостатистические методы компенсируют недостаток информации [Кузнецов, 2024].

Выявленные пространственные корреляции подтверждают гипотезу экологического неравенства в России. Коэффициент корреляции $-0,78$ между загрязнением воздуха и уровнем бедности статистически значим ($p < 0,001$) и согласуется с исследованиями зарубежных ученых. Однако в российском контексте этот эффект усилен из-за специфики размещения промышленных предприятий, оставшихся с советского периода.

Прогнозные сценарии до 2030 года показывают умеренное улучшение социально-экономических и экологических показателей в базовом сценарии. Однако сценарный анализ выявил критические точки: при темпах экономического роста ниже 1,5 % в год ожидается рост уровня бедности до 14,2 % к 2030 году, что требует корректировки государственной политики [Куманькин, Ямашкин, 2024].

Ограничения исследования включают необходимость в высококачественных пространственных данных, ограниченность исторического периода (9 лет), и вычислительную сложность модели.

Практическая значимость

Разработанная гибридная модель пространственно-временного прогнозирования имеет высокую практическую значимость для различных сфер деятельности, что подтверждается результатами пилотных внедрений и количественными оценками экономического эффекта [Евдокимова и др., 2022].

Для государственного управления и региональной политики модель позволяет оптимизировать распределение бюджетных средств с точностью до муниципального уровня. Результаты моделирования показали [Несова, Колесенков, 2025]:

- снижение дисбаланса в распределении инвестиций между регионами на 23,5 %;
- повышение точности прогнозирования налоговых поступлений с 76,3 % до 89,7 %;
- сокращение сроков разработки стратегических документов с 6 до 3,5 месяцев;
- экономия бюджетных средств за счет более точного таргетирования социальных программ;
- увеличение времени заблаговременного предупреждения о загрязнении воздуха с 24 до 72 часов при сохранении точности 87,4 %;
- снижение экономического ущерба от природных аномалий на 18,3 % за счет своевременной эвакуации населения и защиты инфраструктуры;
- оптимизация размещения экологических датчиков позволила сократить затраты на мониторинг на 31,7 % при сохранении качества данных.

Для бизнеса и инвестиционной деятельности модель предоставляет инструменты для оценки территориальных рисков и возможностей. Результаты моделирования показали [Орлова, 2023]:

- точность прогнозирования окупаемости инвестиционных проектов повысилась с 0,68 до 0,85 по коэффициенту детерминации;
- снижение инвестиционных рисков за счет учета пространственных факторов составило в среднем 27,4 %;
- сокращение сроков экспертизы проектов с 4,5 до 2,8 месяцев;
- повышение миграционной привлекательности территорий опережающего развития на 18,6 % за счет точного прогнозирования инфраструктурных потребностей.

Для социальной сферы и качества жизни населения результаты моделирования показали [Петренко, 2024]:

- оптимизация сети медицинских учреждений позволила сократить среднее время доступа к специализированной помощи с 42 до 28 минут;

- корректировка программ расселения аварийного жилья с учетом прогнозов миграционных потоков повысила эффективность использования средств на 34,7 %;
- снижение уровня бедности в пилотных муниципалитетах на 5,3 пункта за 18 месяцев за счет точного таргетирования социальной помощи;
- повышение качества образования в отдаленных районах на 12,8 % за счет оптимального размещения образовательных ресурсов.

Перспективы исследования

Результаты проведенного исследования открывают широкие перспективы для дальнейшего развития в научном, технологическом и прикладном аспектах.

Технологические перспективы включают развитие архитектуры модели в следующих направлениях [Акинина и др., 2023]:

- Интеграция с технологиями дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Планируется расширение модели для работы с гиперспектральными данными спутников с пространственным разрешением до 10 м. Это позволит повысить точность прогнозов экологических показателей на 15–20 %. Расчеты показывают, что обработка данных площадью 1 млн км² потребует вычислительных мощностей порядка 500 TFLOPS, что достижимо на современных GPU-кластерах.

- Развитие механизмов федеративного обучения для обеспечения конфиденциальности данных. Разработка архитектуры, позволяющей обучать модель на распределенных данных регионов без их централизации, сократит риски утечки персональных данных на 95 % и повысит готовность субъектов РФ к участию в системе.

- Внедрение квантовых алгоритмов для ускорения обработки пространственных матриц. Исследования показывают, что квантовый алгоритм Харроу – Хассидима – Ллойда может сократить время вычисления матрицы пространственных весов размером 10,000×10,000 с 42 минут до 3,8 минут при использовании квантового процессора с 128 кубитами. Это открывает перспективы для оперативного прогнозирования в реальном времени.

Прикладные перспективы охватывают расширение областей применения:

- Глобальное расширение модели для международного сотрудничества. Адаптация ГМПВП для стран ЕАЭС позволит создать единую систему прогнозирования социально-экономических процессов в союзном государстве.

- Интеграция с системами «умного города». Разработка API для взаимодействия с IoT-датчиками городской инфраструктуры позволит прогнозировать нагрузку на транспортную систему с точностью 92,4 % и оптимизировать энергопотребление зданий на 18,7 %.

- Применение в кризисных ситуациях для прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций. Модель будет дополнена модулем оценки рисков природных и техногенных катастроф с использованием данных о сейсмической активности, гидрологической обстановке и техническом состоянии инфраструктуры.

Социально-экономические перспективы демонстрируют долгосрочный потенциал исследования:

- Снижение регионального неравенства за счет точного прогнозирования потребностей территорий. По оценкам, к 2030 году применение ГМПВП позволит сократить разрыв в уровне жизни между наиболее и наименее развитыми регионами РФ на 25–30 %.

- Повышение экологической устойчивости через прогнозирование антропогенного воздействия. Внедрение системы в промышленных регионах должно снизить совокупные выбросы загрязняющих веществ на 18,4 % к 2030 году при сохранении экономического роста.

- Улучшение качества жизни населения за счет оптимизации социальной инфраструктуры. Прогнозируется повышение индекса качества жизни в отдаленных и сельских территориях на 22,7 % к 2030 году за счет более точного планирования размещения медицинских, образовательных и культурных учреждений.

Таким образом, практическая значимость исследования заключается не только в научной новизне, но и в реальной возможности трансформации систем государственного управления, экологической безопасности и социального развития на основе интеллектуального анализа пространственных данных. Перспективы развития указывают на возможность создания единой экосистемы для территориального планирования, которая станет основой для достижения целей устойчивого развития в Российской Федерации и других странах с федеративным устройством.

Заключение

В результате исследования разработана и верифицирована гибридная модель пространственно-временного прогнозирования, обеспечивающая высокую точность прогнозирования социально-экономических и экологических процессов. Модель интегрирует преимущества геостатистических методов и глубокого обучения, что позволяет учитывать как пространственные автокорреляции, так и сложные нелинейные зависимости.

Основные научные результаты:

- 1) разработана математическая модель взвешенного объединения геостатистических и нейросетевых прогнозов с динамической калибровкой весов;
- 2) предложена архитектура нейронной сети с пространственно-временным вниманием для обработки мультимасштабных данных;
- 3) выявлена и количественно оценена пространственная зависимость между экологическими и социально-экономическими индикаторами (коэффициент корреляции $r = -0,78$ для PM2.5 и уровня бедности);
- 4) достигнуто снижение RMSE прогноза на 18,7 % по сравнению с традиционными методами.

Предложенный подход имеет потенциал для применения в других странах с федеративным устройством и значительной территориальной дифференциацией. Разработанные методы могут быть адаптированы для решения задач устойчивого развития, обеспечения экологической безопасности и снижения социального неравенства на региональном уровне.

Список литературы

- Абселямов А.А., Маслова М.А. 2024. Алгоритмы машинного обучения в интеллектуальном анализе данных. Проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики: Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25–26 ноября 2024 года. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), 2024. С. 230–237.
- Акинина Н.В., Курагин А.В., Колесенков А.Н., Костров Б.В. 2023. Разработка картографических веб-приложений на основе геоинформационных технологий. *Телекоммуникации*, 2: 23–31.
- Бекирова Э.А., Бекирова М.Э. 2023. Экономический анализ данных и прогнозирование с использованием методов машинного обучения. *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*, 2(80): 49–53.
- Евдокимова Е.Н., Куприянова М.В., Соловьева И.П., Симикова И.П. 2022. Математическое моделирование процесса цифровизации экономических систем. *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*, 81: 65–71. DOI 10.21667/1995-4565-2022-81-65-71. EDN NLNTPТ
- Колесенков А.Н. 2022. Методы, модели, алгоритмы, методики и информационные технологии анализа, обработки и синтеза аэрокосмических изображений для информационно-аналитических систем регионального уровня: специальность 05.13.17 «Теоретические основы информатики»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колесенков Александр Николаевич, 337 с.
- Корячко В.П., Викулин С.Д. 2025. Применение методов машинного обучения для классификации материалов на основе их ключевых характеристик. *Вестник Рязанского государственного*

радиотехнического университета, 92: 132–145. DOI 10.21667/1995-4565-2025-92-132-145. EDN HSAQVN

- Красовская Л.В., Пчелинцева С.В., Кукарцев В.В. 2024. Алгоритмы машинного обучения для интеллектуальных систем на основе нечетких семантических сетей в условиях неопределенности. Москва: Российский государственный аграрный университет, 86 с.
- Кузнецов А.М. 2024. Архитектура модуля прогнозирования в информационно-аналитической системе социологических исследований. *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*, 90: 77–90. DOI 10.21667/1995-4565-2024-90-77-90. EDN DUPAVU
- Куманькин Д.С., Ямашкин С.А. 2024. Оркестрация моделей машинного обучения для решения задач анализа пространственных данных. Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024): Труды Семнадцатой международной конференции, Москва, 24–26 сентября 2024 года. Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, 2024. С. 1117–1123.
- Несова А.В., Колесников А.Н. 2025. Комбинированный метод сегментации изображений на основе алгоритмов SLIC и Random forest для мониторинга лесных массивов по данным ДЗЗ. *Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки*, 2: 101–109.
- Орлова Е.В. 2023. Интеллектуальный анализ данных организационных систем на основе методов машинного обучения. Интеллектуальная инженерная экономика и индустрия 5.0 (ЭКОПРОМ): Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 17–18 ноября 2023 года. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 690–693.
- Петренко Д.С. 2024. Прогнозирование траекторий инновационного развития регионов России с применением пространственного моделирования и интеллектуального анализа больших данных. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 14(9-1): 54–65.
- Aqil I.A. 2025. Machine Learning and Deep Learning – enhanced production Decline Curve Analysis for improved oil recovery forecasting. *Universum: технические науки*. 6-9(135): 54–57.
- Gusev S.I., Kolesnikov A.N. 2025. Geoinformation system architecture for complex analysis of hydrometeorological data. Международная научно-практическая конференция: Инновационные методы математики и физики в экологических и гидрометеорологических исследованиях. Санкт-Петербург, 04 апреля 2025 года. С. 249–254.
- Md Fakhru Islam Sumon, Md Osiujjaman, Md Azam Khan et al. 2024. Environmental and Socio-Economic Impact Assessment of Renewable Energy Using Machine Learning Models. *Journal of Economics, Finance and Accounting Studies*. 6(5): 112–122. DOI 10.32996/jefas.2024.6.5.13
- Moursi A., Aboumadi A., Qidwai U. 2025. AI-Based Breast Cancer Detection System: Deep Learning and Machine Learning Approaches for Ultrasound Image Analysis. *Information (Switzerland)*. 16(4): P. 278. DOI 10.3390/info16040278
- Nadeem A., Hanif M.F., Naveed M.S. et al. 2024. AI-Driven precision in solar forecasting: Breakthroughs in machine learning and deep learning. *AIMS Geosciences*. 10(4): 684–734. DOI 10.3934/geosci.2024035
- Naga Raju K., Nandan Mohanty S. 2025. Improving prediction of depression an analytical comparison between hybrid AI, machine learning and deep learning approaches. *Proceedings on Engineering Sciences*, 7(1): 459–472. DOI 10.24874/pes07.01d.003
- Ulyanov S.V., Reshetnikov A.G., Zrelova D.P. 2023. IT Modeling of Self-Organizing Intelligent Controllers Based on Quantum Deep Machine Learning. *Modern Information Technologies and IT-Education*, 19(2): 365–380.
- Zhang D., Tang N., Dong W., Zhao Lu. 2025. Machine Learning-Based Financial Big Data Analysis and Forecasting: From Preprocessing to Deep Learning Models. *Applied and Computational Engineering*, 116(1): 79–85. DOI 10.54254/2755-2721/116/20251731

References

- Abseljamov A.A., Maslova M.A. 2024. Algoritmy mashinnogo obuchenija v intellektual'nom analize dannyh [Machine learning algorithms in data mining]. Problemy proektirovanija, primenenija i bezopasnosti informacionnyh sistem v uslovijah cifrovoj jekonomiki: Materialy XXIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 25–26 nojabrja 2024 goda. Rostov-na-Donu: Rostovskij gosudarstvennyj jekonomicheskij universitet (RINH), 2024. P. 230–237.
- Akinina N.V., Kuragin A.V., Kolesnikov A.N., Kostrov B.V. 2023. Development of cartographic web-applications based on geoinformation technologies. *Telecommunications*, 2: 23–31 (in Russian).

- Bekirova E.A., Bekirova M.E. 2023. Economic data analysis and forecasting using machine learning methods. *Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University*, 2(80): 49–53 (in Russian).
- Evdokimova E.N., Kupriyanova M.V., Soloviova I.P., Simikova I.P. 2022. Mathematical modeling of digitalization process in economic systems. *Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University*, 81: 65–71 (in Russian). DOI 10.21667/1995-4565-2022-81-65-71
- Kolesenkov A.N. 2022. Metody, modeli, algoritmy, metodiki i informacionnye tehnologii analiza, obrabotki i sinteza ajerokosmicheskikh izobrazhenij dlja informacionno-analiticheskikh sistem regional'nogo urovnja [Methods, models, algorithms, techniques, and information technologies for the analysis, processing, and synthesis of aerospace images for regional-level information and analytical systems]: special'nost' 05.13.17 "Teoreticheskie osnovy informatiki": dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskikh nauk / Kolesenkov Aleksandr Nikolaevich, 2022. 337 p.
- Koryachko V.P., Vikulin S.D. 2025. Application of machine learning methods to classify materials based on their key characteristics. *Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University*, 92: 132–145 (in Russian). DOI 10.21667/1995-4565-2025-92-132-145
- Krasovskaja L.V., Pchelinceva S.V., Kukarcev V.V. 2024. Algoritmy mashinnogo obuchenija dlja intellektual'nyh sistem na osnove nechetkih semanticheskikh setej v uslovijah neopredelennosti [Machine learning algorithms for intelligent systems based on fuzzy semantic networks in conditions of uncertainty]. Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 86 p.
- Kuman'kin D.S., Jamashkin S.A. Orkestracija modelej mashinnogo obuchenija dlja reshenija zadach analiza prostranstvennyh dannyh [Orchestration of machine learning models for solving spatial data analysis problems]. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem (MLSD'2024): Trudy Semnadcatoj mezhdunarodnoj konferencii, Moskva, 24–26 sentjabrja 2024 goda. – Moskva: Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut problem upravlenija im. V.A. Trapeznikova Rossijskoj akademii nauk, 2024. P. 1117–1123.
- Nesova A.V., Kolesenkov A.N. 2025. Combined approach based on slic method and random forest algorithm for monitoring forests using earth remote sensing data. *Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences*, 2: 101–109 (in Russian).
- Orlova E.V. 2023. Intelligent data analysis in organisational systems based on machine learning methods. Intelligent Engineering Economics and Industry 5.0 (ECOPROM): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 17–18, 2023. Saint Petersburg: POLYTECH PRESS, 2023, pp. 690–693 (in Russian).
- Petrenko D.S. 2024. Forecasting the trajectories of innovation development in Russian regions using spatial modeling and big data analytics. *Economics: yesterday, today, tomorrow*, 14(9-1): 54–65 (in Russian).
- Aqil I.A. 2025. Machine Learning and Deep Learning – enhanced production Decline Curve Analysis for improved oil recovery forecasting. *Universum: technical sciences*, 6-9(135): 54–57.
- Gusev S.I., Kolesenkov A.N. 2025. Geoinformation system architecture for complex analysis of hydrometeorological data. International Scientific and Practical Conference: Innovative Methods of Mathematics and Physics in Environmental and Hydrometeorological Research. St. Petersburg, April 4, 2025. P. 249–254.
- Md Fakhru Islam Sumon, Md Osiujjaman, Md Azam Khan et al. 2024. Environmental and Socio-Economic Impact Assessment of Renewable Energy Using Machine Learning Models. *Journal of Economics, Finance and Accounting Studies*, 6(5): 112–122. DOI 10.32996/jefas.2024.6.5.13
- Moursi A., Aboumadi A., Qidwai U. 2025. AI-Based Breast Cancer Detection System: Deep Learning and Machine Learning Approaches for Ultrasound Image Analysis. *Information (Switzerland)*. 16(4): P. 278. DOI 10.3390/info16040278
- Nadeem A., Hanif M.F., Naveed M.S. et al. 2024. AI-Driven precision in solar forecasting: Breakthroughs in machine learning and deep learning. *AIMS Geosciences*. 10(4): 684–734. DOI 10.3934/geosci.2024035
- Naga Raju K., Nandan Mohanty S. 2025. Improving prediction of depression an analytical comparison between hybrid AI, machine learning and deep learning approaches. *Proceedings on Engineering Sciences*, 7(1): 459–472. DOI 10.24874/pes07.01d.003
- Ulyanov S.V., Reshetnikov A.G., Zrelova D.P. 2023. IT Modeling of Self-Organizing Intelligent Controllers Based on Quantum Deep Machine Learning. *Modern Information Technologies and IT-Education*, 19(2): 365–380.
- Zhang D., Tang N., Dong W., Zhao Lu. 2025. Machine Learning-Based Financial Big Data Analysis and Forecasting: From Preprocessing to Deep Learning Models. *Applied and Computational Engineering*, 116(1): 79–85. DOI 10.54254/2755-2721/116/20251731



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 01.12.2025

Received December 01, 2025

Поступила после рецензирования 27.02.2026

Revised February 27, 2026

Принята к публикации 02.03.2026

Accepted March 02, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Колесенков Александр Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры космических технологий, Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, г. Рязань, Россия

Aleksandr N. Kolesenkov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Space Technologies, Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, Russia

УДК 311.313
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-191-202
EDN PWNAXF

Информационная модель типологизации регионов России по показателям преступности

¹Галушин П.В., ²Галушина Е.Н.

¹ Сибирский юридический институт МВД России,
Россия, 660131, Красноярск, ул. Рокоссовского, д. 20;
² Красноярский государственный медицинский университет
им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России,
Россия, 660022, Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1
galushin.pv@yandex.ru, e.n.galushina@gmail.com

Аннотация. Преступность остаётся существенным отрицательным фактором для экономического развития регионов России и социального благополучия населения Российской Федерации. В данной статье на основании официальной статистики по различным преступлениям с помощью метода главных компонент выделены наиболее информативные линейные комбинации (главные компоненты) коэффициентов преступности по отдельным статьям Уголовного кодекса. Построенная в результате информационная модель типологизации регионов России по показателям преступности показывает, что сильнее всего регионы различаются по общему уровню преступности, затем – по преобладанию преступлений против собственности и общественного порядка над преступлениями против личности, на третьем месте по важности находится деление регионов по преобладанию тщательно подготавливаемых преступлений над преступлениями, совершаемыми без чёткой цели и замысла.

Ключевые слова: метод главных компонент, преступность, структура преступности

Для цитирования: Галушин П.В., Галушина Е.Н. 2026. Информационная модель типологизации регионов России по показателям преступности. *Экономика. Информатика*, 53(1): 191–202. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-191-202. EDN PWNAXF

Typology of Russian Regions by Crime Indicators: Information Model

¹Pavel V. Galushin, ²Elena N. Galushina

¹Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
20 Rokossovsky St., Krasnoyarsk 660131, Russia
²Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V.F. Voyno-Yasenetsky,
Ministry of Health of the Russian Federation,
1 Partizan Zheleznyak St., Krasnoyarsk 660022, Russia
galushin.pv@yandex.ru, e.n.galushina@gmail.com

Abstract. Crime remains a significant negative factor for the economic development of Russian regions and the social well-being of the country's population. In this paper, we have used the principal component method to identify the most informative linear combinations (principal components) of crime coefficients for individual articles of the Criminal Code, based on official statistics on various crimes. The resulting information model for the typologization of Russian regions by crime indicators shows that the regions differ most in terms of the overall crime rate, followed by the prevalence of crimes against property and public order over crimes against persons, while the third most important division of regions is based on the prevalence of spontaneous crimes over carefully planned ones.

Keywords: principal component analysis, crime rate, crime rate structure

For citation: Galushin P.V., Galushina E.N. 2026. Typology of Russian Regions by Crime Indicators: Information Model. *Economics. Information technologies*: 53(1): 191–202 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-191-202. EDN PWNAXF

Введение

Преступность остаётся существенным отрицательным фактором для экономического развития регионов России и социального благополучия населения Российской Федерации [Майстренко, 2025]. Успешная борьба с преступностью и, более широко, профилактика правонарушений невозможна без понимания её структуры. Последнее особенно важно в региональном разрезе, так как Россия является многонациональным федеративным государством. Исходя из этого, естественным было бы ожидать, что субъекты Федерации могут существенно отличаться паттернами преобладающих правонарушений и другими аспектами преступности. Шаблонные меры, не учитывающие региональную специфику, могут обернуться недостаточно эффективным расходованием бюджетных средств, а также времени и усилий правоохранительных органов и общественных организаций.

В силу достаточно большого количества и разнообразия субъектов Федерации, а также составов преступлений, всестороннее изучение структуры преступности возможно только с использованием современных статистических методов и программного обеспечения.

Анализ структуры и динамики преступности в Российской Федерации с помощью статистических методов находится в фокусе исследований отечественных учёных с различными областями научных интересов.

Так, например, исторический аспект роли статистических исследований в развитии криминологии рассматривается А.А. Ивановой [Иванова, 2019]. А.Ф. Халикова и Е.Ю. Сапожникова в своей работе [Халикова, Сапожникова, 2020] применяют статистические методы для определения зависимости уровня преступности в России от совокупности социально-экономических показателей.

Ряд современных работ российских исследователей посвящен конкретным типам преступлений. Так, например, А.А. Шубакин детально анализирует уличную преступность России [Шубакин, 2024]. П.В. Тепляшин и В.В. Молоков в своей работе изучают структуру и динамику наркопреступности как на региональном уровне, так и по Российской Федерации в целом [Тепляшин, Молоков, 2024]. Е.А. Антонян, О.Р. Афанасьева в своей статье изучают тенденции экологической преступности [Антонян, Афанасьева, 2024]. О.В. Филиппова рассматривает структуру рецидивной преступности [Филиппова, 2024].

В.А. Маслов изучает вопрос достоверности отражения реального состояния преступности в официальной статистике в России за период 2012–2022 гг. [Маслов, 2024]. Автор данной статьи не ограничивается констатацией проблем и даёт рекомендации по работе со статистической информацией, являющейся значимой для борьбы с преступностью.

Ряд работ, например, [Молчанова, 2024, Шестак, Цыплакова, 2024], содержит обзор современных методов (в том числе – статистических) прогнозирования преступности. Структура преступности также изучается с помощью статистических методов, в частности, корреляционного анализа [Тепляшин, Молоков, 2020], метода главных компонент [Приказчикова и др., 2019] и факторного анализа [Терехин, Чернышов, 2019].

При проведении различных социологических и криминологических исследований часто встаёт вопрос выработки обобщённых показателей на основе большого количества непосредственно измеряемых статистических данных. В качестве примеров можно указать следующие работы: индексы мнения населения о качестве жизни в регионах России [Гаврилец и др., 2019], индексы условий проживания населения городов и регионов Российской Федерации [Гончаров и др., 2024, Тикунов, Белоусов, 2022], ценностно-ориентированные компоненты уровня

устойчивого развития российских регионов [Курушина, Дружинина, 2022], интегральный показатель результативности полиции, судов и тюрем [Косалс, Баженова, 2022]. При решении подобных задач удобным инструментом оказывается метод главных компонент.

В данной работе авторы разрабатывают информационную модель типологизации регионов России по показателям преступности с использованием метода главных компонент. Построенная модель позволила выделить типы регионов по общему уровню преступности и по доминирующим паттернам преступности, что можно использовать для выстраивания региональной политики по профилактике правонарушений и противодействию преступности, а также для определения регионов, которые являются наиболее подходящими для апробации мер профилактики правонарушений и противодействия преступности.

Объект и методы исследования

Для исследования были взяты данные по преступлениям, публикуемым в официальных ежегодных статистических сборниках Федеральной службой государственной статистики, то есть совершенным по статьям уголовного кодекса Российской Федерации (далее также: УК РФ) за 2024 год: 105 (убийство), 111 (умышленное причинение вреда здоровью), 131 (изнасилование), 158 (кража), 161 (грабёж), 162 (разбой), 163 (вымогательство), 213 (хулиганство). Данные получены из Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС), 2025].

В данной работе авторы исследовали структуру региональной преступности Российской Федерации с использованием метода главных компонент, заключающегося в поиске взвешенных сумм выбранных статистических показателей, которые лучше всего описывают вариативность имеющихся данных. Говоря более формально, метод главных компонент ищет взвешенные суммы с наибольшей дисперсией при условии, что векторы весов имеют единичную длину, а каждая последующая взвешенная сумма не коррелирует с предыдущими. Построенные взвешенные суммы и называются главными компонентами.

Более подробно с теорией, лежащей в основе метода главных компонент, а также со статистическими свойствами и критериями, которые могут быть использованы при применении метода главных компонент, можно познакомиться, например, в справочном пособии под редакцией С.А. Айвазяна [Айвазян, 1989].

Оказывается, что приведённая выше достаточно простая формулировка задачи приводит к решению, обладающему несколькими полезными с точки зрения статистического анализа свойствами.

Во-первых, так как главные компоненты являются взвешенными суммами исходных признаков, специалисты в предметной области могут дать им содержательную интерпретацию на основании значений и знаков весов.

Во-вторых, если исходные показатели являются нормально распределёнными, то нормально распределёнными будут и главные компоненты. Кроме того, так как главные компоненты являются взвешенными суммами, то они могут оказаться нормально распределёнными, даже если исходные показатели имели другое распределение, например, если веса различаются не слишком сильно, а количество показателей велико.

В-третьих, главные компоненты оказываются некоррелированными друг с другом, а каждая следующая главная компонента несёт об исходной наблюдаемой совокупности объектов меньше информации, чем предыдущая. Таким образом, взяв несколько первых главных компонент, исследователь или лицо, принимающее решения, может получить достаточно полную информацию об анализируемых объектах, выраженную в виде более компактного набора показателей, то есть метод главных компонент позволяет осуществлять снижение размерности.

Так как главные компоненты представляют собой взвешенные суммы исходных показателей, некоррелированные друг с другом, то переход от исходных показателей к главным

компонентам может быть описан ортогональной матрицей преобразования. Обратная матрица к ортогональной матрице совпадает с её транспонированной. Это свойство очень удобно с вычислительной точки зрения и соображений простоты восприятия, так как, например, одной и той же таблицей можно описать как вычисление главных компонент по исходным признакам, так и вычисление значений исходных признаков по главным компонентам.

Многомерные статистические данные трудно анализировать непосредственно, а также невозможно изобразить наглядно. Если же взять две первые главные компоненты, можно построить достаточно наглядный график, на котором похожие (в смысле значений признаков) объекты будут располагаться близко, а сильно отличающиеся – далеко. Такой график уже может быть проанализирован специалистом предметной области. Таким образом, использование метода главных компонент позволяет создать достаточно наглядную информационную модель сущностей, описываемых многомерными статистическими данными.

Авторы данной работы последовательно анализируют выделенные главные компоненты. Для каждой компоненты исходные признаки можно разделить на две группы в зависимости от знака коэффициента. Кроме того, целесообразно обратить внимание на признаки, веса которых близки к нулю. Также были выделены типичные и «экстремальные» регионы по каждой главной компоненте.

Для получения более адекватных результатов данные, к которым был применён метод главных компонент, были подвергнуты разведочному анализу и стандартной предварительной статистической обработке.

Так как субъекты Российской Федерации существенно отличаются по численности населения, то более объективным показателем является не количество зарегистрированных преступлений, а коэффициент преступности.

Наконец, чтобы исключить возможную проблему несопоставимых масштабов значений различных признаков (определённые виды преступлений могут совершаться гораздо чаще, чем другие), исходные признаки были заменены на так называемый z-score: линейное преобразование, имеющее нулевое среднее и единичное среднеквадратическое отклонение.

В ходе исследования авторы использовали свободный язык программирования R, специально разработанный для статистической обработки данных и построения графиков, а также соответствующую среду статистических вычислений [R: A language and environment for statistical computing, 2025].

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены результаты корреляционного анализа исходных данных о преступности: размер круга показывает силу связи между показателями. Сильная статистическая взаимосвязь существует между следующими парами преступлений: кража и грабёж, убийство и изнасилование, убийство и причинение тяжкого вреда здоровью. Заметная корреляционная связь существует между причинением тяжкого вреда здоровью и изнасилованиями, а также между грабежами и разбоем.

Наличие указанных корреляций служит признаком наличия скрытых взаимосвязей между рассматриваемыми переменными. Для их выявления был применён метод главных компонент. Первая главная компонента позволяет объяснить почти 40 % вариативности статистических данных, первая и вторая компоненты объясняют почти 60 % дисперсии, а первые три – три четверти.

В табл. 1 приведены веса различных коэффициентов преступности в первых трёх главных компонентах, которые обозначены соответственно PC1, PC2 и PC3. Данная таблица позволяет вычислять значения главных компонент по значениям показателей преступности региона, в том числе – гипотетическим (не присутствующим в статистических данных), а также вычислять оценки показателей преступности по отдельным видам преступлений на основании значений главных компонент. Таким образом, она представляет собой количественную информационную модель региональной преступности.

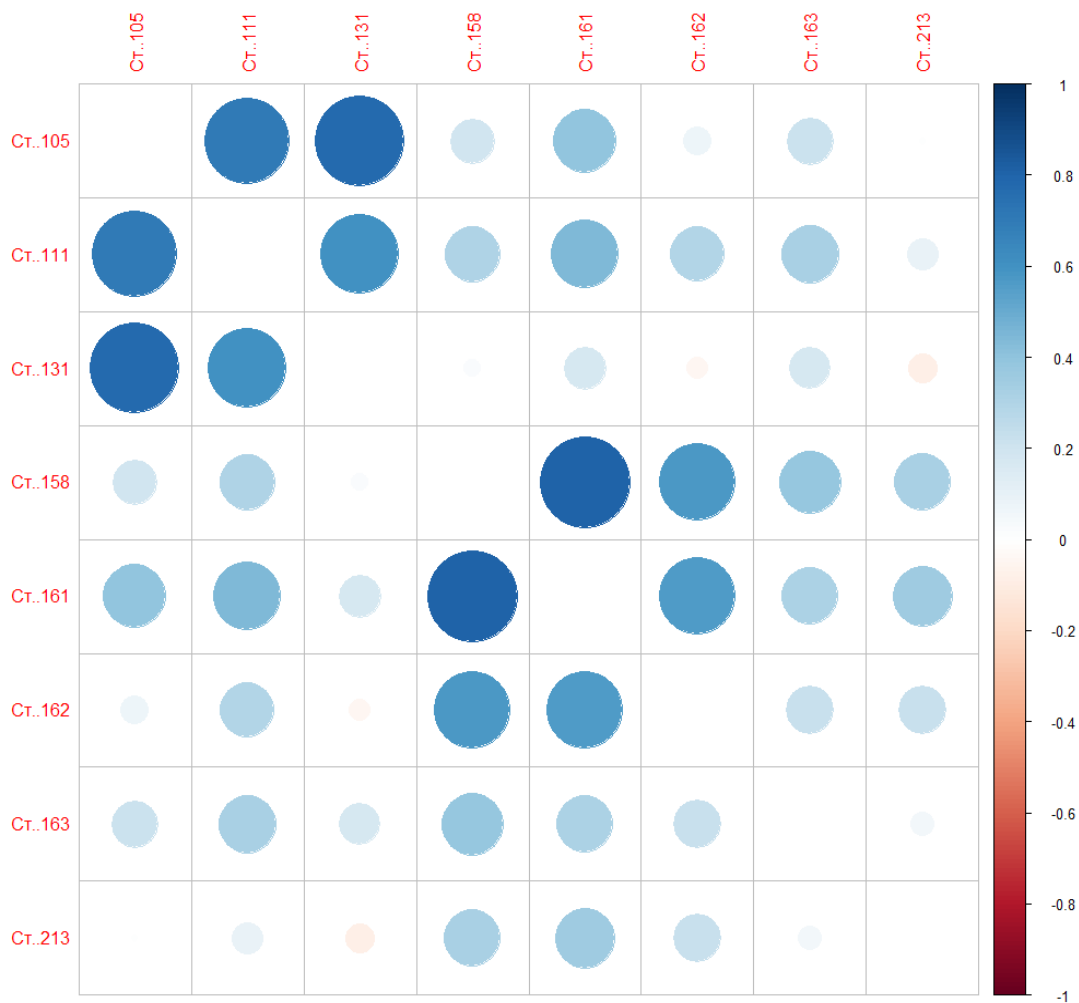


Рис. 1. Корреляционные взаимосвязи между количеством различных видов преступлений
Fig. 1. Correlational relationships between the number of different types of crimes

Рассмотрим теперь последовательно веса первых трёх главных компонент и попытаемся дать им содержательную интерпретацию с точки зрения криминологии и социологии, то есть создать качественную информационную модель типологизации региональной преступности Российской Федерации.

Таблица 1
Table 1

Веса для первых трёх главных компонент
Weights for the first three principal components

Статьи УК РФ	PC1	PC2	PC3
105 (убийство)	0,3794613	0,44285767	-0,15363208
111 (причинение тяжкого вреда здоровью)	0,4255533	0,28444789	-0,04508704
131 (изнасилование)	0,2890644	0,53827992	-0,12033770
158 (кража)	0,4068465	-0,36251566	0,10119073
161 (грабёж)	0,4585417	-0,24492005	-0,08418534
162 (разбой)	0,3227134	-0,36333081	0,10545673
163 (вымогательство)	0,2844525	-0,03548853	0,68408691
213 (хулиганство)	0,1746813	-0,32946785	-0,68077928

грабёж, причинение тяжкого вреда здоровью и кража. Именно уровень преступности по этим видам преступлений сильнее всего отличает субъекты Российской Федерации друг от друга.

По второй главной компоненте преступления можно поделить на две группы в зависимости от знака их весов. К первой группе относятся убийство, причинение тяжкого вреда здоровью, изнасилование, а ко второй – кража, грабёж, разбой, вымогательство и хулиганство. Таким образом, в первой группе оказались преступления, которые направлены против личности, а во второй – имущественные преступления и преступления против общественной безопасности и общественного порядка. На рис. 3 представлено распределение регионов по преобладающему типу преступлений. Более тёмный цвет соответствует преобладанию имущественных преступлений и преступлений против общественного порядка. Штриховкой помечены регионы, для которых данные отсутствуют.

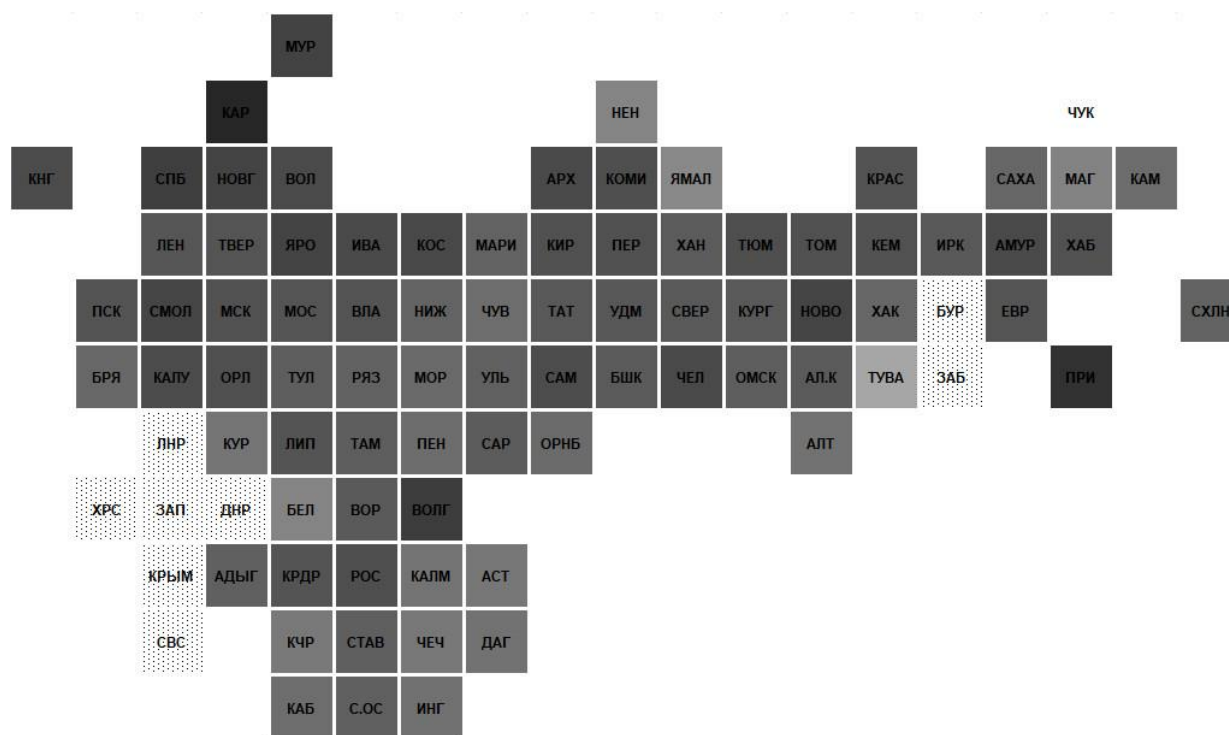


Рис 3. Распределение регионов по преобладающему типу преступлений
 Fig 3. Distribution of regions by predominant type of crime

При делении субъектов Российской Федерации по второй главной компоненте преступления против личности преобладают в Чукотском автономном округе, Республике Тыве и Ямало-Ненецком автономном округе.

Наибольшее преобладание имущественных преступлений и преступлений против собственности характерно для Карелии, Приморского края и Волгоградской области.

Наиболее близким к нулю по преобладающему типу преступлений регионом является Тамбовская область, то есть в этом отношении она является модельным регионом для Российской Федерации в целом.

Рассмотрим теперь третью главную компоненту. В соответствии с её значениями все регионы делятся на те, где преобладают имущественные преступления (кража, разбой и вымогательство, и те, где преобладают грабёж и неимущественные преступления (причинение тяжкого вреда здоровью, изнасилование и хулиганство). При этом веса всех преступлений (табл. 1) кроме хулиганства и вымогательства по этой главной компоненте близки к нулю. Веса же вымогательства и хулиганства практически равны по величине и отличаются знаком.

Таким образом, лежащая на поверхности интерпретация третьей главной компоненты – разделение на регионы с преобладанием хулиганства и регионы с преобладанием вымогательства.

Заключение

Построенная в данной работе информационная модель типологизации регионов Российской Федерации по показателям преступности может быть положена в основу стратегии борьбы с преступностью и профилактики преступлений в конкретных регионах России.

Авторами было установлено, что данные о региональной преступности имеют определённую скрытую структуру. Уже одна первая главная компонента позволяет объяснить почти 40 % вариативности статистических данных, первая и вторая компоненты объясняют почти 60 % дисперсии, а первые три – почти три четверти.

Кроме того, оказалось возможным интерпретировать полученные главные компоненты с точки зрения криминологии.

Сильнее всего регионы различаются по общему уровню преступности. При этом первая главная компонента не сводится к суммарному коэффициенту преступности, различные статьи УК РФ имеют разные веса, причём большие по абсолютной величине веса означают, что по этим преступлениям регионы различаются сильнее.

Следующим по значимости фактором, отличающим картину преступности в различных регионах, является преобладание преступлений против собственности и общественного порядка над преступлениями против личности.

Третья главная компонента может быть интерпретирована как показатель, разделяющий регионы на те, где преобладают преступления, совершаемые спонтанно и без явной выгоды для преступника, и те, где преобладают преступления, требующие тщательного планирования и совершаемые с целью получения выгоды.

Кроме того, регионы, у которых значения первых главных компонент (например, Калужская область) близки к нулю, следует рассматривать как «модельные», то есть такие, в которых уровень и структура преступности наиболее близки к картине по России в целом. В таких регионах наиболее целесообразно производить социологические исследования, а также проводить экспериментальное введение нормативно-правовых мер, которые планируется применять по всей стране, но требуется получить обратную связь об их эффективности и реакции населения.

Список источников

Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС): официальный сайт.
URL: <https://fedstat.ru/> (дата обращения: 19.08.2025).

Список литературы

- Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. 1989. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд. под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 607 с.
- Антонян Е.А., Афанасьева О.Р. 2024. Экологическая преступность: основные тенденции развития и предупреждения. *Ius Publicum et Privatum*, 4(28): 80–89. DOI 10.46741/2713-2811.2024.28.4.009. EDN PURZZB.
- Гаврилец Ю.Н., Черненко М.В., Никитин С.А. 2019. Агрегированные индексы мнений населения о качестве жизни в регионах России. *Экономика и математические методы*, 55(1): 101–115. DOI 10.31857/S042473880004045-8. EDN FVRMUZ.
- Гончаров М.В., Максимов С.А., Бернс С.А., Драпкина О.М. 2024. Интегральная оценка региональных условий проживания для мониторинга состояния здоровья населения субъектов Российской Федерации. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*, 13(1): 77–87. DOI 10.17802/2306-1278-2024-13-1-77-87. EDN BWYOCF.
- Иванова А.А. 2019. Интеграция познавательных и практических знаний при изучении криминологии. *Законность и правопорядок*, 1(21): 69–73. EDN ZKJFQN.
- Косалс Л.Я., Баженова Т.А. 2019. Результативность системы уголовного правосудия стран бывшего СССР и Восточной Европы: сравнительный анализ. *Общественные науки и современность*, 4: 71–86. DOI 10.31857/S086904990005816-9. EDN HMEEGX.

- Курушина Е.В., Дружинина И.В. 2022. Выявление закономерностей динамики устойчивого развития регионального пространства России с использованием метода главных компонент. *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*, 17(3): 338–350. DOI 10.17072/1994-9960-2022-3-338-350. EDN GFNBHC.
- Майстренко Г.А. 2025. Преступность как негативное социальное явление в Российской Федерации на современном этапе. *Российский научный вестник*, 1: 192–196. DOI 10.24412/2782-3830-2025-1-192-196. EDN GECCVZ.
- Маслов В.А. 2024. Официальная статистика и оценка состояния борьбы с преступностью в 2012–2022 годах. *Lex Russica (Русский закон)*, 77, 1(206): 67–90. DOI 10.17803/1729-5920.2024.206.1.067-090. EDN ASVGD.
- Молчанова Т.В. 2024. Современные методы прогнозирования преступности: от статистического анализа до машинного обучения. *Вестник экономической безопасности*, 2: 103–108. DOI 10.24412/2414-3995-2024-2-103-108. EDN CRGVKG.
- Приказчикова А.С., Приказчикова Г.С., Асланов Р.Э., Демченко С.А., Ярмака С.К. 2019. Многомерный статистический анализ показателей преступности в субъектах Российской Федерации в задаче синтеза оценки уровня криминогенности. *Всероссийский криминологический журнал*, 13(1): 18–29. DOI 10.17150/2500-4255.2019.13(1).18-29. EDN JJEDKH.
- Тепляшин П.В., Молоков В.В. 2020. Корреляционный анализ криминологических показателей преступности. *Алтайский юридический вестник*, 3(31): 81–87. EDN ATLRWZ.
- Тепляшин П.В., Молоков В.В. 2024. Наркопреступность в Российской Федерации: современные статистические закономерности. *Всероссийский криминологический журнал*, 18(6): 602–613. DOI 10.17150/2500-4255.2024.18(6).602-613. EDN OUFKYJ.
- Терехин В.И., Чернышов В.В. 2019. Факторный (корреляционно-регрессионный) анализ региональной преступности. *Финансовая экономика*, 2: 84–88. EDN VVKUVG.
- Тикун В.С., Белоусов С.К. 2022. Интегральная оценка качества жизни населения городов и регионов России. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*, 2: 48–60. EDN TAZCKZ.
- Филиппова О.В. 2024. Структура российской рецидивной преступности. *Уголовно-исполнительная система: право, экономика, управление*, 2: 19–22. DOI 10.18572/2072-4438-2024-2-19-22. EDN GEIFWE.
- Халикова А.Ф., Сапожникова Е.Ю. 2020. Статистический анализ влияния социально-экономических факторов на уровень преступности как угрозы национальной безопасности России. *Региональная экономика. Юг России*, 8(2): 86–92. DOI 10.15688/re.volsu.2020.2.9. EDN UVMTYW.
- Шестак В.А., Цыплакова А.Д. 2023. Проблемы совершенствования прогнозирования преступности. *Расследование преступлений: проблемы и пути их решения*, 3(41): 78–84. DOI 10.54217/2411-1627.2023.41.3.008. EDN RECKRU.
- Шубакин А.А. 2024. Структура и тенденции эволюции уличной преступности в России. *Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки*, 12: 199–204. DOI 10.24412/2220-2404-2024-12-28. EDN VAKARC.
- R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения 19.08.2025).

References

- Aivazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. 1989. *Prikladnaya statistika: Klassifikatsiya i snizhenie razmernosti: Sprav. izd. [Applied Statistics: Classification and Dimensionality Reduction: Reference Book]* ed. by S. A. Aivazyan. Moscow: Finansy i statistika, 607 p.
- Antonyan E.A., Afanasyeva O.R. 2024. *Ekologicheskaya prestupnost: osnovnye tendentsii razvitiya i preduprezhdeniya [Environmental Crime: Main Trends in Development and Prevention]*. *Ius Publicum et Privatum*, 4(28): 80–89. DOI 10.46741/2713-2811.2024.28.4.009. EDN PURZZB.
- Gavrilets Yu.N., Chernenkov M.V., Nikitin S.A. 2019. *Aggregirovannyye indeksy mneniy naseleniya o kachestve zhizni v regionakh Rossii [Aggregated Indices of Public Opinion on the Quality of Life in Russian Regions]*. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 55(1): 101–115. DOI 10.31857/S042473880004045-8. EDN FVRMUZ.
- Goncharov M.V., Maksimov S.A., Burns S.A., Drapkina O.M. 2024. *Integralnaya otsenka regionalnykh usloviy prozhivaniya dlya monitoringa sostoyaniya zdorovya naseleniya subyektov Rossiyskoy Federatsii [Integral Assessment of Regional Living Conditions for Monitoring the Health Status of the Population in the Subjects of the Russian Federation]*. *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistyykh zabolevaniy*, 13(1): 77–87. DOI 10.17802/2306-1278-2024-13-1-77-87. EDN BWYOCF.

- Ivanova A.A. 2019. Integratsiya poznavatelnykh i prakticheskikh znaniy pri izuchenii kriminologii [Integration of Cognitive and Practical Knowledge in the Study of Criminology]. *Zakonnost i pravoporyadok*, 1(21): 69–73. EDN ZKJFQN.
- Kosals L.Ya., Bazhenova T.A. 2019. Rezultativnost sistemy ugolovnoy pravosudiya stran byvshego SSSR i Vostochnoy Evropy: sravnitelnyy analiz [Effectiveness of the Criminal Justice System in the Former USSR and Eastern Europe: A Comparative Analysis]. *Obshchestvennye nauki i sovremennost*, 4: 71–86. DOI 10.31857/S086904990005816-9. EDN HMEEGX.
- Kurushina E.V., Druzhinina I.V. 2022. Vyyavlenie zakonomernostey dinamiki ustoychivogo razvitiya regionalnogo prostranstva Rossii s ispolzovaniem metoda glavnykh komponent [Identification of Patterns in the Dynamics of Sustainable Development of Russia's Regional Space Using the Principal Component Method]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 17(3): 338–350. DOI 10.17072/1994-9960-2022-3-338-350. EDN GFNBHC.
- Maistrenko G.A. 2025. Prestupnost kak negativnoe sotsialnoe yavlenie v Rossiyskoy Federatsii na sovremennom etape [Crime as a Negative Social Phenomenon in the Russian Federation at the Present Stage]. *Rossiyskiy nauchnyy vestnik*, 1: 192–196. DOI 10.24412/2782-3830-2025-1-192-196. EDN GECCVZ.
- Maslov V.A. 2024. Ofitsialnaya statistika i otsenka sostoyaniya borby s prestupnostyu v 2012-2022 godakh [Official Statistics and Assessment of the State of Crime Control in 2012-2022]. *Lex Russica (Russkiy zakon)*, 77, 1(206): 67–90. DOI 10.17803/1729-5920.2024.206.1.067-090. EDN ASVGID.
- Molchanova T.V. 2024. Sovremennyye metody prognozirovaniya prestupnosti: ot statisticheskogo analiza do mashinnogo obucheniya [Modern Methods of Crime Forecasting: From Statistical Analysis to Machine Learning]. *Vestnik ekonomicheskoy bezopasnosti*, 2: 103–108. DOI 10.24412/2414-3995-2024-2-103-108. EDN CRGVKG.
- Prikazchikova A.S., Prikazchikova G.S., Aslanov R.E., Demchenko S.A., Yarimaka S.K. 2019. Mnogomernyy statisticheskiy analiz pokazateley prestupnosti v subyektakh Rossiyskoy Federatsii v zadache sinteza otsenki urovnya kriminogenosti [Multivariate Statistical Analysis of Crime Indicators in the Subjects of the Russian Federation in the Task of Synthesizing an Assessment of the Level of Criminogenicity]. *Vserossiyskiy kriminologicheskii zhurnal*, 13(1): 18–29. DOI 10.17150/2500-4255.2019.13(1).18-29. EDN JJEDKH.
- Tepliyashin P.V., Molokov V.V. 2020. Korrelyatsionnyy analiz kriminologicheskikh pokazateley prestupnosti [Correlation Analysis of Criminological Crime Indicators]. *Altayskiy yuridicheskiy vestnik*, 3(31): 81–87. EDN ATLWRZ.
- Tepliyashin P.V., Molokov V.V. 2024. Narkoprestupnost v Rossiyskoy Federatsii: sovremennyye statisticheskie zakonomernosti [Drug-Related Crime in the Russian Federation: Modern Statistical Patterns]. *Vserossiyskiy kriminologicheskii zhurnal*, 18(6): 602–613. DOI 10.17150/2500-4255.2024.18(6).602-613. EDN OUFKYJ.
- Terekhin V.I., Chernyshov V.V. 2019. Faktornyy (korrelyatsionno-regressionnyy) analiz regionalnoy prestupnosti [Factor (Correlation-Regression) Analysis of Regional Crime]. *Finansovaya ekonomika*, 2: 84–88. EDN VVKUVG.
- Tikunov V.S., Belousov S.K. 2022. Integralnaya otsenka kachestva zhizni naseleniya gorodov i regionov Rossii [Integral Assessment of the Quality of Life in Cities and Regions of Russia]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2: 48–60. EDN TAZCKZ.
- Filippova O.V. 2024. Struktura rossiyskoy retsidivnoy prestupnosti [The Structure of Russian Recidivist Crime]. *Ugolovno-issledovatel'naya sistema: pravo, ekonomika, upravlenie*, 2: 19–22. DOI 10.18572/2072-4438-2024-2-19-22. EDN GEIFWE.
- Khalikova A.F., Sapozhnikova E.Yu. 2020. Statisticheskiy analiz vliyaniya sotsialno-ekonomicheskikh faktorov na uroven prestupnosti kak ugrozy natsionalnoy bezopasnosti Rossii [Statistical Analysis of the Influence of Socio-Economic Factors on Crime Levels as a Threat to Russia's National Security]. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii*, 8(2): 86–92. DOI 10.15688/re.volsu.2020.2.9. EDN UVMTYW.
- Shestak V.A., Tsyplakova A.D. 2023. Problemy sovershenstvovaniya prognozirovaniya prestupnosti [Problems of Improving Crime Forecasting]. *Rassledovanie prestupleniy: problemy i puti ikh resheniya*, 3(41): 78–84. DOI 10.54217/2411-1627.2023.41.3.008. EDN RECKRU.
- Shubakin A.A. 2024. Struktura i tendentsii evolyutsii ulichnoy prestupnosti v Rossii [Structure and Trends in the Evolution of Street Crime in Russia]. *Gumanitarnyye, sotsialno-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki*, 12: 199–204. DOI 10.24412/2220-2404-2024-12-28. EDN VAKARC.
- R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/> (accessed: 19.08.2025).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 07.10.2025

Поступила после рецензирования 13.01.2026

Принята к публикации 20.01.2026

Received October 07, 2025

Revised January 13, 2026

Accepted January 20, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галушин Павел Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-правовых дисциплин и специальной техники, Сибирский юридический институт МВД России, г. Красноярск, Россия

Галушина Елена Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры медицинской кибернетики и информатики, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России, г. Красноярск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavel V. Galushin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Legal Disciplines and Specialized Equipment, Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Krasnoyarsk, Russia

Elena N. Galushina, Candidate of Science in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V.F. Voyno-Yasenetsky, Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnoyarsk, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-203-215

EDN QHNLHB

Применение опорного клиппированного сигнала в когерентной системе радиосвязи на основе многоуровневых хаотических сигналов

¹Гавришев А.А., ²Осипов Д.Л.

¹ Московский государственный лингвистический университет,
Россия, 119034, г. Москва, ул. Остоженка, д. 38/1

² Северо-Кавказский федеральный университет,
Россия, 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1
alexxx.2008@inbox.ru

Аннотация. Основное внимание в работе уделяется вопросу совершенствования технической конструкции когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых хаотических сигналов (ХС) на основе клиппирования. Проведен анализ преимуществ и недостатков когерентных систем радиосвязи на основе ХС, в том числе и многоуровневых. Выделена задача рационального хранения опорного ХС, в том числе и многоуровневого, на приемной стороне. Отмечены преимущества многоуровневых ХС по скрытности передачи данных перед бинарными. Проведен анализ решения задачи рационального хранения опорного многоуровневого ХС на приемной стороне, заключающегося в использовании на приемной стороне клиппированной копии многоуровневого ХС в виде последовательности прямоугольных импульсов с амплитудой $+1$ и -1 , полученной из исходного ХС. Приведено математическое описание, отмечены достоинства и недостатки указанного подхода. Указано, что такое решение в перспективе поможет снизить требования к вычислительным и иным ресурсам, используемым на приемной стороне. На основе проведенных исследований разработан вариант когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом. Приведено описание принципов ее работы. С помощью моделирования экспериментально обоснована возможность практического использования разработанного варианта когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом, который позволяет передавать информационные сигналы по каналам радиосвязи и восстанавливать их на приемной стороне с определенной достоверностью. Отмечено, что клиппированные ХС, представленные в простейшем случае в формате ASCII, занимают в несколько раз меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС с аналогичным способом хранения. Это позволяет сократить объем памяти, занимаемой опорным сигналом в варианте когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС. Проведенные исследования могут быть полезны разработчикам и производителям соответствующих систем радиосвязи, в том числе используемых в системах Интернета вещей.

Ключевые слова: многоуровневые хаотические сигналы, когерентные системы радиосвязи, клиппированный опорный сигнал, вычислительные ресурсы, сокращение

Для цитирования: Гавришев А.А., Осипов Д.Л. 2026. Применение опорного клиппированного сигнала в когерентной системе радиосвязи на основе многоуровневых хаотических сигналов. *Экономика. Информатика*, 53(1): 203–215. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-203-215. EDN QHNLHB

Application of a Clipped Reference Signal in a Coherent Radio Communication System Based on Multilevel Chaotic Signals

¹Aleksey A. Gavrishev, ²Dmitrij L. Osipov

¹Moscow State Linguistic University,
38/1 Ostozhenka St., Moscow 119034, Russia

²North-Caucasus Federal University,
1 Pushkin St., Stavropol 355017, Russia
alexxx.2008@inbox.ru

Abstract. The paper is mainly focused on the issue of improving the technical design of a coherent radio communication system working on multilevel chaotic signals (CSs) based on clipping. The advantages and disadvantages of CS-based coherent radio communication systems, including multilevel ones, are analyzed. The authors highlight the task of rational storage of a reference CS, including multilevel storage, on the receiving side. The advantages of multilevel CSs in terms of data transmission secrecy over binary ones are described. The analysis of the solution to the problem of rational storage of the reference multilevel CS on the receiving side is carried out, which consists in using a clipped copy of the multilevel CS on the receiving side in the form of a sequence of rectangular pulses with an amplitude of +1 and -1 obtained from the original CS. A mathematical description is given, and the advantages and disadvantages of this approach are noted. The paper indicates that such a solution in the future will help reduce the requirements for computing and other resources used on the receiving side. The research findings have enabled us to develop a variant of a coherent radio communication system based on multilevel CSs with a clipped reference signal. The principles of its operation are described. Using modeling, the authors have experimentally substantiated the possibility to use the proposed variant of a coherent radio communication system based on multilevel CSs with a clipped reference signal, which allows transmitting information signals over radio communication channels and restoring them on the receiving side with a certain reliability. It is noted that clipped CSs presented, in the simplest case, in ASCII format occupy several times less memory than multilevel ones with a similar storage method. This makes it possible to reduce the amount of memory occupied by the reference signal in a variant of a coherent radio communication system based on multilevel CSs. The research may be beneficial to developers and manufacturers of relevant radio communication systems, including those used in Internet of Things.

Keywords: multilevel chaotic signals, coherent radio communication systems, clipped reference signal, computing resources, reduction

For citation: Gavrishev A.A., Osipov D.L. 2026. Application of a Clipped Reference Signal in a Coherent Radio Communication System Based on Multilevel Chaotic Signals. *Economics. Information technologies*, 53(1): 203–215 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-203-215. EDN QHNLHB

Введение

Хаотические сигналы (ХС) с начала 90-х годов прошлого века привлекают внимание исследователей в области систем радиосвязи. Несмотря на многолетние исследования, показавшие принципиальную возможность использования явления динамического хаоса в системах радиосвязи, например, с помощью схем передачи данных на основе хаотической маскировки, переключения хаотических режимов, нелинейного подмешивания и др., до конца не была решена задача низкой устойчивости таких систем радиосвязи к различным возмущающим факторам [Дмитриев, Панас, 2002; Kehui Sun, 2016; Дмитриев, 2023]. Развитие систем радиосвязи, использующих динамический хаос, привело к созданию устойчивых к возмущениям схем передачи данных, например, дифференциальное переключение, прямохаотическая система связи и некоторые другие [Дмитриев, Панас, 2002; Kehui Sun, 2016; Дмитриев, 2023]. Вместе с тем в настоящее время остается открытым вопрос о когерентном приеме ХС в системах радиосвязи. Ранее проведенные исследования показывают [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao, Wu, Zhang, 2023; Guangkai

Liu, et al., 2024; Ruopeng Liu, et al., 2024], что когерентный прием ХС способен обеспечивать большую помехоустойчивость по сравнению с некогерентным приемом. Вместе с тем одной из главных проблем при создании когерентных систем радиосвязи на основе ХС является сложность в построении идентичных хаотических систем на передающей и приемной стороне, а также их синхронизация между собой [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao, Wu, Zhang, 2023; Guangkai Liu, et al., 2024; Ruopeng Liu, et al., 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024].

Вопрос об «идентичности» ХС на передающей и приемной сторонах может быть решен при программной реализации хаотического передатчика и хаотического приемника. При этом используемые ХС могут быть как бинарными, так и многоуровневыми [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao, Wu, Zhang, 2023; Guangkai Liu, et al., 2024; Ruopeng Liu, et al., 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024]. Благодаря преимуществам многоуровневых ХС над бинарными по показателю скрытности [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao, Wu, Zhang, 2023; Гавришев, 2024; Guangkai Liu, et al., 2024; Ruopeng Liu, et al., 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024], они представляют особый интерес для исследования.

Подход, заключающийся в программной реализации хаотического передатчика и хаотического приемника, был положен в основу ряда когерентных систем радиосвязи на основе многоуровневых ХС. В общем виде их возможно разделить на два больших класса:

- когерентные системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС, в которых на передающей и приемной сторонах используются одинаковые генераторы хаотических сигналов (ГХС), например, как в работах [Kehui Sun, 2016; Guangkai Liu, Guo Jie, Cheng Cheng et al., 2024; Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang, 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024];
- когерентные системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС, в которых на передающей и приемной сторонах используются одинаковые копии многоуровневых ХС, заранее записанные в блоки памяти, например, как в работах [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015].

Первый описанный класс систем обладает широко известным недостатком, заключающимся в сложности построения идентичных хаотических систем на передающей и приемной стороне, а также их синхронизация между собой, даже при программной реализации хаотического передатчика и хаотического приемника. Второй описанный класс систем отличается от первого тем, что в таких когерентных системах радиосвязи используются на передающей и приемной сторонах одинаковые копии многоуровневых ХС, записанные в блоки памяти, и синхронизация этих копий во времени с помощью внешних средств. В этом случае введение информации на передающей стороне осуществляется стандартными методами модуляции, применяемыми в системах радиосвязи, использующих когерентный прием, например, с помощью BPSK-модуляции. Таким образом, второй класс когерентных систем радиосвязи на основе многоуровневых ХС выглядит более предпочтительным, чем первый.

Несмотря на достоинства когерентных систем радиосвязи на основе многоуровневых ХС по показателям помехоустойчивости и скрытности по сравнению с другими системами радиосвязи на основе ХС, они не лишены недостатков. Помимо сложности построения идентичных хаотических систем на передающей и приемной стороне, а также их синхронизации, выделяется задача рационального хранения опорного многоуровневого ХС на приемной стороне, что также затрудняет построение таких систем радиосвязи, в особенности в условиях развития Интернета вещей, предполагающего миниатюризацию аппаратных платформ и сокращение потребления вычислительных и иных ресурсов.

И если для двух первых задач предложены некоторые решения [Дмитриев, Панас, 2002; Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Дмитриев, 2023; Gao, Wu, Zhang, 2023; Guangkai et al., 2024; Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang, 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024], то последняя из описанных задач не нашла широкого отражения в научной литературе. Между тем, в условиях развития Интернета вещей,

приемопередающие устройства которого обладают малыми вычислительными и энергетическими мощностями, решение задачи рационального хранения опорного многоуровневого сигнала на приемной стороне может иметь множество положительных сторон, в частности, уменьшение массогабаритных характеристик устройства, уменьшение энергопотребления и тепловыделения без существенного снижения помехоустойчивости и скрытности. Поэтому указанная задача является актуальной и требует дальнейшей проработки.

Цель и задачи исследования

Целью статьи является совершенствование технической конструкции когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС на основе клиппирования.

Задачами статьи являются:

- 1) разработка упрощенной модели представленного варианта когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом.
- 2) сокращение объема памяти, занимаемого опорным сигналом в варианте когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС.

Анализ предметной области

Анализ источников показал [Курьянов, 1965; Лукин, 2008], что одним из возможных путей сокращения объема памяти, занимаемого опорным сигналом в когерентной системе радиосвязи на основе многоуровневых ХС, может быть использование на приемной стороне клиппированной копии многоуровневого ХС, полученной из исходного ХС. В данном случае под клиппированием понимается преобразование исходного многоуровневого ХС в последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой $+1$ и -1 в зависимости от знака исходного сигнала.

Так, в работе [Курьянов, 1965] указано, что если $S(t)$ – случайный сигнал с автокорреляционной функцией (АКФ) $R_i(\tau)$, то его спектр $G(\omega)$ определяется следующим образом:

$$G(\omega) = E\left\{ \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi T} \left[\left(\int_0^T S(t) \cos \omega t dt \right)^2 + \left(\int_0^T S(t) \sin \omega t dt \right)^2 \right] \right\}, \quad (1)$$

где E – знак математического ожидания.

Спектр сигнала $G(\omega)$ связан с его АКФ $R_i(\tau)$ формулой Винера – Хинчина:

$$G(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_i(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (2)$$

Для получения спектра сигнала $G(\omega)$ обычно либо измеряют его АКФ $R_i(\tau)$ и используют соотношение (2), либо измеряют величину, называемую текущей периодограммой процесса [Курьянов, 1965], и описываемую следующим выражением:

$$SP_T(\omega, t) = \frac{1}{\pi T} \left[\left(\int_{t-T}^t S(t) \cos \omega t dt \right)^2 + \left(\int_{t-T}^t S(t) \sin \omega t dt \right)^2 \right] \quad (3)$$

Основной операцией, которую необходимо выполнить для получения (3), является перемножение функции $S(t)$ на $\cos \omega t$ и $\sin \omega t$, и их последующее интегрирование, то есть нахождение АКФ. Согласно [Курьянов, 1965], рассмотрим другой способ перемножения указанных величин: «произведение» будет считаться равным $+1$, если сомножители имеют одинаковые знаки, и -1 , если знаки разные. Радиотехнически это достигается клиппированием сигналов.

Используя такую модификацию при определении спектра, по аналогии с выражением (1), получим следующее выражение [Курьянов, 1965]:

$$G(\omega) = E\left\{ \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi T} \left[\left(\int_0^T S(t) \cos \omega t dt \right)^2 + \left(\int_0^T S(t) \sin \omega t dt \right)^2 \right] \right\}, \quad (4)$$

где $G(\omega)$ – нормированный спектр сигнала, полученного клиппированием исходного сигнала $S(t)$, знак « \wedge » над некоторой функцией – операция клиппирования.

Продемонстрируем связь между нормированным спектром клиппированного сигнала и АКФ исходного сигнала, аналогичную выражению (2). Опуская математические выкладки, приведенные в [Курьянов, 1965], указанную связь возможно вычислить с помощью следующего выражения:

$$G(\omega) = \frac{8}{\pi^2} \int_0^{\infty} \arcsin R_n(\tau) g(\omega \tau) d\tau, \quad (5)$$

где $R_n(\tau)$ – нормированная АКФ.

Выражение (5) является аналогом формулы Винера – Хинчина, описываемой выражением (2). Поскольку нормированная АКФ $R_n(\tau)$ целиком определяется спектром $G(\omega)$ то выражение (5) дает связь между спектром клиппированного сигнала $G(\omega)$ и спектром исходного сигнала $G(\omega)$.

В качестве примера на рис. 1 приведен пример временной диаграммы многоуровневого шумоподобного сигнала из работы [Гавришев, Жук, 2018] и соответствующий ему клиппированный сигнал.

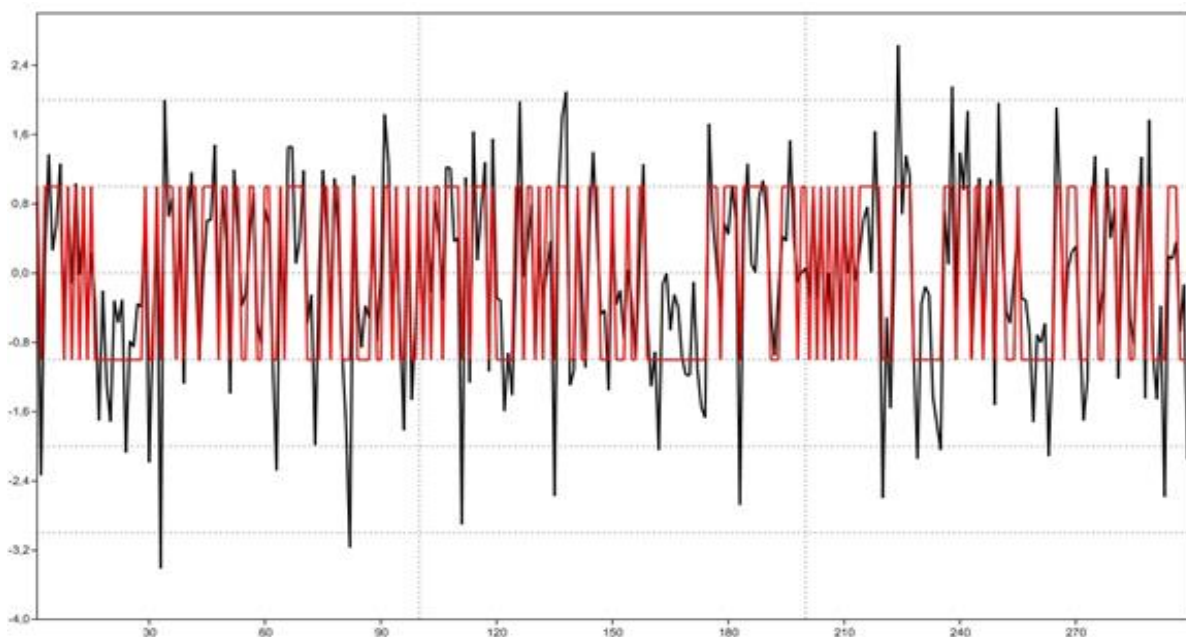


Рис. 1. График, поясняющий процесс клиппирования многоуровневого шумоподобного сигнала $S(t)$
 Fig. 1. Graph, explaining the process of clipping a multilevel noise-like signal $S(t)$

На рис. 2. представлены АКФ многоуровневого шумоподобного сигнала и соответствующего ему клиппированного сигнала, изображенных на рис. 1.

Как видно из рис. 1–2, процесс клиппирования позволяет преобразовать исходный многоуровневый сигнал в последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой +1 и –1 в зависимости от знака исходного сигнала. При этом их АКФ имеют схожий вид, что совпадает с отмеченными в [Курьянов, 1965; Лукин, 2008] результатами.

Таким образом, с учетом представленных данных, использование на приемной стороне когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС их клипированных копий, полученных из исходных ХС, потенциально может помочь в решении задачи уменьшения вычислительных и иных ресурсов, которые необходимы для их использования.

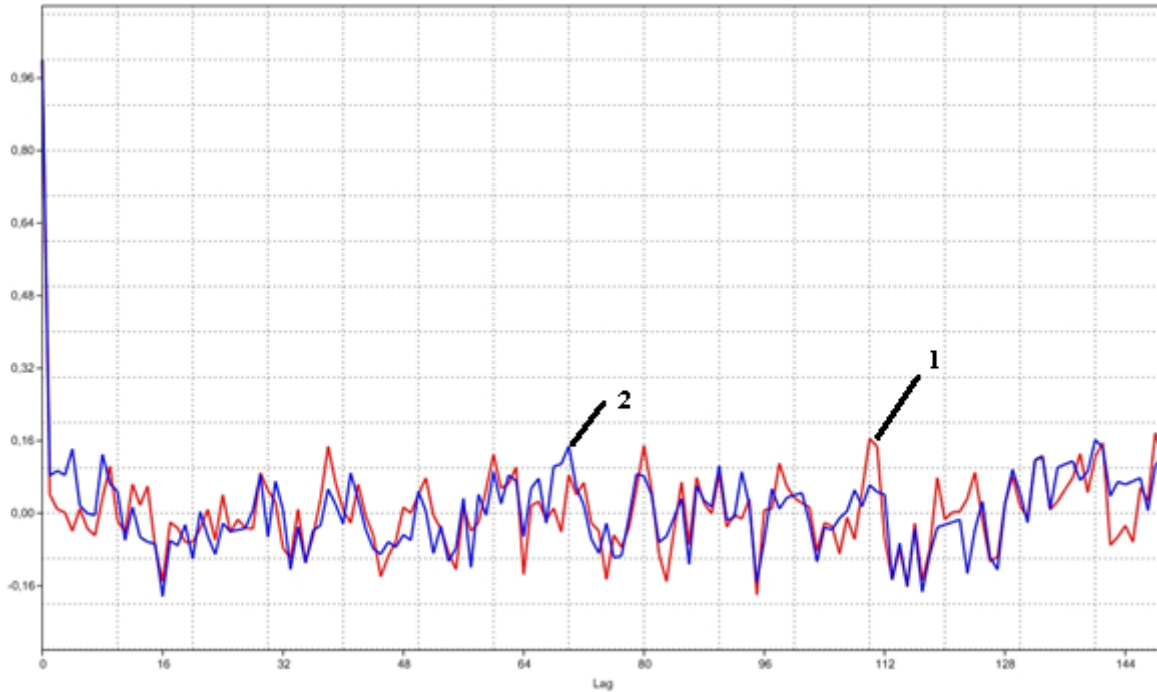


Рис. 2. АКФ исходного многоуровневого шумоподобного сигнала (1) и соответствующего ему клипированного сигнала (2)

Fig. 2. ACF of the initial multilevel noise-like signal (1) and the corresponding clipped signal (2)

В работе [Лукин, 2008] описанный выше принцип был положен в основу варианта шумового радара. Работа указанного устройства заключается в том, что реализация многоуровневого ХС в опорном канале заменяется его клипированной копией, которая сохраняет информацию о знаке и временах смены знака амплитуды ХС. Из источника [Лукин, 2008] известно, что взаимокорреляционная функция (ВКФ) $R_{ij}(\tau)$ между исходным многоуровневым ХС и его копией на приемной стороне, а также ВКФ $R_{ij}(\tau)$ между принятым многоуровневым ХС и клипированным ХС прямо пропорциональны друг другу с некоторым незначительным уменьшением ВКФ. Проведенные авторами работы [Лукин, 2008] расчеты показали, что при использовании указанного подхода, несмотря на незначительное снижение помехоустойчивости, существенно упрощается аппаратная реализация корреляционного приемника, в котором используются многоуровневые ХС.

Так как такой подход не нашел широкого применения в когерентных системах радиосвязи на основе многоуровневых ХС, то он может быть применен для решения поставленной задачи.

Вариант когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клипированным сигналом

На рис. 3 приведен вариант структурной схемы когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клипированным сигналом, в основу которой положены результаты из работ [Лукин, 2008; Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Гавришев, Жук, 2018].

На рис. 3 введены следующие обозначения: ИИ – источник информации, НМХС – накопитель многоуровневого ХС, МП – модулятор-передатчик, ПФ – полосовой

фильтр, U_c – усилитель, $U_{мн1}$ – первый умножитель, $U_{мн2}$ – второй умножитель, Инв – инвертор, НОКХС – накопитель опорного клиппированного ХС, Инт1 – первый интегратор, Инт2 – второй интегратор, ВУ – вычитающее устройство, РУ – решающее устройство, ПИ – получатель информации.

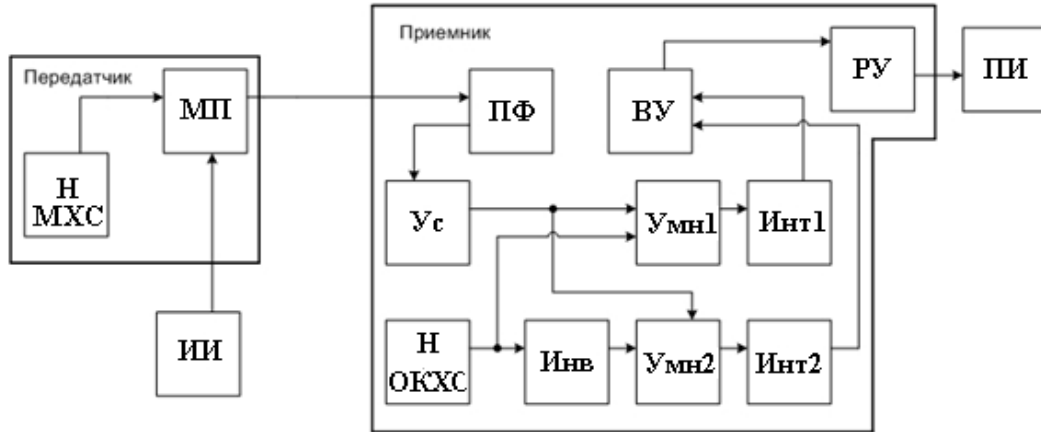


Рис. 3. Вариант структурной схемы когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом

Fig. 3. A variant of the structural scheme of a coherent radio communication system based on multilevel CS with a clipped reference signal

С учетом рекомендаций из источников [Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Гавришев, Жук, 2018], опишем математически, как функционирует схема, изображенная на рис. 3. Исходными данными будут следующие понятия:

- 1) $S_{МХС}(t)$ – произвольный многоуровневый ХС на передающей стороне;
- 2) $S_{КХС}(t)$ – опорный клиппированный ХС на приемной стороне;
- 3) $S_{инф}(t)$ – исходный информационный сигнал;
- 4) $U(t)$ – передаваемый в канале связи сигнал;
- 5) $S_{вых.инф.}(t)$ – восстановленный информационный сигнал.

Информационный сигнал $S_{инф}(t)$ может принимать два значения -1 и $+1$. При этом выходной сигнал модулятора-передатчика представляет собой сигнал $U(t)$, созданный с помощью перемножения в модуляторе-передатчике исходного информационного сигнала $S_{инф}(t)$ с многоуровневым ХС $S_{МХС}(t)$. В канале связи на передаваемый сигнал $U(t)$ действует аддитивная гауссовская помеха, поэтому на вход приемного устройства поступает смесь передаваемого сигнала и помехи $R(t) = U(t) + N(t)$. После вхождения в режим синхронизации в приемном устройстве из полосового фильтра выходит сигнал $Y(t) = U(t) + N(t)$, который затем усиливается. После этого усиленный сигнал $Y_{uc}(t)$ одновременно умножается на опорный клиппированный ХС $S_{КХС}(t)$, полученный из многоуровневого ХС $S_{МХС}(t)$, а также умножается на его инвертированное значение $-S_{КХС}(t)$. В итоге получаются сигналы $S_{П1}(t) = Y_{uc}(t) \times S_{КХС}(t)$ и $S_{П2}(t) = -Y_{uc}(t) \times S_{КХС}(t)$, которые затем проходят через интеграторы и принимают значения $Intg_1(t)$ и $Intg_2(t)$. Далее сигналы $Intg_1(t)$ и $Intg_2(t)$ поступают в вычитающее устройство, где вычисляется их разность. С выхода вычитающего устройства разностный сигнал $Z_{раз}(t)$ поступает в решающее устройство, где происходит сравнение принятых уровней с пороговым значением:



$$\begin{aligned}
 & - S_{\text{вых.инф.}}(t) = 1 \text{ при } Z_{\text{раз}}(t) > 0, \\
 & - S_{\text{вых.инф.}}(t) = -1 \text{ при } Z_{\text{раз}}(t) < 0.
 \end{aligned}$$

После этого восстановленный информационный сигнал $S_{\text{вых.инф.}}(t)$ поступает к получателю, при этом в идеальном случае $S_{\text{инф}}(t) = S_{\text{вых.инф.}}(t)$.

Упрощенное моделирование работы когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клипированным сигналом

Проведем моделирование работы когерентной системы радиосвязи, представленной на рис. 3. Для этого выберем ХС, которые будем использовать в ней. В качестве генераторов, вырабатывающих ХС, выберем хорошо описанные в литературе генераторы.

В качестве первого ГХС возьмем аттрактор Ресслера, описываемый следующим выражением [Kehui Sun, 2016; Гавришев, Жук, 2018]:

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= -y - z, \\
 \dot{y} &= x + ay, \\
 \dot{z} &= b + z(x - c).
 \end{aligned} \tag{6}$$

В качестве второго ГХС возьмем гиперхаотическую систему Лю, описываемую следующим выражением [Kehui Sun, 2016, Гавришев, 2023]:

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= a(y - x), \\
 \dot{y} &= bx - hxz + \lambda w, \\
 \dot{z} &= cx^2 - dz, \\
 \dot{w} &= -ny.
 \end{aligned} \tag{7}$$

С помощью моделирования многоуровневых ХС, описываемых выражениями (6) и (7), было получено по 100 их реализаций. Для подтверждения положений, приведенных в источниках [Курьянов, 1965; Лукин, 2008], была осуществлена следующая процедура: каждая из реализаций многоуровневого ХС была преобразована в клипированный сигнал, после этого попарно была рассчитана их ВКФ. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Расчеты ВКФ
Calculations of CCF

№	Название ГХС	Усредненная ВКФ $R_{ij}(\tau)$ между использованными многоуровневыми и клипированными ХС
1	Аттрактор Ресслера	0,83
2	Гиперхаотическая система Лю	0,82

Как видно из таблицы, ВКФ $R_{ij}(\tau)$ между многоуровневыми ХС и клипированными ХС обладает положительным значением, близким к 1. Полученный результат указывает на то [Kehui Sun, 2016; Голиков, 2022], что сравниваемые последовательности являются практически идентичными, несмотря на различия во временной области. Исходя из этого, они могут использоваться для дальнейших исследований.

После этого в пакете программ SciCosLab [Гавришев, Жук, 2018; Гавришев, 2023] на основе рис. 3 была собрана предлагаемая когерентная система радиосвязи на основе

многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом. При моделировании полагалось, что [Фридман, 1983; Дмитриев, Панас, 2002; Kehui Sun, 2016; Голиков, 2022]:

- 1) канал связи является идеальным, и в нем отсутствуют помехи;
- 2) передающая и приемная стороны синхронизированы;
- 3) не учитываются потери, которые неизбежно возникают в процессе клиппирования многоуровневых ХС.

В результате проведенных экспериментов, при изменениях параметров ГХС, описываемых выражениями (6) и (7), было установлено, что фрагменты восстановленных информационных сигналов на приемной стороне имеют вид, достаточно схожий с видом исходного информационного сигнала (рис. 4 и рис. 5).

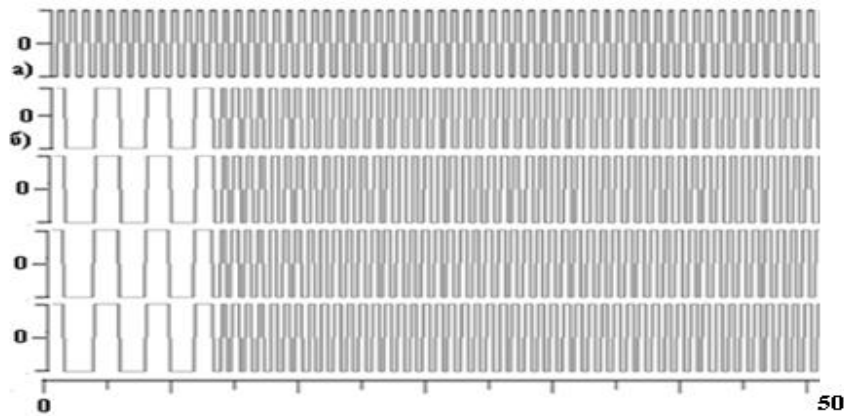


Рис. 4. Фрагменты исходной информационной последовательности (а) и восстановленных информационных последовательностей на приемной стороне (б) при использовании в качестве ГХС аттрактора Ресслера

Fig. 4. Fragments of the original information sequence (a) and reconstructed information sequences on the receiving side (b) when used Rossler attractor

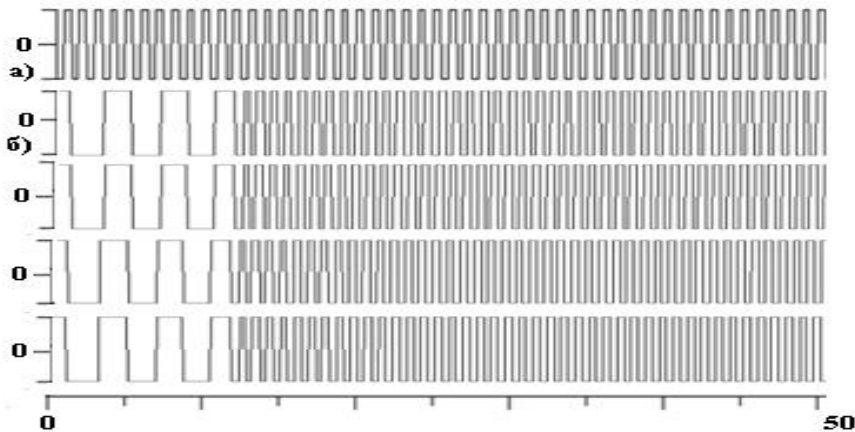


Рис. 5. Фрагменты исходной информационной последовательности (а) и восстановленных информационных последовательностей на приемной стороне (б) при использовании в качестве ГХС гиперхаотической системы Лю

Fig. 5. Fragments of the original information sequence (a) and reconstructed information sequences on the receiving side (b) when used hyperchaotic Liu system

Результаты моделирования подтверждают потенциальную возможность практического использования разработанной системы радиосвязи на основе ХС с опорным клиппированным сигналом, которая позволяет передавать информационные сигналы по каналам радиосвязи и восстанавливать их на приемной стороне с определенной достоверностью.

Преимущества использования клиппированных ХС

В свете проведенных исследований определенный интерес представляет оценка выигрыша от использования клиппированных ХС на приемной стороне по сравнению с многоуровневыми ХС.

Для этого воспользуемся подходом, предложенным в [Бобровский, Ильичев, Лапин, 2021; Булатов, и др., 2022]. Для упрощения расчетов воспользуемся наиболее простым способом представления сложных сигналов – в формате ASCII. Естественно, что данное представление сигналов является неоптимизированным и используется исключительно как наглядный пример. Исследования аппаратной реализации систем радиосвязи на основе ХС являются отдельной нетривиальной задачей и выходят за рамки представленной статьи, поэтому в дальнейшем рассматриваться не будет.

Положим, что требуемое количество сигналов, необходимое для использования в беспроводной системе передачи данных, составляет 10^5 сигналов. С помощью моделирования представим многоуровневые ХС, описываемые выражениями (6) и (7) и их клиппированное представление в формате ASCII. Проведем оценку затраченной памяти для хранения такого количества сигналов в формате ASCII. Также для сравнения определим размер памяти, занимаемой многоуровневыми ХС, при их сжатии с помощью алгоритмов архивирования. Полученные расчеты приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, клиппированные ХС занимают в 2 раза меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС с использованием архивирования, и в 5 раз меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС без использования архивирования.

Таблица 2
Table 2

Расчеты затраченной памяти для хранения сигналов
Calculations of the used memory for storing signals

№	Название ГХС	Размер памяти, занимаемой многоуровневыми ХС (без архивирования)	Размер памяти, занимаемой многоуровневыми ХС (с архивированием)	Размер памяти, занимаемой клиппированными ХС
1	Аттрактор Ресслера	3,0 Гб	1,4 Гб	0,6 Гб
2	Гиперхаотическая система Лю	2,5 Гб	1,1 Гб	

Таким образом, проведенные расчеты, представленные в табл. 2, наглядно показывают, что клиппированные ХС занимают значительно меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС. Это подтверждает перспективность их использования в качестве опорных сигналов в когерентных системах радиосвязи на основе многоуровневых ХС, в особенности в условиях развития Интернета вещей.

Заключение

В данной статье предложено направление совершенствования технической конструкции когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС. Анализ источников [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao et al., 2024; Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang, 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024] показал, что когерентный прием ХС способен обеспечивать большую помехоустойчивость по сравнению с некогерентным приемом. Указано, что одной из главных проблем при создании когерентных систем радиосвязи на основе ХС, в том числе и многоуровневых, является сложность в построении идентичных хаотических систем на передающей и приемной стороне, а также их синхронизация между собой. Отмечено, что одним из перспективных подходов по реализации ряда когерентных систем радиосвязи на основе

ХС, в том числе и многоуровневых, является программная реализация хаотического передатчика и хаотического приемника [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao, Wu, Zhang, 2023; Guangkai Liu, et al., 2024; Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang, 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024]. Указаны некоторые недостатки таких систем радиосвязи, например, сложности в построении идентичных хаотических систем на передающей и приемной стороне, а также их синхронизации и пр. Отмечено, что некоторым из таких недостатков уделяется недостаточно внимания, например, задаче рационального хранения опорного ХС, в том числе и многоуровневого, на приемной стороне (в особенности в условиях развития Интернета вещей, предполагающего миниатюризацию аппаратных платформ и сокращение потребления вычислительных и иных ресурсов). Для дальнейших исследований решено сосредоточиться на многоуровневых ХС, которые обладают преимуществами по скрытности передачи данных перед бинарными [Мохсени, Кикот, 2015; Осипов, Жук, Гавришев, 2015; Kehui Sun, 2016; Gao, Wu, Zhang, 2023; Гавришев, 2024; Guangkai Liu, et al., 2024; Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang, 2024; Tihomorskis, Ahrens, Aboltins, 2024;].

Рассмотрен один из подходов решения указанной задачи [Курьянов, 1965; Лукин, 2008], заключающийся в использовании на приемной стороне клиппированной копии многоуровневого ХС, полученной из исходного ХС. В данном случае под клиппированием понимается преобразование исходного многоуровневого ХС в последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой +1 и –1 в зависимости от знака исходного сигнала. Приведено математическое описание указанного подхода. Описаны его достоинства и недостатки. Описан вариант шумового радара из источника [Лукин, 2008], в основу работы которого положен описанный выше принцип. Указано, что такой подход не нашел широкого применения в когерентных системах радиосвязи на основе многоуровневых ХС и потенциально может помочь в решении задачи уменьшения вычислительных и иных ресурсов, используемых на приемной стороне.

На основе проведенных исследований разработан вариант когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом. Приведено описание принципов ее работы. С помощью моделирования экспериментально обоснована возможность практического использования разработанного варианта когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом, который позволяет передавать информационные сигналы по каналам радиосвязи и восстанавливать их на приемной стороне с определенной достоверностью.

Проведен анализ преимуществ от использования клиппированных ХС на приемной стороне по сравнению с многоуровневыми ХС. С учетом введенных упрощений и ограничений показано, что клиппированные ХС, представленные в простейшем случае в формате ASCII, занимают в 2 раза меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС с использованием архивирования, и в 5 раз меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС без использования архивирования в формате ASCII. Таким образом, проведенные расчеты наглядно показывают, что клиппированные ХС занимают значительно меньший объем памяти, чем многоуровневые ХС, и позволяют сократить объем памяти, занимаемый опорным сигналом в варианте когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС.

Дальнейшее направление исследований по данной тематике авторы планируют сконцентрировать на оценке помехоустойчивости предложенного варианта когерентной системы радиосвязи на основе многоуровневых ХС с опорным клиппированным сигналом в присутствии различных типов помех (белый шум, узкополосная помеха и пр.).

Список литературы

- Бобровский В.В., Ильичев П.В., Лашин О.А. 2021. Широкополосный измерительный комплекс с шумоподобными сигналами для электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах. *Сейсмические приборы*, (1): 29–48. DOI: 10.21455/si2021.1-3

- Булатов В.Н., Сильвашко С.А., Тимонов Е.С., Худорожков О.В. 2022. Повышение точности цифрового спектрального анализа дискретных сигналов. *Датчики и системы*, (2): 28–34. DOI 10.25728/datsys.2022.2.4
- Гавришев А.А. 2023. К вопросу об использовании гиперхаотических сигналов для передачи данных в системах радиосвязи. *Научное приборостроение*, (2): 62–74.
- Гавришев А.А. 2024. Подходы к повышению скрытности передачи данных в системах радиосвязи. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции «Вопросы обеспечения безопасности в киберпространстве». Махачкала: Типография ФОРМАТ: 23–26.
- Гавришев А.А., Жук А.П. 2018. Применение методов нелинейной динамики для исследования хаотичности сигналов-переносчиков защищенных систем связи на основе динамического хаоса. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*, (1): 50–60. DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-1-50-60.
- Голиков А.М. 2022. Системы цифровой радиосвязи. М.: Ай Пи Ар Медиа: 340 с.
- Дмитриев А.С. 2023. Сверхширокополосные прямохаотические средства связи. Сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола: ПГТУ: 14–21.
- Дмитриев А.С., Панас А.И. 2002. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Издательство Физико-математической литературы: 252 с.
- Курьянов Б.Ф. 1965. «Нормированные» спектры случайных процессов. *Акустический журнал*, (2): 192–196.
- Лукин К.А. 2008. Шумовая радиолокация миллиметрового диапазона. *Радиофизика и электроника*, (13): 344–358.
- Мохсени Т.И., Кикот А.М. 2015. Когерентная передача цифровой информации с двоичной модуляцией хаотического импульса. *Журнал радиоэлектроники*, (6): 1–24.
- Осипов Д.Л., Жук А.П., Гавришев А.А. 2015. Устройство имитозащиты контролируемых объектов с повышенной структурной скрытностью сигналов-переносчиков. Патент РФ 2560824: 15.
- Фридман П.А. 1983. Отношение сигнала к шуму в радиоинтерферометре со сверхдлинной базой. *Астрофизические исследования*, (17): 95–101.
- Gao C., Wu Y., Zhang Y. 2023. Secure Communication Using WFRFT-DSSS Based on Chaotic Cyclic Shift. *IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*: 1–5. DOI: 10.1109/ICCC57788.2023.10233567.
- Guangkai Liu, Guo Jie, Cheng Cheng et al. 2024. Performance of logistic and tent chaotic sequences in direct spread spectrum communication application. *IET International Radar Conference*, (47): 4132–4136. DOI: 10.1049/icp.2024.1776
- Kehui Sun. 2016. *Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies*. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH: 333 p. DOI: 10.1515/9783110434064
- Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang. 2024. Design and simulation of soft decision decoding based on chaotic M-ary spread spectrum system. *Discover Applied Sciences*, (6): 185. DOI: 10.1007/s42452-024-05849-7
- Tihomorskis N., Ahrens A., Aboltins A. 2024. Chaotic Spread-Spectrum Communication: A Comparative Study between Chaotic Synchronization and Matched Filtering. *Chaos Theory and Applications*. (6): 170–179. DOI: 10.51537/chaos.1424487

References

- Bobrovsky V.V., Ilyichev P.V., Lashin O.A. 2021. Broadband measuring complex with pseudonoise signals for electromagnetic monitoring of modern geodynamic processes in seismoactive zones. *Seismicheskie Pribory*, (1): 29–48. DOI: 10.21455/si2021.1-3 (In Russian)
- Bulatov V.N., Silvashko S.A., Timonov E.S., Khudorozhkov O.V. Improving the accuracy of digital spectral analysis discrete signal. *Sensors and Systems*, (2): 28–34 DOI: 10.25728/datsys.2022.2.4 (In Russian)
- Gavrishev A.A. 2023. On the use of hyperchaotic signals for data transmission in radio communication systems. *Nauchnoe priboroostroenie*, (2): 62–74 (In Russian).
- Gavrishev A.A. 2024. Approaches to increasing the secrecy of data transmission in radio communication systems. Proceedings of the II All-Russian Scientific and Technical Conference “Security issues in Cyberspace”, Makhachkala: FORMAT Printing House: 23–26 (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. DOI: 10.25205/1818-7900-2018-16-1-50-60 (In Russian)
- Golikov A.M. Digital radio communication systems, Moscow: IP Media Publ.: 340 p. (In Russian).
- Dmitriev A.S. 2023. Ultra wideband direct chaotic communicationsю Collection of reports of the XXVIII All-

Russian Open Scientific Conference “Radio wave Propagation”, Yoshkar-Ola: PGTU Publ.: 14–21 (In Russian).

- Dmitriev A.S., Panas A.I. 2022. Dynamic chaos: new information carriers for communication systems, Moscow: Publishing House of Physical and Mathematical Literature: 252 p. (In Russian)
- Kuryanov B.F. 1965. “Normalized” spectra of random processes. *Acoustic Journal*, (2): 192–196 (In Russian)
- Lukin K.A. 2008. Millimeter range noise radar. *Radiophysics and electronics*, (13): 344–358 (In Russian).
- Mohseni T.I., Kikotya A.M. 2015. Coherent transmission of digital information with binary modulation of a chaotic pulse. *Journal of Radio Electronics*, (6): 1–24 (In Russian).
- Osipov D.L., Zhuk A.P., Gavrishchev A.A. 2015. Apparatus for protection against imitation of controlled objects with high structural security of carrier signals. Patent RF 2560824: 15 (In Russian).
- Fridman P.A. 1983. Signal-to-noise ratio in the long-base interferometer. *Astrophysical Bulletin*, (17): 95–101.
- Gao C., Wu Y., Zhang Y. 2023. Secure Communication Using WFRFT-DSSS Based on Chaotic Cyclic Shift. IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC): 1–5. DOI: 10.1109/ICCC57788.2023.10233567.
- Guangkai Liu, Guo Jie, Cheng Cheng et al. 2024. Performance of logistic and tent chaotic sequences in direct spread spectrum communication application. IET International Radar Conference, (47): 4132–4136. DOI: 10.1049/icp.2024.1776
- Kehui Sun. 2016. Chaotic Secure Communication: Principles and Technologies. Tsinghua University Press and Walter de Gruyter GmbH: 333 p. DOI: 10.1515/9783110434064
- Ruopeng Liu, Pengyi Wang, Xiduo Wang. 2024. Design and simulation of soft decision decoding based on chaotic M-ary spread spectrum system. *Discover Applied Sciences*, (6): 185. DOI: 10.1007/s42452-024-05849-7
- Tihomorskis N., Ahrens A., Aboltins A. 2024. Chaotic Spread-Spectrum Communication: A Comparative Study between Chaotic Synchronization and Matched Filtering. *Chaos Theory and Applications*. (6): 170–179. DOI: 10.51537/chaos.1424487

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 03.11.2025

Поступила после рецензирования 27.02.2026

Принята к публикации 02.03.2026

Received November 03, 2025

Revised February 27, 2026

Accepted March 02, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гавришев Алексей Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры международной информационной безопасности, Московский государственный лингвистический университет, г. Москва, Россия

Осипов Дмитрий Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksey A. Gavrishchev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Departments of International Information Security, Moscow State Linguistic University, Moscow, Russia

Dmitrij L. Osipov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computational Mathematics and Cybernetics, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

УДК 004.85
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-216-226
EDN WICNHS

Модель передачи сообщений в сети узкополосного интернета вещей газодобывающего предприятия

¹ Польщикова К.А., ² Терский М.О.

¹ Корпорация «Фазотрон – Научно-исследовательский институт радиостроения»,
Россия, 115516, г. Москва, Кавказский Бульвар, д. 59

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
polshchikov@bsuedu.ru, mailbox4job@mail.ru

Аннотация. В статье представлено исследование, которое нацелено на обеспечение требуемых вероятностно-временных характеристик доставки сообщений в сети узкополосного интернета вещей, развернутой для контроля работы оборудования газовой добычи. С использованием математического аппарата вероятностно-временных графов разработана модель передачи сообщений в указанной сети, которая адекватно отражает зависимость вероятности и среднего времени доставки сообщений от основных параметров исследуемого процесса. Проведены вычислительные эксперименты, результаты которых показали возможность применения разработанной модели для оптимизации процесса передачи сообщений о состоянии контролируемых технических объектов газодобывающего предприятия.

Ключевые слова: узкополосный интернет вещей, контроль оборудования, добыча газа, телеметрия, вероятностно-временной граф

Для цитирования: Польщикова К.А., Терский М.О. 2026. Модель передачи сообщений в сети узкополосного интернета вещей газодобывающего предприятия. *Экономика. Информатика*, 53(1): 216–226. DOI10.52575/2687-0932-2026-53-1-216-226. EDN WICNHS

Model for Transmitting Messages in a Narrowband Internet of Things Network of a Gas Producing Enterprise

¹ Konstantin A. Polshchikov, ² Maxim O. Terskiy

¹ Phazotron Corporation – Research Institute of Radio Engineering,
59 Kavkazsky Blvd., Moscow 115516, Russia

² Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
polshchikov@bsuedu.ru, mailbox4job@mail.ru

Abstract. This article presents a solution to a pressing scientific and technical problem: developing a message transmission model for a gas production enterprise's wireless network based on the NB-IoT narrowband Internet of Things protocol. The model was developed using the mathematical apparatus of probabilistic-temporal graphs. The scientific novelty of the developed model lies in its adequate reflection of the dependence of the probability and average message delivery time on the transmission characteristics of preambles, control information, and transport blocks. Computational experiments demonstrated that the model can be used to substantiate the implementation characteristics of the main stages of message delivery. The application of the presented model allows for the optimization of parameter values used in the delivery of messages containing data on the controlled parameters of gas production equipment. Further research on the topic of this article should be devoted to developing the proposed model in terms of its ability to estimate the probabilities of successful attempts to complete various stages of message delivery in a narrowband internet of things network operating over cellular communications. This will

© Польщикова К.А., Терский М.О., 2026

make it possible to improve algorithms for managing the process of transmitting telemetry data on the state of individual sections of gas production equipment in pre-emergency situations.

Keywords: Narrowband Internet of Things, equipment control, gas production, telemetry, probability-time graph

For citation: Polshchikov K.A., Terskiy M.O. 2026. Model for Transmitting Messages in a Narrowband Internet of Things Network of a Gas Producing Enterprise. *Economics. Information technologies*, 53(1): 216–226 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-216-226. EDN WICNHS

Введение

В настоящее время для осуществления мониторинга и управления технологическими процессами применяются различные цифровые системы передачи данных, в частности, Wi-Fi-сети для локального контроля и видеонаблюдения [Sathya, Zhang, Yavuz, 2022; Du, 2025], ячеистые (mesh) Zigbee-сети [Jha, Kaur, 2023; Cobo et al., 2023], беспроводные самоорганизующиеся сети [Agrawal et al., 2024; Al-Shamkhee et al., 2025; Alghazali et al., 2025], энергоэффективные беспроводные сети дальнего радиуса действия [Taleb et al., 2022; Almufareh et al., 2024; Yaser, Polshchikov, Polshchikov, 2023], широкополосные WiMAX-сети, обеспечивающие покрытие значительных промышленных территорий [Porhelvi, Titus, 2024; Arumun, Akowua, 2025]. Широко используются также системы мобильного интернета вещей, построенные, в частности, в соответствии со стандартом NB-IoT (NarrowBand Internet of Things) [Ugwuanyi, Hansawangkit, Irvine, 2020; Hu et al., 2022; Lo et al., 2025]. Такие системы базируются на применении сотовой связи и обеспечивают низкоскоростную передачу небольших объемов данных многочисленными оконечными устройствами в узкой полосе частот [Qasim et al., 2024; Iiyambo, Hancke, Abu-Mahfouz, 2024]. Благодаря способности передавать телеметрическую информацию на значительные расстояния с низким энергопотреблением при размещении сенсорных узлов в труднодоступных местах NB-IoT-сети активно применяются для контроля функционирования оборудования в сфере добычи углеводородного сырья [Головнин, Гаврилов, 2021; Quamar, Khan, Khalid, 2023; Guan et al., 2023].

Известны многочисленные примеры использования сетей сотового узкополосного интернета вещей на газодобывающих предприятиях [Ni, Yang, Wang, 2021; Wang, Cao, Devaraj, 2023]. Тысячи оконечных устройств с датчиками подключаются к NB-IoT-сети и через базовые станции периодически передают на сервер данные мониторинга корректности работы оборудования. Эти данные в виде сообщений поступают в центр принятия решений, в котором формируются команды для необходимых управляющих воздействий. При возникновении нештатных ситуаций оконечные устройства, датчики которых зафиксировали выход контролируемых величин за пределы стандартного режима функционирования, немедленно пытаются проинформировать об этом центр принятия решений. В предаварийных условиях возможны случаи, когда десятки устройств в течение короткого интервала времени стремятся направить по радиоканалам соответствующие сообщения. В таких ситуациях может возникать временный дефицит канальных ресурсов, приводящий к потерям или недопустимым задержкам важных сообщений. Вследствие этого возможны очень серьезные негативные последствия, если, например, не удастся вовремя перекрыть определенные задвижки, чтобы предотвратить аварию.

С учетом вышеизложенного можно утверждать, что важное значение имеет обеспечение требуемых вероятностно-временных характеристик доставки сообщений в NB-IoT-сети газодобывающего предприятия. Разработкам, способствующим достижению этой цели, в научно-технической литературе уделяется недостаточно внимания. В этой связи создание модели, предназначенной для оценивания вероятности и среднего времени доставки сообщений в сети узкополосного интернета вещей, является актуальной задачей.

Разработка модели

В соответствии с протоколом NB-IoT при передаче данных от оконечных устройств на базовую станцию используются каналы восходящих сообщений (uplink-каналы), а в обратном

направлении осуществляется передача по каналам нисходящих сообщений (downlink-каналам). В процессе доставки сообщения из оконечного устройства через базовую станцию на сервер выполняются следующие этапы:

- 1) передача преамбулы по uplink-каналу;
- 2) передача управляющей информации (Downlink Control Information, DCI) по downlink-каналу;
- 3) передача по uplink-каналу транспортного блока (Transport Block, TB), в котором содержится сообщение.

Предлагаемая модель разрабатывалась с использованием математического аппарата вероятностно-временных графов, который позволяет адекватно представить основные состояния исследуемого процесса и переходов между ними [Ясир, Польщиков, Федоров, 2023; Yaser et al., 2025]. Граф, моделирующий передачу сообщений в сети узкополосного интернета вещей газодобывающего предприятия, представлен на рис. 1. Он соответствует такому варианту настройки параметров протокола NB-IoT, когда число попыток, которые разрешено предпринять для доставки сообщения из оконечного устройства на сервер, не превышает $N = 2$.

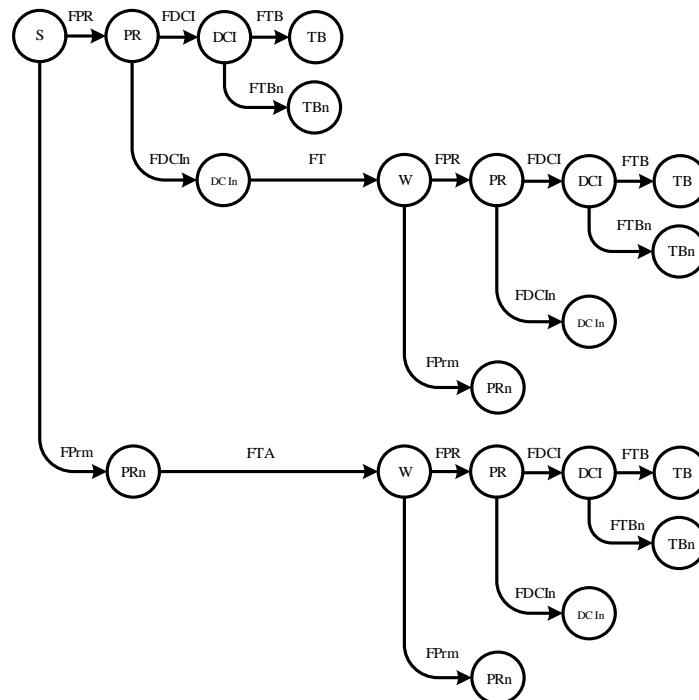


Рис. 1. Граф при $N = 2$

Fig. 1. Graph for $N = 2$

К беспроводной сети подключены многочисленные оконечные устройства, в составе которых функционируют датчики, измеряющие характеристики работы газодобывающего оборудования. Приемно-передающий модуль каждого оконечного устройства большую часть времени находится в режиме сна, в котором обеспечивается минимальное энергопотребление. Начальная вершина «S» на рис. 1 соответствует состоянию, когда оконечное устройство, датчик которого зафиксировал отклонение контролируемого параметра от нормы, «пробуждается» и предпринимает попытку связаться с базовой станцией с помощью отправки преамбулы (специальных сигналов) по uplink-каналу. При этом преамбула передается с многочисленными повторениями в течение суммарного времени TPR . Повторения (repetitions) позволяют повысить вероятность PPR корректной доставки преамбулы на базовую станцию [Manzoor, Homssi, Hourani, 2022]. В случае корректной доставки преамбулы моделируемый процесс переходит в состояние, обозначаемое вершиной «PR». Функция ребра графа, соединяющего вершину «S» с вершиной «PR», имеет вид:

$$FPR(z) = PPR \cdot z^{TPR}, \quad (1)$$

где z – безразмерный параметр функции ребра графа.

Получив преамбулу, базовая станция по downlink-каналу отправляет информационный блок DCI, в котором содержатся данные о канальных ресурсах, выделяемых оконечному устройству для дальнейшей передачи сообщения. В случае корректного приема оконечным устройством этой управляющей информации осуществляется переход из вершины «PR» к вершине «DCI». Функция ребра графа, соединяющего эти вершины, имеет вид:

$$FDCI(z) = PDCI \cdot z^{TDCI}, \quad (2)$$

где $PDCI$ – вероятность корректного приема DCI оконечным устройством; $TDCI$ – среднее время передачи DCI с учетом переповторов.

После корректного приема DCI оконечное устройство с использованием предписанных канальных ресурсов отправляет по uplink-каналу блок ТВ, в котором содержится сообщение об отклонении контролируемой величины от нормы. В случае корректной передачи этого транспортного блока моделируемый процесс переходит из состояния, обозначаемого вершиной «DCI», в состояние, обозначаемое вершиной «ТВ». Функция ребра, соответствующего такому переходу, имеет вид:

$$FTB(z) = PTB \cdot z^{TTB}, \quad (3)$$

где PTB – вероятность корректной доставки блока ТВ; TTB – время передачи блока ТВ с учетом его переповторов.

Оказавшись в терминальной вершине «ТВ», моделируемый процесс завершается успешной доставкой сообщения. Если же транспортный блок не удалось корректно передать по uplink-каналу, то осуществляется переход из состояния «DCI» в состояние «ТВn». такому переходу соответствует следующая функция ребра:

$$FTBn(z) = (1 - PTB) \cdot z^{TTB}. \quad (4)$$

Безуспешной может быть также попытка корректно доставить DCI оконечному устройству. В этом случае из вершины «PR» осуществляется переход к вершине «DCIn». Функция ребра, соответствующего такому переходу, имеет вид:

$$FDCIn(z) = (1 - PDCI) \cdot z^{TDCI}. \quad (5)$$

Из вершины «DCIn» (если она не является терминальной) осуществляется переход к вершине «W», которая моделирует состояние, когда после определенной паузы оконечное устройство начинает осуществлять следующую попытку связаться с базовой станцией. такому переходу соответствует следующая функция ребра:

$$FT(z) = z^{TAtt-TPR-TDCI}, \quad (6)$$

где $TAtt$ – интервал времени между попытками отправить преамбулу по uplink-каналу.

Следует также учитывать, что из начальной вершины «S» или из вершины «W» возможен переход к вершине «PRn». Такой переход произойдет в том случае, если преамбула не будет корректно доставлена по uplink-каналу. Функция ребра, соответствующего этому переходу, имеет вид:

$$FPRn(z) = (1 - PPR) \cdot z^{TPR}. \quad (7)$$

Из вершины «PRn» (если она не является терминальной) осуществляется переход к вершине «W». Такому переходу соответствует следующая функция ребра:

$$FTA(z) = z^{TA_{tt}-TPR} \quad (8)$$

В случаях перехода к одной из терминальных вершин «PRn», «DCIn» или «TBn» моделируемый процесс завершается тем, что все разрешенные попытки доставить сообщение оказались безуспешными.

Производящая функция, учитывающая переходы из начальной вершины «S» ко всем трем терминальным вершинам «TB» при $N = 2$, может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} F2(z) = & FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^1 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^1 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0. \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 2 показан граф, моделирующий исследуемый процесс при $N = 3$.

Производящая функция, учитывающая переходы из начальной вершины «S» ко всем семи терминальным вершинам «TB» при $N = 3$, может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} F3(z) = & FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^1 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^2 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^1 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot 2 \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^1 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^1 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^2 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0. \end{aligned} \quad (10)$$

Исследования показали, что граф, моделирующий исследуемый процесс при $N = 4$, содержит 15 терминальных вершин «TB», а производящая функция, учитывающая все переходы к ним из начальной вершины «S», имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} F4(z) = & FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^1 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^2 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^0 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^3 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^1 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot 2 \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^1 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^1 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot 3 \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^1 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^2 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^2 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot 3 \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^2 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^1 + \\ & + FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^3 \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^0. \end{aligned} \quad (11)$$

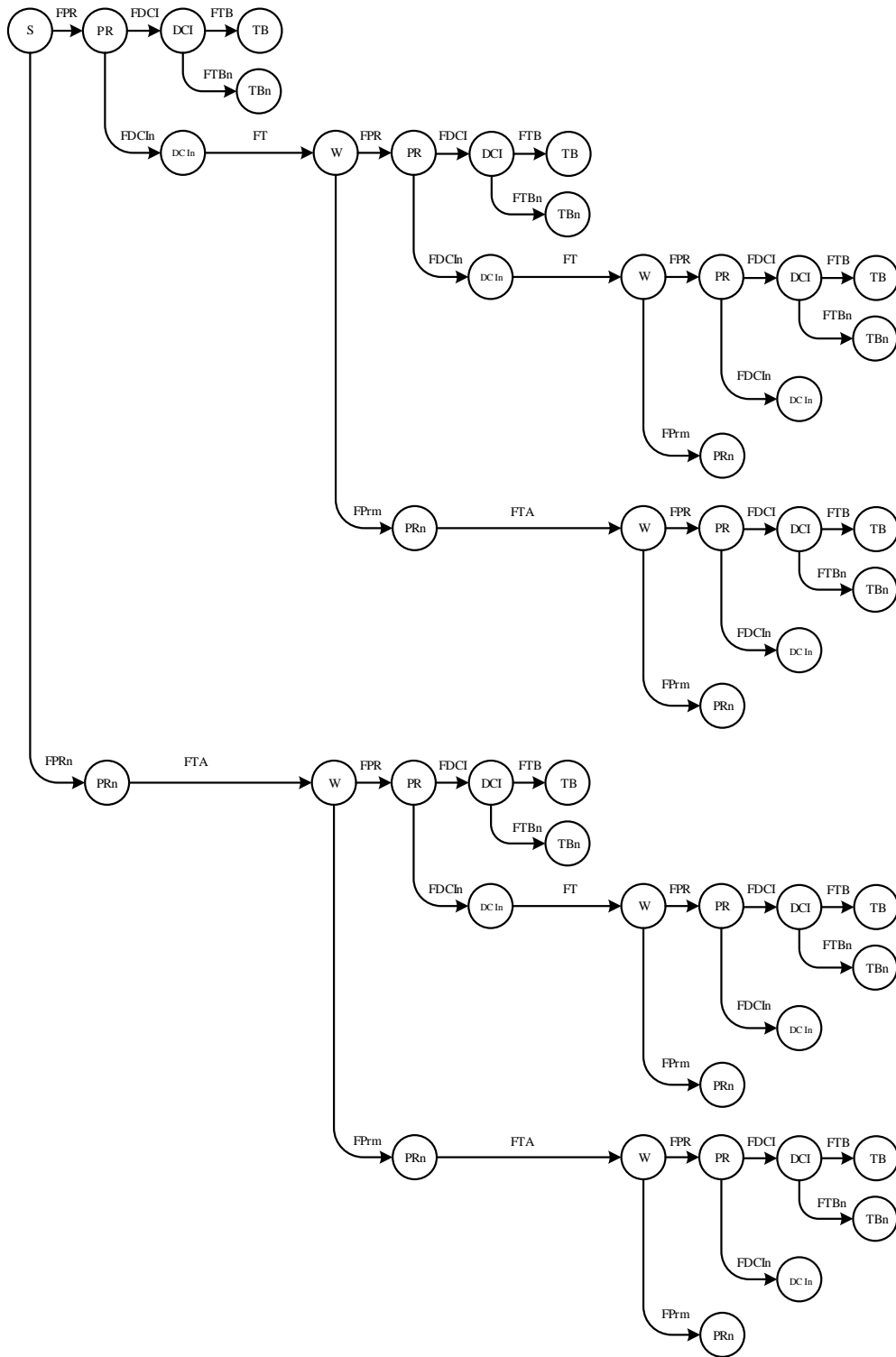


Рис. 2. Граф при $N = 3$
 Fig. 2. Graph for $N = 3$

Сопоставление выражений (9)–(11) позволяет выявить в них закономерности и представить обобщенное выражение для производящей функции при любом натуральном N :

$$F(z) = FPR(z) \cdot FDCI(z) \cdot FTB(z) \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{N-i} \left[[(i-1) + j]^{X(i,j)} \cdot [FPR(z) \cdot FDCIn(z) \cdot FT(z)]^{i-1} \cdot [FPRn(z) \cdot FTA(z)]^j \right]. \quad (12)$$

При этом функция $X(i, j)$ принимает следующие значения:

$$X(i, j) = \begin{cases} 1, & (i-1) \cdot j > 0; \\ 0, & (i-1) \cdot j \leq 0. \end{cases} \quad (13)$$

Тогда для оценивания вероятности $PDMess$ и среднего времени $TDMess$ доставки сообщений, содержащих данные о контролируемых параметрах газодобывающего оборудования, можно использовать следующие выражения:

$$PDMess = F(z) \Big|_{z=1}, \quad (14)$$

$$TDMess = \frac{d}{dz} F(z) \Big|_{z=1}. \quad (15)$$

Полученные выражения (1)–(15) позволяют оценить вероятностно-временные характеристики процесса доставки данных в сети узкополосного интернета вещей газодобывающего предприятия. С использованием этих выражений проведены вычислительные эксперименты, результаты которых представлены ниже.

Вычислительные эксперименты

Вычисления выполнялись с использованием следующих исходных данных: $TPR = 0,716$ с; $TDCI = 0,64$ с; $TTB = 2,048$ с; $TAtt = 1,28$ с; $PTB = 0,98$; $PDCI = 0,8$ и $N = 8$.

На рис. 3 и 4 показаны графики зависимости вероятности и среднего времени доставки сообщений в сети узкополосного интернета вещей от вероятности корректной доставки преамбулы на базовую станцию.

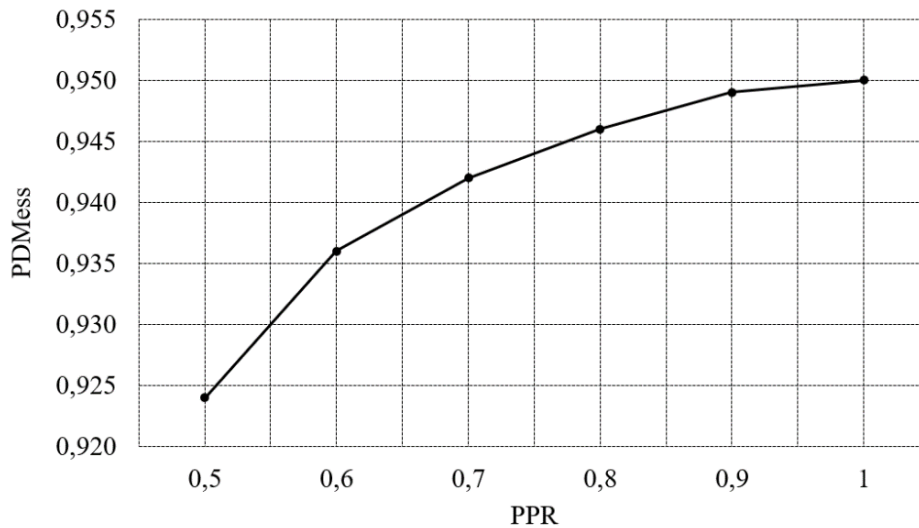


Рис. 3. График зависимости вероятности доставки сообщений от вероятности корректной доставки преамбулы на базовую станцию

Fig. 3. Graph of the dependence of the message delivery probability on the probability of preamble correct delivery to the base station

Анализ результатов вычислительных экспериментов показывает, что с помощью разработанной модели можно обосновать характеристики определенных этапов доставки сообщений в NB-IoT-сети газодобывающего предприятия. Так, например, чтобы при рассмотренных выше исходных данных добиться выполнения условия $TDMess \leq 4$ (с), необходимо обеспечить значение вероятности корректной доставки преамбулы на базовую

станцию не ниже 0,73. В качестве инструментария повышения величины PPR , как было указано выше, может быть использовано увеличение числа повторений преамбулы по uplink-каналу.

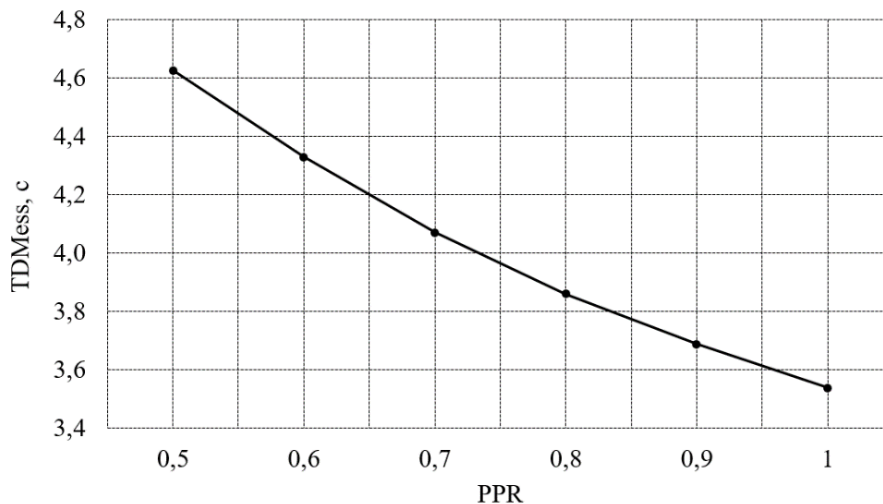


Рис. 4. График зависимости среднего времени доставки сообщений от вероятности корректной доставки преамбулы на базовую станцию

Fig. 4. Graph of the dependence of the average message delivery time on the probability of preamble correct delivery to the base station

Заключение

Таким образом, в статье представлено решение актуальной научно-технической задачи, состоящей в разработке модели передачи сообщений в беспроводной сети газодобывающего предприятия, функционирующей на основе протокола узкополосного интернета вещей NB-IoT. При создании модели использован математический аппарат вероятностно-временных графов. Научная новизна разработанной модели состоит в том, что она адекватно отражает зависимость вероятности и среднего времени доставки сообщений от характеристик передачи преамбул, управляющей информации и транспортных блоков. Проведение вычислительных экспериментов показало, что модель может быть использована для обоснования характеристик реализации основных этапов доставки сообщений. Применение представленной модели позволяет оптимизировать выбор значений параметров, используемых в процессе доставки сообщений, в которых содержатся данные о контролируемых параметрах газодобывающего оборудования.

Дальнейшие исследования по теме представленной статьи целесообразно посвятить развитию разработанной модели в части возможности оценивания на её основе значений вероятности успешных попыток выполнения различных этапов доставки сообщений в сети узкополосного интернета вещей, работающей на основе сотовой связи. Это даст возможность усовершенствовать алгоритмы управления процессом передачи телеметрических данных о состоянии отдельных участков газодобывающего оборудования в предаварийных ситуациях.

Список литературы

- Головнин И.В., Гаврилов А.В. 2021. Применение автономных датчиков при работе в стандарте NB-IoT на примере нефтедобывающего предприятия. *Инновационные технологии: теория, инструменты, практика*, 1: 142–148.
- Ясир М.Д.Я., Польшиков К.А., Федоров В.И. 2023. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением. *Экономика. Информатика*, 50(2): 439–447. DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447.
- Agrawal N.K., Kumar S., Bisht G.S., Srivastav A., Bansla V., Jain A. 2024. Development of a Novel Quality of Service Aware Video Streaming on Demand System for the Internet of Thing Enabled MANET. 2024

- International Conference on Communication, Computer Sciences and Engineering (IC3SE). Gautam Buddha Nagar: 80–85.
- Almufareh M.F., Humayun M., Ahmad Z., Khan A. 2024. An Intelligent LoRaWAN-Based IoT Device for Monitoring and Control Solutions in Smart Farming Through Anomaly Detection Integrated with Unsupervised Machine Learning. *IEEE Access*, 12: 119072–119086.
- Al-Shamkhee A.A.O., Almawlawe M.D.H., Polshchikov K.A., Likhosherstov R.V. 2025. Intelligent Control for Video Broadcasting in Flying Ad Hoc Networks: A Simulation Study. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 37: 141–149.
- Alghazali S.M.M., Aljezna W.K.M., Rasol M.N., Polshchikov K.A., Likhosherstov R.V. 2025. An algorithm for controlling the transmission of video streams in a flying ad hoc network. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 14(5): 4290.
- Arumun J., Akowua K. 2025. Wireless Sensor Technologies for Industrial Applications. *Scholars Bulletin*, 11(6): 105–110.
- Coboi A., Nguyen M.T., Pham V.N., Vu T.C., Nguyen M.D., Nguyen D.T. 2023. Zigbee Based Mobile Sensing for Wireless Sensor Networks. *Computer Networks and Communications*, 1(2): 325–342.
- Du R. 2025. An Overview on IEEE 802.11bf: WLAN Sensing. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 27(1): 184–217.
- Guan M., Qi L., Jin X., Guan S., Xia C., Xu C. 2023. Low-Power Heterogeneous Networking Method Based on NB-IoT and WSN. 2023 6th International Conference on Communication Engineering and Technology (ICCET). Xi'an: 26–29.
- Hu Z., Xue G., Chen Y., Li M., Wang M., Lv F. 2022. City-Wide NB-IoT Network Monitoring and Diagnosing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022: 3153274.
- Iiyambo L., Hancke G., Abu-Mahfouz A.M. 2024. A Survey on NB-IoT Random Access: Approaches for Uplink Radio Access Network Congestion Management. *IEEE Access*, 12: 95487–95506.
- Jha H., Kaur S. 2023. A Survey on ZigBee Technology. 2023. 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT). Delhi: 1–5.
- Lo Y.W., Tsoi M.H., Chow C.-F., Mung S.W.Y. 2025. An NB-IoT Monitoring System for Digital Mobile Radio with Industrial IoT Performance and Reliability Evaluation. *IEEE Sensors Journal*, 25(3): 5337–5348.
- Manzoor B., Homssi B.A., Al-Hourani A. 2022. IoT Coverage Enhancement Using Repetition in Energy Constrained Devices: An Analytic Approach. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 6(2): 1122–1131.
- Ni N., Yang F., Wang C. 2021. Research on Smart gas safety supervision system based on IOT technology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 651(3): 032013.
- Porchelvi N., Titus S. 2024. Compact novel circular shaped fractal quad-port MIMO antenna loaded with DGS and stub for 6G, WiMax and weather monitoring. *Optical and Quantum Electronics*, 56: 1048.
- Qasim N.H., Salman A.J., Salman H.M., Abdel-Rahman A.A., Kondakova A. 2024. Evaluating NB-IoT within LTE Networks for Enhanced IoT Connectivity. 35th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). Tampere: 552–559.
- Quamar M.M., Khan K.A., Khalid M. 2023. Narrowband-IoT Based Integrated Framework for Monitoring Pipeline Condition in Oil and Gas Industry. 2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD). Rome: 1–6.
- Sathya V., Zhang L., Yavuz M. 2022. A Comparative Measurement Study of Commercial WLAN and 5G LAN Systems. IEEE 96th Vehicular Technology Conference (VTC2022-Fall). London: 1–7.
- Taleb H., Nasser A., Andrieux G., Charara N., Cruz E.M. 2022. Energy Consumption Improvement of a Healthcare Monitoring System: Application to LoRaWAN. *IEEE Sensors Journal*, 22(7): 7288–7299.
- Ugwuanyi S., Hansawangkit J., Irvine J. 2020. NB-IoT Testbed for Industrial Internet of Things. 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Montreal: 1–6.
- Wang Y., Cao Q., Devaraj M. 2023. Using IoT to promote the construction of natural gas industry ecosystem. Proceedings SPIE 12599, Second International Conference on Digital Society and Intelligent Systems. Chendgu: 125992K.
- Yaser M.Ja., Abdullateef D., Polshchikov K.A., Balakshin M.S. 2025. Estimating the Message Delivery Probability Without Duplication in an Industrial Internet of Things Network System. *Journal of Advances in Information Technology*, 16(6):830–837.
- Yaser M.Ja., Polshchikov K.A., Polshchikov I.K. 2023. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 11(4): 168–174.

References

- Golovnin I.V., Gavrilov A.V. 2021. Primenenie avtonomnykh datchikov pri rabote v standarte NB-IoT na primere neftedobyvayushchego predpriyatiya [The use of autonomous sensors in the NB-IoT standard: an example of an oil production company]. *Innovacionnye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika*, 1: 142–148.
- Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I. 2023. Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network. *Economics. Information technologies*, 50(2): 439–447 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447.
- Agrawal N.K., Kumar S., Bisht G.S., Srivastav A., Bansla V., Jain A. 2024. Development of a Novel Quality of Service Aware Video Streaming on Demand System for the Internet of Thing Enabled MANET. 2024 International Conference on Communication, Computer Sciences and Engineering (IC3SE). Gautam Buddha Nagar: 80–85.
- Almufareh M.F., Humayun M., Ahmad Z., Khan A. 2024. An Intelligent LoRaWAN-Based IoT Device for Monitoring and Control Solutions in Smart Farming Through Anomaly Detection Integrated with Unsupervised Machine Learning. *IEEE Access*, 12: 119072–119086.
- Al-Shamkhee A.A.O., Alkawlawe M.D.H., Polshchikov K.A., Likhosherstov R.V. 2025. Intelligent Control for Video Broadcasting in Flying Ad Hoc Networks: A Simulation Study. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*, 37: 141–149.
- Alghazali S.M.M., Aljezna W.K.M., Rasol M.N., Polshchikov K.A., Likhosherstov R.V. 2025. An algorithm for controlling the transmission of video streams in a flying ad hoc network. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 14(5): 4290.
- Arumun J., Akowua K. 2025. Wireless Sensor Technologies for Industrial Applications. *Scholars Bulletin*, 11(6): 105–110.
- Coboi A., Nguyen M.T., Pham V.N., Vu T.C., Nguyen M.D., Nguyen D.T. 2023. Zigbee Based Mobile Sensing for Wireless Sensor Networks. *Computer Networks and Communications*, 1(2): 325–342.
- Du R. 2025. An Overview on IEEE 802.11bf: WLAN Sensing. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 27(1): 184–217.
- Guan M., Qi L., Jin X., Guan S., Xia C., Xu C. 2023. Low-Power Heterogeneous Networking Method Based on NB-IoT and WSN. 2023 6th International Conference on Communication Engineering and Technology (ICCET). Xi'an: 26–29.
- Hu Z., Xue G., Chen Y., Li M., Wang M., Lv F. 2022. City-Wide NB-IoT Network Monitoring and Diagnosing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022: 3153274.
- Iiyambo L., Hancke G., Abu-Mahfouz A.M. 2024. A Survey on NB-IoT Random Access: Approaches for Uplink Radio Access Network Congestion Management. *IEEE Access*, 12: 95487–95506.
- Jha H., Kaur S. 2023. A Survey on ZigBee Technology. 2023. 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT). Delhi: 1–5.
- Lo Y.W., Tsoi M.H., Chow C.-F., Mung S.W.Y. 2025. An NB-IoT Monitoring System for Digital Mobile Radio with Industrial IoT Performance and Reliability Evaluation. *IEEE Sensors Journal*, 25(3): 5337–5348.
- Manzoor B., Homssi B.A., Al-Hourani A. 2022. IoT Coverage Enhancement Using Repetition in Energy Constrained Devices: An Analytic Approach. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 6(2): 1122–1131.
- Ni N., Yang F., Wang C. 2021. Research on Smart gas safety supervision system based on IOT technology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 651(3): 032013.
- Porchelvi N., Titus S. 2024. Compact novel circular shaped fractal quad-port MIMO antenna loaded with DGS and stub for 6G, WiMax and weather monitoring. *Optical and Quantum Electronics*, 56: 1048.
- Qasim N.H., Salman A.J., Salman H.M., Abdel-Rahman A.A., Kondakova A. 2024. Evaluating NB-IoT within LTE Networks for Enhanced IoT Connectivity. 35th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). Tampere: 552–559.
- Quamar M.M., Khan K.A., Khalid M. 2023. Narrowband-IoT Based Integrated Framework for Monitoring Pipeline Condition in Oil and Gas Industry. 2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD). Rome: 1–6.
- Sathya V., Zhang L., Yavuz M. 2022. A Comparative Measurement Study of Commercial WLAN and 5G LAN Systems. IEEE 96th Vehicular Technology Conference (VTC2022-Fall). London: 1–7.

- Taleb H., Nasser A., Andrieux G., Charara N., Cruz E.M. 2022. Energy Consumption Improvement of a Healthcare Monitoring System: Application to LoRaWAN. *IEEE Sensors Journal*, 22(7): 7288–7299.
- Ugwuanyi S., Hansawangkit J., Irvine J. 2020. NB-IoT Testbed for Industrial Internet of Things. 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Montreal: 1–6.
- Wang Y., Cao Q., Devaraj M. 2023. Using IoT to promote the construction of natural gas industry ecosystem. Proceedings SPIE 12599, Second International Conference on Digital Society and Intelligent Systems. Chendgu: 125992K.
- Yaser M.Ja., Abdullateef D., Polshchikov K.A., Balakshin M.S. 2025. Estimating the Message Delivery Probability Without Duplication in an Industrial Internet of Things Network System. *Journal of Advances in Information Technology*, 16(6):830–837.
- Yaser M.Ja., Polshchikov K.A., Polshchikov I.K. 2023. Algorithm for ensuring the minimum power consumption of the end node in the LoRaWAN network. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 11(4): 168–174.

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 16.01.2026

Received January 16, 2026

Поступила после рецензирования 27.02.2026

Revised February 27, 2026

Принята к публикации 02.03.2026

Accepted March 02, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Польщиков Константин Александрович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, АО «Корпорация «Фазотрон – Научно-исследовательский институт радиостроения», г. Москва, Россия

Konstantin A. Polshchikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, JSC Phazotron Corporation – Research Institute of Radio Engineering, Moscow, Russia

Терский Максим Олегович, аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Maxim O. Terskiy, postgraduate student, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.932.2
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-227-238
EDN ZQCOMS

О методе скрытного субполосного внедрения контрольной информации в цифровые изображения

¹Чурсин Д.С., ²Жиляков Е.Г., ²Черноморец А.А.

¹ООО «ГК ЦПС»

Россия, 308008, г. Белгород, ул. Восточная, д. 71

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет

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

dima.chursin@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке стеганографического метода встраивания данных в цифровые изображения. В статье предложен метод скрытного субполосного внедрения контрольной информации, основанный на субполосном анализе изображений в рамках преобразования Фурье. Субполосный анализ изображений позволяет проанализировать свойства изображений с позиций разбиения области определения ДПФ на подобласти с целью определения подобластей, в которые предлагается осуществлять скрытное внедрение данных. В разработанном методе скрытное субполосное внедрение контрольной информации осуществляется на основе модификаций проекций строк изображений на собственные векторы субполосной матрицы, соответствующей неинформативному частотному интервалу. Результаты проведенных вычислительных экспериментов продемонстрировали работоспособность разработанного метода скрытного субполосного внедрения. Показано, что разработанный метод обеспечивает скрытность внедренных данных и устойчивость извлечения данных в условиях внешних разрушающих воздействий в виде аддитивного шума.

Ключевые слова: скрытное внедрение, цифровые изображения, субполосная матрица, проекции векторов, искажение стегаконтейнера, устойчивость к внешним разрушающим воздействиям

Для цитирования: Чурсин Д.С., Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. 2026. О методе скрытного субполосного внедрения контрольной информации в цифровые изображения. *Экономика. Информатика*, 53(1): 227–238. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-227-238. EDN ZQCOMS

On the Method of Hidden Subband Embedding of Control Information in Digital Images

¹Dmitry S. Chursin, ²Evgeniy G. Zhilyakov, ²Andrey A. Chernomorets

¹LLC "CPS Group of Companies"

71 Vostochnaya St., Belgorod 308008, Russia

²Belgorod State National Research University

85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia

dima.chursin@bk.ru

Abstract. The article is devoted to the development of a steganographic method for embedding data in digital images. The authors propose a method for hidden subband embedding of control information based on subband image analysis within the Fourier transform. Subband image analysis makes it possible to analyze the properties of images from the perspective of dividing the DFT definition area into subdomains in order to determine the subdomains into which it is proposed to implement hidden data embedding. In the developed method, the hidden subband embedding of control information is carried out on the basis of modifications of image line projections onto the eigenvectors of the subband matrix corresponding to an uninformative frequency interval. The embedded

© Чурсин Д.С., Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., 2026

information, consisting of a set of bit sequences, is presented as a bipolar sequence of characters immediately before the embedding. To test the operability of the developed method, computational experiments were conducted on data embedding in digital images in order to evaluate the secrecy of data embedding and the robustness of embedded data extraction to additive uniformly distributed noise. The results of the conducted computational experiments demonstrated the operability of the developed method of hidden subband data embedding. It is shown that the proposed method ensures the secrecy of data embedding and the stability of data extraction in the conditions of external destructive influences in the form of additive noise.

Keywords: hidden embedding, digital images, subband matrix, vector projections, stegocontainer distortion, resistance to external destructive influences

For citation: Chursin D.S., Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. 2026. On the Method of Hidden Subband Embedding of Control Information in Digital Images. *Economics. Information technologies*, 53(1): 227–238 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-227-238. EDN ZQCOMS

Введение

Значительную долю передаваемых в современных телекоммуникационных системах данных составляют цифровые изображения, что определяет актуальность разработки методов защиты авторских прав на изображения и контроля целостности визуальной информации, для чего широко применяют стеганографические подходы, которые обеспечивают скрытное встраивание контрольной информации непосредственно в изображения [Грибунов и др., 2006]. Основным требованием к стеганографическим алгоритмам является сочетание высокой скрытности внедрения с устойчивостью к разрушающим воздействиям [Шелухин, Канаев, 2024].

Современные стеганографические методы классифицируются следующим образом [Koch, Zhao, 1995; Barni, Bartolini, 1998]:

- пространственные методы, основанные на модификации пикселей изображений (например, метод LSB) или замене избыточной информации. Данные методы характеризуются большим объемом скрываемых данных, но низкой устойчивостью к разрушающим воздействиям;
- частотные методы, использующие коэффициенты ортогональных преобразований (дискретное косинус-преобразование (ДКП), дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), дискретное преобразование Фурье (ДПФ)). Одним из широко распространенных частотных стеганографических методов является метод относительной замены коэффициентов ДКП (метод Кох и Жао);
- методы расширения спектра, реализующие аддитивное встраивание псевдослучайных последовательностей, масштабированных значениями внедряемой информации.

Частотные методы и методы расширения спектра превосходят пространственные методы по устойчивости, однако они разработаны с учетом общих статистических свойств изображений и недостаточно учитывают индивидуальные частотные характеристики конкретного изображения [Грибунов и др., 2006; Шелухин, Канаев, 2024; Конахович, 2006]. Это ограничивает степень скрытности при внедрении значительных объемов информации.

В настоящей работе предложен метод скрытного субполосного внедрения, основанный на субполосном анализе и синтезе изображений в рамках преобразования Фурье [Жиляков, 2015, 2017]. Субполосный анализ изображений позволяет проанализировать свойства изображений с позиций разбиения области определения ДПФ на подобласти с целью определения подобластей, в которые предлагается осуществлять скрытное внедрение данных.

Математические основы субполосного анализа

Представим исходное изображение, в которое будет скрытно внедряться контрольная информация, в виде матрицы $F = \{f_{i,k}\}$, $i = 1, 2, \dots, M$, $k = 1, 2, \dots, N$, элементы которой с индексами (i, k) соответствуют значениям пикселей изображения, размерности $M \times N$ пикселей.

Рассмотрим отдельную строку изображения как вектор данных $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, длиной N элементов.

Для проведения субполосного анализа, основанного на разбиении области определения преобразования Фурье на частотные интервалы (субполосы) [Жиляков, 2015], представим область $[-\pi; \pi)$ в виде объединения непересекающихся частотных интервалов следующего вида:

$$\Omega_r = [-v_{2,r}; -v_{1,r}) \cup [v_{2,r}; v_{1,r}), \quad 0 \leq v_{1,r} \leq v_{2,r} \leq \pi, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (1)$$

где R – количество субполос, $v_{1,r}$ и $v_{2,r}$ – границы r -ой субполосы;

$$\bigcup_{r=1}^R \Omega_r = [-\pi; \pi).$$

Энергию вектора \vec{x} можно представить как сумму частей его энергии, попадающих в непересекающиеся частотные интервалы Ω_r , $r = 1, 2, \dots, R$ [Жиляков, 2015]:

$$\|\vec{x}\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |X(u)|^2 du / (2\pi) = \sum_{r=0}^R P_r(\vec{x}). \quad (2)$$

Под $P_r(\vec{x})$ понимается часть энергии в частотном интервале Ω_r [Жиляков, 2015]:

$$P_r(\vec{x}) = \int_{u \in \Omega_r} |X(u)|^2 du / (2\pi). \quad (3)$$

Согласно [Жиляков, 2015], часть энергии $P_r(\vec{x})$ в заданном интервале Ω_r вида (1) может быть представлена в следующем виде:

$$P_r(\vec{x}) = \vec{x} \cdot A_r \cdot \vec{x}^T, \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (4)$$

где A_r – субполосная матрица, соответствующая частотному интервалу Ω_r , элементы которой определяются как:

$$\alpha_{i,k}^r = \begin{cases} \frac{\sin(v_{2,r}(i-k)) - \sin(v_{1,r}(i-k))}{\pi(i-k)}, & \text{если } i \neq k, \\ \frac{v_{2,r} - v_{1,r}}{\pi}, & \text{если } i = k, \end{cases} \quad (5)$$

Применение субполосных матриц вида (5) позволяет [Жиляков, 2015] осуществлять субполосный анализ векторов без перехода в частотную область.

Отношения вида

$$W_r(\vec{x}) = \frac{P_r(\vec{x})}{\|\vec{x}\|^2}, \quad r = 1, 2, \dots, R \quad (6)$$

являются долями энергии в соответствующих субполосах.

В работах [Жиляков, Черноморец, Голощапова, 2011; Лихолоб, 2018] выявлено, что для задач скрытого внедрения целесообразно использовать так называемые неинформативные частотные интервалы Ω_{r_0} , $r_0 \in R_0$, которым соответствует малая доля энергии вектора \vec{x} и для которых выполняется неравенство:

$$W_r(\vec{x}) < h, \quad r \in R_0, \quad (7)$$

где R_0 – множество индексов неинформативных частотных интервалов ($R_0 \in \{1, 2, \dots, R\}$);

h – заданное пороговое значение доли энергии.

Пороговое значение доли энергии предлагается определять на основе оценивания доли энергии среднечастотных интервалов.

В работе [Жиляков, 2017] показано, что субполосная матрица A_r вида (5) является вещественной, симметрической, неотрицательно определенной матрицей. Субполосная

матрица A_r обладает полным набором ортонормированных собственных векторов $\{\vec{q}_1^r, \vec{q}_2^r, \dots, \vec{q}_N^r\}$ [Жилияков, Черноморец, Болгова, 2014].

Субполосная матрица A_r может быть представлена в следующем виде [Гантмахер, 1967]:

$$A_r = Q_r \cdot L_r \cdot Q_r^T, \quad (8)$$

где $L_r = \text{diag}(\lambda_1^r, \lambda_2^r, \dots, \lambda_N^r)$ – диагональная матрица неотрицательных собственных чисел, упорядоченных по убыванию: $\lambda_1^r \geq \lambda_2^r \geq \dots \geq \lambda_N^r \geq 0$; $Q_r = \{\vec{q}_1^r, \vec{q}_2^r, \dots, \vec{q}_N^r\}$ – матрица соответствующих собственных векторов.

Поскольку собственные векторы субполосной матрицы A_r взаимно ортогональны:

$$Q_r \cdot Q_r^T = Q_r^T \cdot Q_r = \text{diag}(1, \dots, 1), \quad (9)$$

то они образует полный базис в линейном пространстве вещественных векторов, соответствующей размерности [Бабаринов, Жилияков, 2024], что позволяет представить вектор \vec{x} в следующем виде:

$$\vec{x} = \sum_{k=1}^N a_k^r \cdot (\vec{q}_k^r)^T, \quad (10)$$

где a_k^r является проекцией вектора \vec{x} на соответствующий собственный вектор \vec{q}_k^r , $k = 1, 2, \dots, N$:

$$a_k^r = (\vec{x}, (\vec{q}_k^r)^T) = \sum_{i=1}^N x_i \cdot q_{i,k}^r, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (3) и учитывая ортонормированность (9), получаем:

$$P_r(\vec{x})^2 = \sum_{k=1}^N \lambda_k^r \cdot (a_k^r)^2. \quad (12)$$

Таким образом, часть энергии отрезка \vec{x} выражается взвешенной суммой квадратов проекций вида (11).

При разбиении области определения на субполосы Ω_r , $r = 1, 2, \dots, R$, ширина Δ_Ω субполос выбирается следующим образом [Жилияков, 2017]:

$$\Delta_\Omega = \frac{(J_1 + 4) \cdot \pi}{N}, \quad J_1 = 1, 2, \dots, N - 4, \quad (13)$$

что при $J_1 = 2$ обеспечивает наличие среди множества собственных чисел субполосной матрицы A_r , соответствующей субполосе данной ширины, не менее двух собственных чисел, близких 1 ($\lambda_1^r \approx \lambda_2^r \approx 1$).

Количество субполос R определяется соотношением:

$$R = \left\lceil \frac{\pi}{\Delta_\Omega} \right\rceil. \quad (14)$$

В предложенном далее методе скрытного субполосного внедрения контрольной информации в изображения предлагается применять собственные векторы, соответствующие собственным числам, близким к единице.

Метод скрытного субполосного внедрения контрольной информации в строки изображения

Метод скрытного субполосного внедрения контрольной информации в строки изображения, размерности $M \times N$ пикселей, заключается в следующем.

Отрезок m -ой строки изображения представляем как вектор данных $\vec{x}_m = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $m = 1, 2, \dots, M$, длиной N элементов.

Ширина каждой субполосы Ω_r вычисляется на основании неравенства (13) при $J_1=2$, количество субполос R – на основании соотношения (14).

Для каждой субполосы Ω_r строится субполосная матрица A_r вида (5), на основе которой на основании соотношения (4) вычисляется часть энергии $P_r(\vec{x}_m)$.

Доли энергии $W_r(\vec{x}_m)$, $r = 1, 2, \dots, R$, вектора \vec{x}_m определяются на основании соотношения (6).

Неинформативные частотные интервалы выделяются на основании некоторого заданного порогового значения доли энергии h согласно условию (7). В качестве субполосы внедрения Ω_r , в которую осуществляется внедрение, выбирается первая субполоса из упорядоченного по убыванию на основании значений долей энергии множества неинформативных субполос.

Для выбранной субполосы Ω_r на основе матрицы A_r вычисляются наибольшие собственные числа λ_1^r и λ_2^r , а также соответствующие им собственные векторы \vec{q}_1^r и \vec{q}_2^r .

Внедряемая информация, состоящая из набора последовательности битов $b_m \in \{0,1\}$, $m = 1, 2, \dots, M$, представляется в виде биполярной последовательности символов:

$$z_m = 2b_m - 1 \in \{-1, +1\}, m = 1, 2, \dots, M. \quad (15)$$

Для внедрения одного символа z_m в вектор \vec{x}_m вычисляются проекции данного вектора на собственные векторы \vec{q}_1^r и \vec{q}_2^r :

$$a_1 = \vec{x}_m \cdot (\vec{q}_1^r)^T, a_2 = \vec{x}_m \cdot (\vec{q}_2^r)^T. \quad (16)$$

Из полученных в соотношении (16) проекций выбирается проекция с максимальным абсолютным значением и соответствующий ей собственный вектор:

$$a_{\max} = \begin{cases} a_1, & \text{если } |a_1| > |a_2|; \\ a_2, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (17)$$

$$\vec{q}^r = \begin{cases} \vec{q}_1^r, & \text{если } |a_1| > |a_2|; \\ \vec{q}_2^r, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (18)$$

Выбранная проекция (17) модифицируется в соответствии с символом z_m :

$$\hat{a} = |a_{\max}| \cdot z_m \cdot c, \quad (19)$$

где $c > 1$ – коэффициент изменения проекции.

Синтез модифицированного вектора \vec{x}_m выполняется следующим образом:

$$\tilde{\vec{x}}_m = \vec{x}_m + (\hat{a} - a_{\max}) \cdot (\vec{q}^r)^T. \quad (20)$$

Для сглаживания изображения (стегоконтейнера), полученного после внедрения контрольной информации, целесообразно применить гауссово размытие, например, с помощью встроенной функции MATLAB:

$$\tilde{\vec{x}}_m = \text{imgaussfilt}(\tilde{\vec{x}}_m, \sigma), m = 1, 2, \dots, M, \quad (21)$$

где σ_m – стандартное отклонение гауссовского распределения, величина которого для анализируемой строки выбирается из диапазона $[0,03; 0,5]$.

Процесс извлечения внедренных данных заключается.

Для вектора $\vec{x}_m = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $m = 1, 2, \dots, M$, соответствующего m -ой строке стегоконтейнера, выполняется вычисление проекций \tilde{a}_1 и \tilde{a}_2 на собственные векторы \vec{q}_1^r и \vec{q}_2^r на основе соотношения (16), вычисляется проекция \tilde{a}_{\max} и соответствующий собственный вектор \vec{q}^r на основании соотношений (17) и (18).

Извлечение внедренного символа из вектора \vec{x}_m осуществляется по следующему правилу:

$$\tilde{z}_m = \text{sign}(\tilde{a}_{\max} \cdot \vec{q}^r). \quad (22)$$

Извлеченная биполярная последовательность символов преобразуется в последовательность битов:

$$\tilde{b}_m = \frac{\tilde{z}_m + 1}{2}, \quad m = 1, 2, \dots, M. \quad (23)$$

Вычислительные эксперименты

Для проверки работоспособности разработанного метода были проведены вычислительные эксперименты с целью оценивания скрытности внедрения данных и устойчивости внедренных данных к аддитивному равномерно распределенному шуму.

Исходное изображение, в которое будет скрытно внедряться контрольная информация, представим в виде матрицы $F = \{f_{i,k}\}$, $i = 1, 2, \dots, M$, $k = 1, 2, \dots, N$. Стегоконтейнер (изображение с внедренной контрольной информацией) представим в виде матрицы $\tilde{F} = \{\tilde{f}_{i,k}\}$, $i = 1, 2, \dots, M$, $k = 1, 2, \dots, N$.

Для оценивания искажения стегоконтейнера относительно исходного изображения в результате внедрения контрольной информации использованы следующие меры [Жиляков, Черноморец, Болгова, 2014; Старовойтов, 2018]:

– среднеквадратическое отклонение (СКО):

$$CKO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (\tilde{f}_{i,k} - f_{i,k})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (f_{i,k})^2}}; \quad (24)$$

– индекс структурного сходства (SSIM):

$$SSIM = \frac{(2\mu_F \mu_{\tilde{F}} + \beta_1)(2\sigma_{F,\tilde{F}} + \beta_2)}{(\mu_F^2 + \mu_{\tilde{F}}^2 + \beta_1)(\sigma_F^2 + \sigma_{\tilde{F}}^2 + \beta_2)}, \quad (25)$$

где:

μ_F и $\mu_{\tilde{F}}$ – средние значения пикселей исходного изображения и стегоконтейнера;

σ_F^2 и $\sigma_{\tilde{F}}^2$ – дисперсии исходного изображения и стегоконтейнера;

$\sigma_{F,\tilde{F}}$ – ковариация исходного изображения и стегоконтейнера;

β_1 и β_2 – малые положительные константы.

В качестве контрольной информации для внедрения была использована фраза «Авторское право принадлежит Сидорову Ивану», преобразованная в биполярную последовательность z_m , размерностью 336 символов, на основании соотношения (15).

При проведении вычислительных экспериментов были использованы различные изображения, содержащие изображения гор, городских кварталов и лесов, размерностью 512×512 пикселей, представленные на рис. 1.



Рис. 1. Исходные изображения:
а – лес; б – городские кварталы; в – горы
Fig. 1. The original images:
а – forest; б – city blocks; в – mountains

На рис. 2 приведены результаты внедрения контрольной информации в исходные изображения на основании разработанного метода.

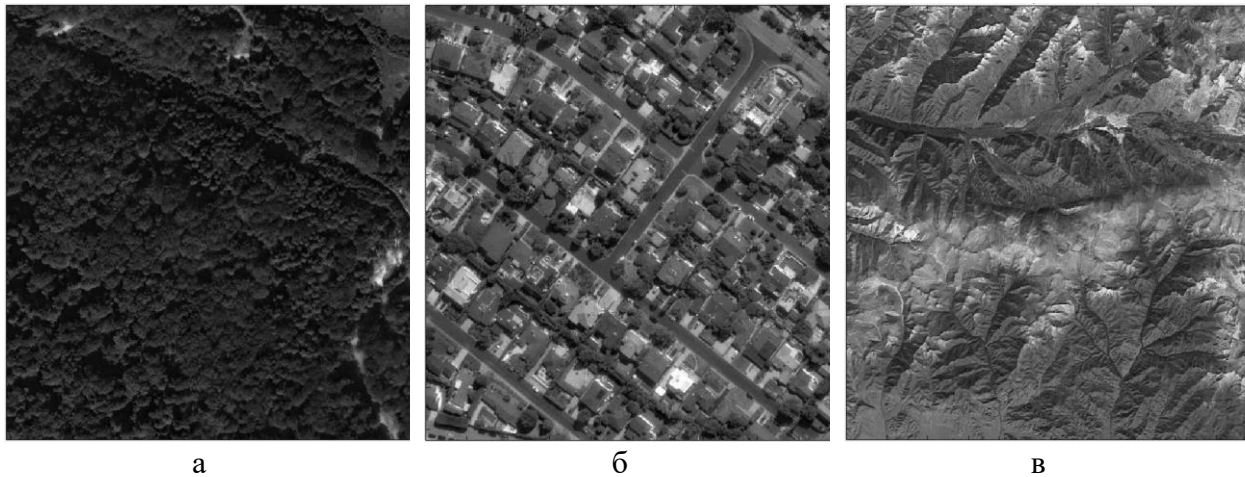


Рис. 2. Изображения (стегоконтейнеры), в которые выполнено внедрение контрольной информации в результате применения разработанного метода:
а – лес; б – городские кварталы; в – горы
Fig. 2. Images (stegocontainers) in which control information has been implemented as a result of the developed method:
а – forest; б – urban areas; в – mountains

Изображения, приведенные на рис. 2, иллюстрируют наличие в стегоконтейнере незначительных искажений отдельных строк после внедрения контрольной информации на основании разработанного метода.

При внедрении контрольной информации на основании разработанного метода в качестве вектора $\vec{x}_m = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $m = 1, 2, \dots, M$, в который осуществляется скрытное внедрение, рассматривается m -ая строка исходного изображения, длиной $N = 512$.

На основании соотношения (13) вычислена ширина каждой субполосы при $J_1 = 2$:

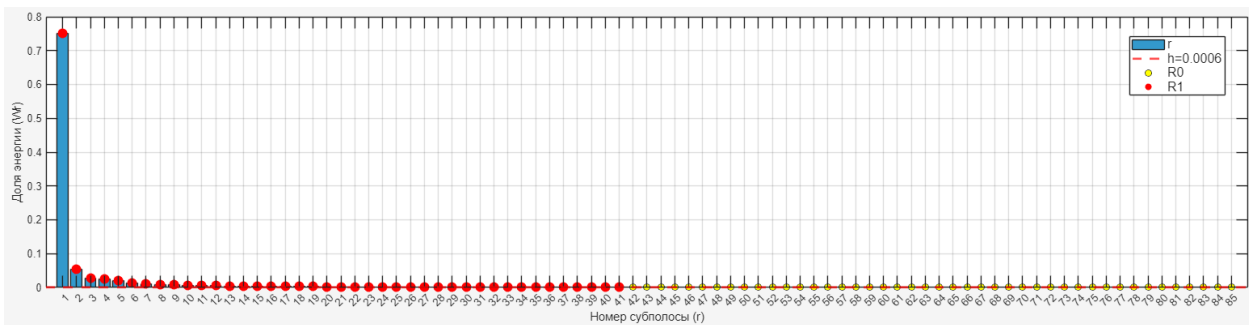
$$\Delta_\Omega = \frac{(J_1 + 4) \cdot \pi}{N} = \frac{(2 + 4) \cdot \pi}{512} = \frac{6\pi}{512} = 0,037.$$

Количество субполос R на основе соотношения (14) имеет следующее значение:

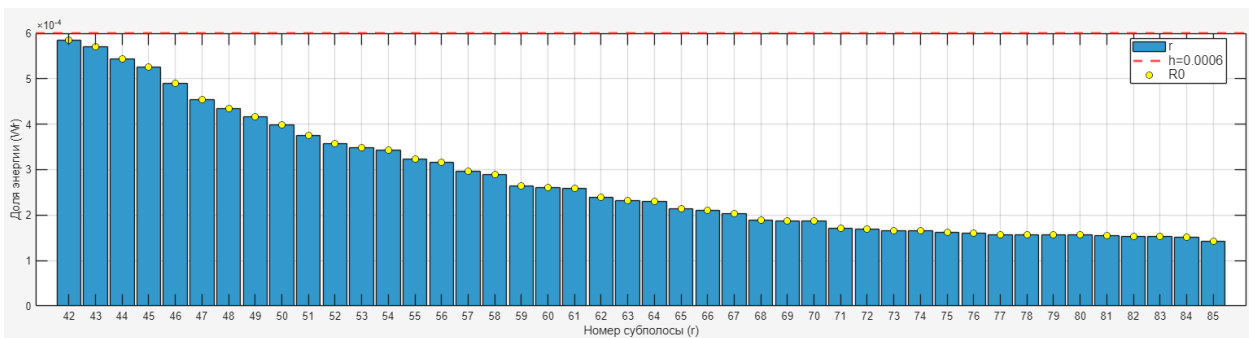
$$R = \left\lceil \frac{\pi}{\Delta_\Omega} \right\rceil = \left\lceil \frac{\pi}{0,037} \right\rceil = 85.$$

В качестве частотного интервала, в который осуществлялось скрытное внедрение, был выбран среднечастотный интервал, например, с порядковым номером 42.

В качестве примера, на рис. 3а приведено распределение по субполосам долей энергии $W_r(\vec{x}_m)$ вектора, соответствующего 1-ой строке изображения, приведенного на рис. 1а. Интервалу с порядковым номером 42 соответствует доля энергии данной строки равная 0,0006, что может быть выбрано в качестве порогового значения h для выделения неинформативных субполос. На рис. 3б приведено распределение по неинформативным субполосам долей энергии анализируемого вектора.



а



б

Рис. 3. Распределение долей энергии $W_r(\vec{x}_m)$:

а – по всем субполосам; б – по неинформативным субполосам

Fig. 3. Distribution of energy fractions $W_r(\vec{x}_m)$:

a – over all sub-bands; б – over uninformative sub-bands

Для выбранной субполосы с номером 42 вычислены субполосная матрица A_r (5), наибольшие собственные числа λ_1^r и λ_2^r данной субполосной матрицы и соответствующие им собственные векторы \vec{q}_1^r и \vec{q}_2^r .

В табл. 1 приведены значения первых 5 вычисленных наибольших собственных чисел, иллюстрирующих справедливость утверждения, что при $J_1 = 2$ обеспечивается наличие среди множества собственных чисел субполосной матрицы A_r не менее двух собственных чисел, близких к 1 ($\lambda_1^r \approx \lambda_2^r \approx 1$).

Таблица 1
Table 1

Наибольшие собственные числа субполосной матрицы A_r
The largest eigenvalues of the subband matrix A_r

λ_1^r	λ_2^r	λ_3^r	λ_4^r	λ_5^r
0.999	0.999	0.969	0.969	0.733

В табл. 2 приведены оценки искажения стегоконтейнера относительно исходного изображения в результате внедрения контрольной информации в изображения, приведенные на рис. 1.

Таблица 2
Table 2

Оценки искажения стегоконтейнера относительно исходного изображения
Estimates of the distortion of the stegocontainer relative to the original image

Изображения	c	Оценки искажений	
		СКО	SSIM
Лес (рисунок 1а)	2	0.023	0.997
Городские кварталы (рисунок 1б)		0.017	0.994
Горы (рисунок 1в)		0.016	0.994

Данные, приведенные в табл. 2, иллюстрируют, что искажения стегоконтейнера относительно исходного изображения в результате скрытного внедрения контрольной информации на основании разработанного метода являются незначительными.

Для оценивания устойчивости разработанного метода к внешним разрушающим воздействиям проведены вычислительные эксперименты по анализу искажений извлеченных данных из стегоконтейнера, на который был наложен аддитивный равномерно распределенный шум.

Аддитивный равномерно распределенный шум имеет следующий вид:

$$\rho_{i,k} = \mu \cdot \eta_{i,k} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (\tilde{f}_{i,k})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (\eta_{i,k})^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (26)$$

где $\eta_{i,k}$, $i = 1, 2, \dots, M$, $k = 1, 2, \dots, N$, – набор псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения, μ – величина заданного отношения шум-сигнал.

Стегоконтейнер с аддитивным шумом представим в следующем виде:

$$\tilde{f}_{i,k}^* = \tilde{f}_{i,k} + \rho_{i,k}, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (27)$$

Оценка искажения извлеченных данных вычислялась следующим образом:

$$V = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\gamma_m), \quad (28)$$

где

$$\gamma_m = \begin{cases} 1, & \text{если } b_m \neq \tilde{b}_m; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Результаты оценивания искажения извлеченных из стегоконтейнера данных при аддитивном шуме с различной величиной отношения шум-сигнал представлены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Оценка V искажения извлеченных из стегоконтейнера данных при аддитивном шуме
 Estimation of the V distortion of the data extracted from the stegocontainer with additive noise

Изображения	c	μ									
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Оценка искажения извлеченных данных											
Лес (рисунок 1а)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
Городские кварталы (рисунок 1б)		0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01
Горы (рисунок 1в)		0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01

Данные, приведенные в табл. 3, демонстрируют, что применение разработанного метода при $c = 2$ позволяет безошибочно извлекать контрольную информацию из стегоконтейнера при наличии аддитивного шума с величиной до $\mu \leq 0,07$.

Заключение

Таким образом, на основе субполосного анализа разработан метод скрытного субполосного внедрения контрольной информации в строки цифровых изображений.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов продемонстрировали работоспособность разработанного метода скрытного субполосного внедрения. Было показано, что разработанный метод позволяет скрытно внедрять данные при незначительном искажении стегоконтейнера относительно исходного изображения и демонстрирует устойчивость извлечения данных в условиях внешних разрушающих воздействий в виде аддитивного шума.

Список литературы

Гантмахер Ф.Р. 1967. Теория матриц. М.: Наука, 574.
 Грибунов В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. 2009. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 272.
 Жилияков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности. *Автоматика и телемеханика*, 4: 51–66.
 Жилияков Е.Г. 2017. Построение трендов отрезков временных рядов. *Автоматика и телемеханика*, 3: 80–95.
 Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Голощапова В.А. 2011. Реализация алгоритма внедрения изображений на основе использования неинформационных частотных интервалов изображения-контейнера. *Вопросы радиоэлектроники*, 4(1): 96–104.
 Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. 2014. О разложении изображений по собственным векторам субполосных матриц. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*, 15(186): 185–189.

- Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. 2014. Исследование устойчивости стеганографии в изображениях. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*, 1(172): 168–174.
- Жиляков Е.Г., Бабаринов С.Л., Прохоренко Е.И., Чурсин Д.С. 2025. Основы обработки сигналов в рамках субполосных представлений. *Экономика. Информатика*, 52(1): 145–155.
- Конахович Г.Ф. 2006. Компьютерная стеганография. Теория и практика. М: МК–Пресс, 288.
- Лихолоб П.Г. 2018. Разработка и исследование субполосного метода и алгоритмов скрытного внедрения контрольной информации в отрезки речевых сигналов: специальность 05.13.17 «Теоретические основы информатики»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 179.
- Старовойтов В.В. 2018. Уточнение индекса SSIM структурного сходства изображений. *Информатика*, 15(3): 41–55.
- Шелухин О.И., Канаев С.Д. 2024. Стеганография. Алгоритмы и программная реализация. М.: Горячая линия. Телеком, 592.
- Barni M., Bartolini F., Cappellini V., Piva Al., Rigacci F. 1998. A M.A.P. identification criterion for DCT-based watermarking. *Proceedings of the 9th European Signal Processing Conference*.
- Koh E. Zhao J. 1998. Towards reliable and hidden image copyright labeling. *IEEE Seminar on Nonlinear Signals and Processing*, 123–132.

References

- Gantmacher F.R. 1967. Theory of matrices. Moscow: Nauka, 574.
- Gribunov V.G., Okov I.N., Turintsev I.V. 2009. Tsifrovaya steganografiya [Digital steganography]. Moscow: Solon-Press, 272.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimalnyye subpolosnyye metody analiza i sinteza signalov konechnoy dlitelnosti [Optimal subband methods for the analysis and synthesis of finite-duration signals]. *Automation and Telemekhanics*, 4: 51–66.
- Zhilyakov E.G. 2017. Postroyeniye trendov otrezkov vremennykh ryadov [Building trends of time series segments]. *Automation and Telemekhanics*, 3: 80–95.
- Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Goloshchapova V.A. 2011. Realizatsiya algoritma vnedreniya izobrazheniy na osnove ispolzovaniya neinformatsionnykh chastotnykh intervalov izobrazheniya-konteynera [Implementation of an image embedding algorithm based on the use of non-informational frequency intervals of a container image]. *Radio Electronics Issues*, 4(1): 96–104.
- Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. 2014. O razlozhenii izobrazheniy po sobstvennym vektoram subpolosnykh matrits [On the decomposition of images into eigenvectors of subband matrices]. *Scientific bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Computer Science*, 15(186): 185–189.
- Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Gakhova N.N. 2014. Issledovaniye ustoychivosti steganografii v izobrazheniyakh [Investigation of the stability of steganography in images]. *Scientific bulletin of Belgorod State University. Series: Economics. Computer Science*, 1(172): 168–174.
- Zhilyakov E.G., Babarinov S.L., Prokhorenko E.I., Chursin D.S. 2025. Osnovy obrabotki signalov v ramkakh subpolosnykh predstavleniy [Fundamentals of signal processing in the framework of subband representations]. *Economy. Computer Science*, 52(1): 145–155.
- Konakhovich G.F. 2006. Kompyuternaya steganografiya [Computer steganography]. Theory and practice. Moscow: МК–Press, 288.
- Likholob P.G. 2018. Razrabotka i issledovaniye subpolosnogo metoda i algoritmov skrytnogo vnedreniya kontrolnoy informatsii v otrezki rechevykh signalov [Development and research of a subband method and algorithms for covertly embedding control information into segments of speech signals]: specialty 05.13.17 "Theoretical foundations of Computer Science": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 179.
- Starovoitov V.V. 2018. Utochneniye indeksa SSIM strukturnogo skhodstva izobrazheniy [Refinement of the SSIM index of structural similarity of images]. *Computer Science*, 15(3): 41–55.
- Shelukhin O.I., Kanaev S.D. 2024. Steganografiya. Algoritmy i programmaya realizatsiya [Steganography. Algorithms and software implementation]. Moscow: Hotline. Telecom, 592.
- Barni M., Bartolini F., Cappellini V., Piva Al., Rigacci F. 1998. A.M.A.P. identification criterion for DCT-based watermarking. *Proceedings of the 9th European Signal Processing Conference*.
- Koh E. Zhao J. 1998. Towards reliable and hidden image copyright labeling. *IEEE Seminar on Nonlinear Signals and Processing*, 123–132.

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 19.12.2025

Поступила после рецензирования 15.01.2026

Принята к публикации 20.01.2026

Received December 19, 2025

Revised January 15, 2026

Accepted January 20, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чурсин Дмитрий Сергеевич, специалист по внедрению программных продуктов ООО «ГК ЦПС», Белгород, Россия

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry S. Chursin, Software Product Implementation Specialist, LLC "CPS Group of Companies", Belgorod, Russia

Evgeniy G. Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Andrey A. Chernomorets, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia