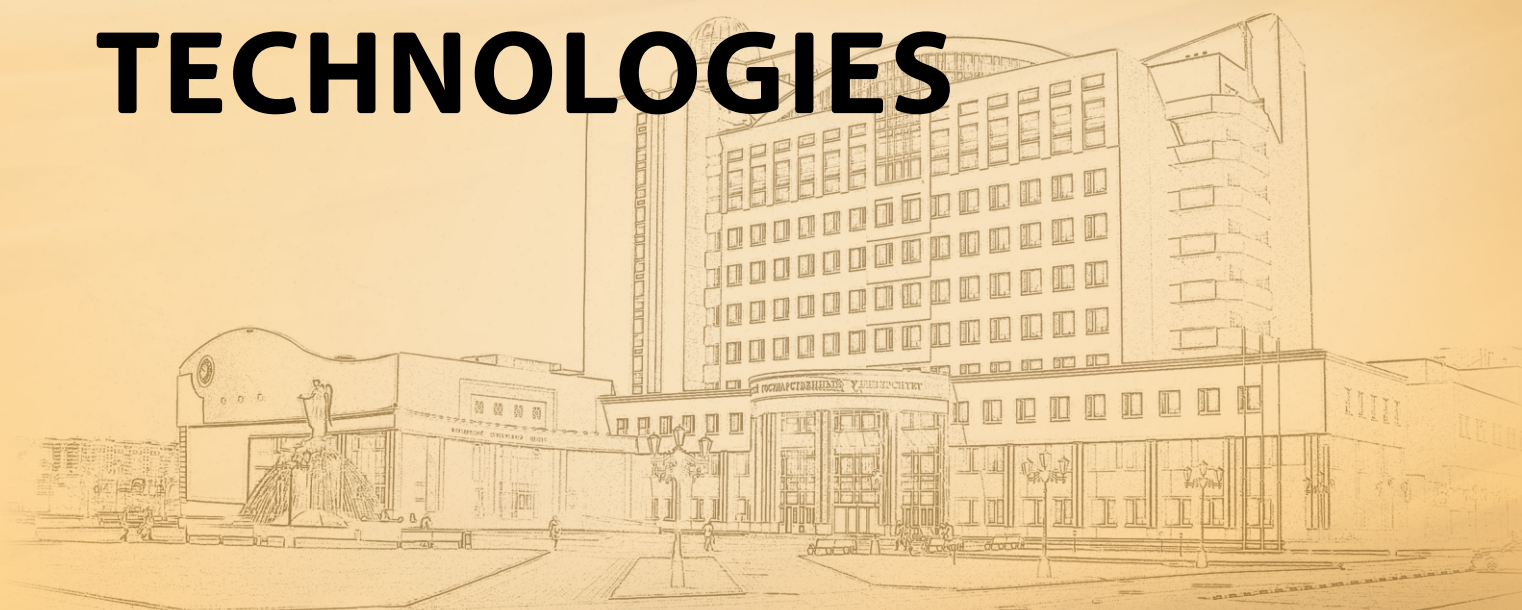


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2025. Том 52, № 1



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2025. Том 52, № 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. Желяков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Заместитель главного редактора

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

Ответственные секретари

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

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

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

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

Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Мишенина. Корректур, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Мишенина. Редактор англоязычных текстов Е.С. Данилова. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 25,0. Дата выхода 30.03.2025. Оригинал-макет подготовлен центром полиграфического производства НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 5 **Блануца В.И.**
Дискриминация отдельных российских регионов в социально-экономической кластеризации на основе нейросети Кохонена
- 19 **Чефранов С.Г., Гашева З.Д., Амосов А.С.**
Ценологический анализ региональных экономических систем (на примере сферы туризма)

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 31 **Прядко С.Н.**
Модель функционирования наукоемкого локального рынка

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 41 **Ефремкова Т.И., Нагайцев И.А., Петрова Т.В.**
Сравнительный анализ технологий снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах
- 56 **Кучерявенко С.А.**
Цифровой маркетинг и контроль за эффективностью онлайн-платформы университета
- 66 **Лабозин А.О.**
Методология проведения PEST-анализа для малых промышленных предприятий
- 78 **Ломовцева О.А., Тимошкин С.П.**
Лидерство в менеджменте образовательных организаций: конструктивная проекция зарубежной практики
- 86 **Оборин М.С., Орлов С.П.**
Тенденции восстановительного роста международного туризма
- 95 **Чигова Е.Н., Медведев И.П., Балабанова Г.Г.**
Институциональные модели промышленной политики: подходы к типологии

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 110 **Бабанская А.С., Ермольева Д.Р., Ефименко Н.А., Акулова С.А.**
Сравнительный анализ и возможности ИИ-технологий для предотвращения мошенничества в финансовом секторе
- 125 **Науменко И.А., Быканова Н.И.**
Технологическая трансформация банковской индустрии России

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 137 **Басов О.О., Носков Д.А.**
Построение геометрической модели изделия на основе мультимодальной обработки бумажной конструкторской документации
- 145 **Бабаринов С.Л., Жиялков Е.Г., Прохоренко Е.И., Чурсин Д.С.**
Основы обработки сигналов в рамках субполосных представлений

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 156 **Головко Я.Ю., Ильинская Е.В.**
Использование алгоритмов машинного обучения для оценки степени повреждений объектов жилой инфраструктуры
- 168 **Зимовец О.А., Малкуш Е.В., Маторин С.И., Жихарев А.Г.**
Сравнение нормативной системы UML с нормативной системой УФО-подхода
- 181 **Резниченко О.С.**
Алгоритмы и инструменты обработки данных о публикациях научных организаций, размещенных на портале eLIBRARY.RU
- 194 **Волкова О.Н., Домбровский Д.А., Иванцова Е.А.**
Трансформация профессий в эпоху цифровизации

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 203 **Белов С.П., Орехов А.О.**
Повышение эффективности использования метеорного канала связи на основе предварительной оценки его характеристик
- 215 **Лазарев Д.А., Фуников А.Д., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Фефелов О.С.**
Об алгоритмах сегментации цифровых изображений автомобильных дорог
- 227 **Карви Дж.К.Дж., Польщиков К.А., Маматов М.Е., Голдобин Д.А.**
Модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2025. Volume 52, 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 establishment of higher education "Belgorod National Research University".

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

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

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

Deputy editor-in-chief

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

Editorial assistants:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

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

Publication frequency: 4 times per year

Commissioning Editor Y.V. 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 30.03.2025. Dummy layout has been prepared by Belgorod National Research University Centre of Polygraphic Production. Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

- 5 **Blanutsa V.I.**
Discrimination of Individual Russian Regions in Socio-Economic Clustering Based on the Kohonen Neural Network
- 19 **Chefranov S.G., Gasheva Z.Dz., Amosov A.S.**
Cenological Analysis of Regional Economic Systems (Using the Example of the Tourism Sector)

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 31 **Pryadko S.N.**
Model of Functioning of Knowledge-Intensive Local Market

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 41 **Efremkova T.I., Nagaytsev I.A., Petrova T.V.**
Comparative Analysis of Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Coal Mines
- 56 **Kucheryavenko S.A.**
Digital Marketing and Monitoring the Effectiveness of the University's Online Platform
- 66 **Labozin A.O.**
The Methodology of PEST Analysis for Small Industrial Enterprises
- 78 **Lomovtseva O.A., Timoshkin S.P.**
Leadership in the Management of Educational Organizations: a Constructive Projection of Foreign Practice
- 86 **Oborin M.S., Orlov S.P.**
Trends in the Recovery Growth of International Tourism
- 95 **Chizhova E.N., Medvedev I.P., Balabanova G.G.**
Institutional Models of Industrial Policy: Approaches to Typology

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

- 110 **Babanskaya A.S., Ermoleva D.R., Efimenko N.A., Akulova S.A.**
Benchmarking and Opportunities of AI Technologies for Fraud Prevention in the Financial Sector
- 125 **Naumenko I.A., Bykanova N.I.**
Technological Transformation of the Russian Banking Industry

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 137 **Basov O.O., Noskov D.A.**
Construction of a Geometric Model of a Product Based on Multimodal Processing of Paper Design Documentation
- 145 **Babarinov S.L., Zhilyakov E.G., Prokhorenko E.I., Chursin D.S.**
Fundamentals of Signal Processing within the Framework of Subband Representations

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 156 **Golovko Ya.Yu., Ilyinskaya E.V.**
Use of Machine Learning Algorithms for Assessing the Degree of Damage to Residential Infrastructure
- 168 **Zimovets O.A., Malkush E.V., Matorin S.I., Zhikharev A.G.**
Comparison of the UML Normative System with the Normative System of UFO-approach
- 181 **Reznichenko O.S.**
Algorithms and Tools for Processing Data on Scientific Organizations' Articles Uploaded to eLIBRARY.RU.
- 194 **Volkova O.N., Dombrovsky D.A., Ivantsova E.A.**
Transformation of Professions in the Context of Digitalization

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 203 **Belov S.P., Orekhov A.O.**
Improving the Efficiency of Meteor Burst Communication Channel Utilization Based on Initial Evaluation of its Properties
- 215 **Lazarev D.A., Funikov A.D., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Fefelov O.S.**
On Algorithms for Segmentation of Digital Images of Motor Roads
- 227 **Karwi J.Q.J., Polshchykov K.A., Mamatov M.E., Goldobin D.A.**
Message Delivery Model for Animal Grazing Control Using the Internet of Things and Unmanned Aerial Vehicle

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.1+004.8(470+571)

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-5-18

Дискриминация отдельных российских регионов в социально-экономической кластеризации на основе нейросети Кохонена

Блануца В.И.

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН
Россия, 664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1
blanutsa@list.ru

Аннотация. Статья посвящена обнаружению алгоритмической предвзятости в результатах социально-экономической кластеризации российских регионов на основе нейросети Кохонена, опубликованных в научных журналах. Идентифицированы потенциально предвзятые операции в самоорганизующихся картах. Выявлено 65 статей по нейросетевой и 604 статьи по традиционной социально-экономической кластеризации регионов. Предложено разделить массивы статей по нейросетевой и традиционной кластеризации на три корпуса публикаций, посвященных группировке всех российских регионов, регионов одного федерального округа и выборке регионов. Основные выводы сделаны для корпуса всех регионов. В результате сопоставления предвзятых операций с отечественным опытом социально-экономической кластеризации регионов обнаружены три вида пространственной алгоритмической предвзятости в самоорганизующихся картах, которые с некоторой условностью названы региональной сегрегацией (исключение региона из кластеризации), кластерным сжатием (ограничение числа кластеров) и диапазоным смещением (трансформация размера кластеров). Показано, что по сравнению с традиционной кластеризацией применение нейросетевого алгоритма ведет к образованию кластеров с как можно большим количеством регионов. Приведены перечни потенциально дискриминируемых регионов для двух существующих кластерных решений. Представлены пять направлений дальнейших исследований. Практическая значимость связана с обнаружением недостатков существующей методики для построения алгоритма справедливой нейросетевой кластеризации российских регионов по социально-экономическим данным.

Ключевые слова: региональное социально-экономическое развитие, кластерный анализ, самоорганизующиеся карты Кохонена, пространственная алгоритмическая предвзятость, дискриминируемый регион, справедливая кластеризация, Российская Федерация

Благодарности: исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ регистрации темы АААА-А21-121012190018-2).

Для цитирования: Блануца В.И. 2025. Дискриминация отдельных российских регионов в социально-экономической кластеризации на основе нейросети Кохонена. *Экономика. Информатика*, 52(1): 5–18. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-5-18

Discrimination of Individual Russian Regions in Socio-Economic Clustering Based on the Kohonen Neural Network

Viktor I. Blanutsa

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, Irkutsk Region, 664033, Russia
blanutsa@list.ru

Abstract. The article is devoted to the detection of algorithmic bias in the results of Russian regions' socio-economic clustering based on the Kohonen neural network which have been published in scientific journals. The study reveals potentially biased operations in self-organizing maps. Sixty-five articles on neural network and 604 articles on traditional socio-economic clustering of regions have been found. The author proposes that the arrays of articles on neural network and traditional clustering should be divided into three bodies of publications: those devoted to all Russian regions, the ones focused on regions of the same federal district, and the papers describing a sample of regions. The main conclusions are drawn for the corpus of articles that is focused on all regions. As a result of comparing biased operations with the domestic experience of socio-economic clustering of regions, three types of spatial algorithmic bias were found in self-organizing maps. These may be conditionally described as regional segregation (exclusion of a region from clustering), cluster compression (limitation of the number of clusters) and range bias (transformation of cluster size). It is shown that, compared with traditional clustering, the use of a neural network algorithm leads to the formation of clusters with as many regions as possible. The author provides lists of potentially discriminated regions for two existing cluster solutions and presents five areas of further research. The practical significance is associated with the discovery of shortcomings in the existing methodology for constructing an algorithm for fair neural network clustering of Russian regions based on socio-economic data.

Keywords: regional socio-economic development, cluster analysis, Kohonen self-organizing maps, spatial algorithmic bias, discriminated region, fair clustering, Russian Federation

Acknowledgements: the study was carried out at the expense of the state task (topic registration No. AAAA21-121012190018-2).

For citation: Blanutsa V.I. 2025. Discrimination of Individual Russian Regions in Socio-Economic Clustering Based on the Kohonen Neural Network. *Economics. Information technologies*, 52(1): 5–18 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-5-18

Введение

Социально-экономическое развитие регионов является сложным, многомерным процессом, измерение и прогнозирование которого опирается на множество показателей. Для обработки исходных данных применялись различные алгоритмы многомерного статистического анализа, в том числе кластерный анализ [Soares, Coutinho, 2010; Lypez-Villuendas, del Campo, 2023]. Среди способов обнаружения кластеров можно отметить две основные группы алгоритмов – традиционную [Mirkin, 1996; Giordani et al., 2020] и нейросетевую [Ros et al., 2024; Wei et al., 2024] кластеризацию. Во второй группе наиболее часто [Yin, 2008] использовались самоорганизующиеся карты (Self-Organizing Maps, SOM), предложенные финским исследователем Теуво Кохоненом [Kohonen, 1982; 2001]. Эта искусственная нейронная сеть позволяла идентифицировать группы регионов с разным уровнем социально-экономического развития [Kourtiti et al., 2012; Carboni, Russu, 2015].

Для кластеризации на основе SOM разработано программное обеспечение (Deductor SOMap Analyzer, STATISTICA Automated Neural Networks, Viscovery SOMine и др.), позволяющее свести к минимуму субъективные мнения исследователей. Тем не менее была обнаружена «алгоритмическая предвзятость», когда «алгоритм неравномерно распределяет выгоды и бремя между различными индивидами или группами» [Kordzadeh, Ghasemaghaei, 2022, p. 394]. При машинном обучении зафиксирована дискриминация граждан по языку,

национальности, расе, полу, возрасту, образованию и благосостоянию [Jackson, 2021; Van Giffen et al., 2022]. Недавно обнаружена «пространственная алгоритмическая предвзятость» [Блануца, 2024] как несправедливость по отношению к отдельным территориям (регионам), возникающая в результате использования алгоритма (исследовался традиционный кластерный анализ без оценки предвзятости SOM).

Целью нашего исследования стало обнаружение алгоритмической предвзятости в результатах социально-экономической кластеризации российских регионов на основе нейросети Кохонена, опубликованных в научных журналах. Для достижения этой цели потребовалось решить следующие задачи: идентифицировать потенциально предвзятые операции в алгоритме SOM; сформировать массив статей по социально-экономической кластеризации субъектов (регионов) Российской Федерации на основе SOM; сравнить его с массивом статей по традиционной кластеризации российских регионов, представленном в [Блануца, 2024], и выделить основные элементы SOM, предвзято относящиеся к кластеризации регионов; выявить реально и потенциально дискриминируемые регионы России.

Объекты и методы исследования

Алгоритм SOM и его модификации довольно подробно описаны в специальной литературе [Kohonen, 2001; Agarwal, Skupin, 2008; Yin, 2008]. Рассматриваемая нейросеть Кохонена основана на «обучении без учителя» (существуют также сети векторного квантования, обучаемые с учителем), но не является полностью автономной системой искусственного интеллекта, так как исследователи (пользователи SOM) вводят исходные данные и настраивают некоторые параметры алгоритма. В наиболее общем виде алгоритм включает следующие действия (операции): формирование матрицы данных (множество регионов, каждый из которых имеет определенные значения заданных показателей); нормализация исходных данных (как правило, перевод всех значений в интервал от 0 до 1); введение меры сходства (расстояния) между регионами (обычно используется евклидово расстояние) и преобразование нормализованных данных в матрицу расстояний; определение числа кластеров (задается исследователем или рассчитывается по специальным критериям); разделение входных данных на обучающее и тестовое множество (в некоторых программах по умолчанию это, соответственно, 95 % и 5 %); задание количества и формы – прямоугольная или шестиугольная – ячеек карты, функции соседства, условия остановки обучения (количество эпох или достижение установленных пределов) и других параметров SOM; запуск процесса обучения и кластеризации; визуализация полученных результатов в виде двумерной карты распределения регионов по кластерам.

Архитектура нейросети представлена двумя слоями узлов (нейронов) – входным и выходным – и связями между нейронами обоих слоев. Обучение заключается в постепенном (итерационном) изменении весов связей между входными и выходными узлами с учетом соседей. На выходе получаются скопления регионов вокруг центров заданных кластеров. При этом регионы, близко расположенные друг к другу во входном многомерном признаковом пространстве, также близко расположены в выходном двумерном пространстве. Концепция формирования кластеров с помощью SOM совпадает (без учета особенностей машинного обучения) с концепцией образования кластеров посредством метода k-средних в традиционном кластерном анализе [Khasanah, 2016], что позволяет проецировать предвзятости последнего алгоритма на SOM. Анализ публикаций по справедливому кластерному анализу [Chabra et al., 2021; Gupta et al., 2023], алгоритмам машинного обучения [Van Giffen et al., 2022; Nishant et al., 2024], нейросетевой [Ros et al., 2024; Wei et al., 2024] и традиционной [Lorimer et al., 2017] кластеризации позволил установить, что алгоритмическая предвзятость проявляется при формировании матрицы исходных данных, обработке данных и интерпретации полученных результатов.

Если рассматривать только обработку исходных данных с помощью SOM, то предвзятость может возникнуть в результате неправильной настройки параметров

алгоритма, отсутствия понимания латентной структуры входного многомерного пространства и проявления внутренних (встроенных) дефектов нейросетевой кластеризации как «черного ящика» (известен только вход и выход). Среди настраиваемых параметров SOM наибольшее влияние на конечный результат оказывают количество кластеров, мера многомерного расстояния между объектами (регионами) и радиус обучения [Agarwal, Skupin, 2008; Yin, 2008]. Латентная структура может принимать выпуклые (гиперсферы, эллипсоиды, кубоиды и др.) и невыпуклые (кольцеобразные, крестообразные и др.) формы [Lorimer et al., 2017; Hadi, 2022]. Алгоритм SOM предназначен для работы со сферическими формами [Schmidt et al., 2011], а при обработке исходных данных с другими формами получится предвзятая кластеризация [Lorimer et al., 2017]. Наибольшую сложность представляет выявление предвзятости в алгоритмах типа «черного ящика», для чего необходимо сравнение с аналогичными результатами работы понятного алгоритма («белого ящика»).

Для поиска статей с результатами социально-экономической кластеризации российских регионов использовался авторский алгоритм обнаружения необходимых публикаций в библиографических базах данных с помощью итерационного расширения семантического поля в процессе машинного обучения [Блануца, 2020]. По SOM-обусловленной социально-экономической кластеризации российских регионов выявлено 65 статей, опубликованных в 2003–2023 гг. Несмотря на значительные колебания ежегодного количества статей (рис. 1, А), наблюдался рост научного интереса к применению SOM для выделения групп регионов со сходными значениями социально-экономических показателей (в 2014–2023 гг. опубликовано в 5,5 раза больше статей, чем в 2003–2013 гг.). Для сравнения использовался ранее выявленный массив статей по традиционному кластерному анализу регионов России [Блануца, 2024], в который вошли 604 статьи (2004–2023 гг.). Их распределение имело более выраженный восходящий тренд (рис. 1, Б) с меньшим различием между десятилетиями (в 2014–2023 гг. опубликовано в 3,9 раза больше статей, чем в 2004–2013 гг.). Поскольку в некоторых публикациях приводилось по несколько результатов кластеризации (по разным годам, наборам показателей и другим основаниям), то будем учитывать не только статьи, но и результаты – 130 в нейросетевом и 781 в традиционном массиве.

Статьи первого массива опубликованы в 40 журналах. Больше всего публикаций размещено в журналах «Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки» (7 статей), «Развитие и безопасность» (6) и «Экономический анализ: теория и практика» (5). Авторами статей стали 75 исследователей из 27 организаций, среди которых выделялись Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (24,51 статьи; если были авторы из разных организаций, то статья как единица счета делилась на количество соавторов) и Институт экономики УрО РАН (8,70). Организации находились в 18 городах, а больше всего статей опубликовали авторы из Нижнего Новгорода (24,84), Екатеринбурга (9,20) и Уфы (6,40). По второму массиву зафиксирована другая статистика [22]. Наличие в анализируемых публикациях разного количества регионов обусловило необходимость разделения массивов на три корпуса статей – RU (все регионы России), FD (регионы одного федерального округа, иногда двух-трех округов) и SR (выборка регионов). Получилось следующее распределение: в массиве с применением SOM доминировал корпус RU (57 статей и 122 результата) над FD (6 и 6) и SR (2 и 2), а в массиве традиционного кластерного анализа [Блануца, 2024] не было столь выраженного преобладания RU (414 и 515) над FD (144 и 187) и SR (46 и 79). В анализируемых публикациях с помощью нейросетевых и традиционных методов кластеризации предпринимались попытки определить уровни социально-экономического развития, инновационной деятельности, конкурентоспособности, экономической безопасности и социального неравенства для групп отечественных регионов.

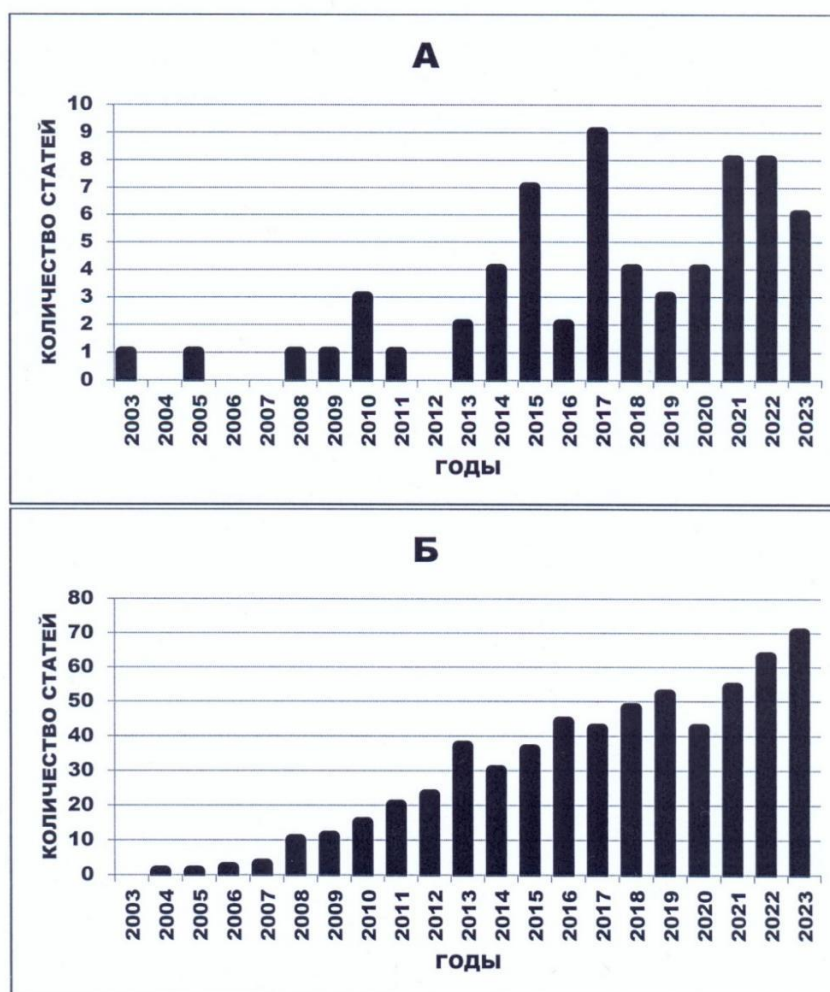


Рис. 1. Изменение ежегодного количества статей по социально-экономической кластеризации регионов России с использованием самоорганизующихся карт Кохонена (А) и традиционного кластерного анализа (Б)

Fig. 1. Change in the annual number of articles on socio-economic clustering of Russian regions using Kohonen self-organizing maps (A) and traditional cluster analysis (B)

Источник: часть «А» составлена по публикациям в научных журналах в 2003–2023 гг., а часть «Б» заимствована из [Блануца, 2024].

Результаты и их обсуждение

При социально-экономической кластеризации регионов посредством алгоритма SOM не должна возникать дискриминация граждан Российской Федерации, проживающих в тех или иных субъектах. Однако обобщение выявленных статей из первого массива и сравнение со вторым массивом показало, что существует, как минимум, три направления пространственной алгоритмической предвзятости, с некоторой условностью названные «региональной сегрегацией», «кластерным сжатием» и «диапазонным смещением». Скорее всего, таких направлений гораздо больше, но для начала изучения SOM-обусловленной дискриминации отечественных регионов ограничимся первичным анализом только трех направлений.

Региональная сегрегация. Принудительное разделение регионов и проживающих в них граждан, произошедшее при реализации алгоритма SOM, на две группы – включенные в кластеризацию и исключенные из нее – может привести к репутационным, финансовым и иным потерям для исключенных регионов. В такой ситуации возможен эффект «сенсорной пустыни» [Robinson, Franklin, 2020], когда отсутствие сведений по некоторой территории не позволяет обосновать выделение средств на развитие данной территории. Это весьма чувствительно для дотационных регионов, но и для регионов-лидеров невключение в

кластеризацию может негативно повлиять на имидж. Также следует отметить, что изъятие любого региона нарушает целостность изучаемого экономического пространства – страны или федерального округа – и приводит к кластеризации, не соответствующей действительности. Обобщение выявленных статей позволило установить четыре причины удаления региона – «второстепенность» субъекта (относится к трем автономным округам, входящим в Тюменскую и Архангельскую области), отсутствие данных, аномальные значения имеющихся данных («выбросы») и неправильные априорные представления исследователей о кластерах (например, устранение кластеров, содержащих один регион).

В корпусе RU обнаружено 20 дискриминируемых регионов¹, среди которых более одного раза исключались из нейросетевых кластерных решений Ненецкий автономный округ (19 статей из 57 публикаций данного корпуса), Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (15 статей), Ямало-Ненецкий автономный округ (15), Республика Крым (9), г. Севастополь (9), Чеченская Республика (6), Республика Ингушетия (2) и Республика Тыва (2). По одному разу удалялись Республика Адыгея, Республика Алтай, Архангельская область, Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Калмыкия, Карачаево-Черкесская Республика, г. Москва, г. Санкт-Петербург, Республика Северная Осетия – Алания, Тюменская область и Чукотский автономный округ. В корпусе FD зафиксировано удаление двух регионов – г. Москва (3 статьи из 3 публикаций по Центральному федеральному округу) и Московская область (1). По корпусу SR не было исключенных регионов.

Кластерное сжатие. Определение количества кластеров является одной из наиболее проблемных операций SOM [Khanchouch et al., 2015]. Для нее в кластерном анализе нет единственно правильного решения. Если проводить анализ в программной среде R, то существует 30 индексов для определения числа кластеров [Charrad et al., 2014]. Однако в большинстве публикаций по нейросетевой кластеризации российских регионов отсутствует обоснование числа кластеров. Создается впечатление, что эта операция выполняется исследователями исходя из каких-то априорных субъективных суждений. В качестве иллюстрации приведем несколько примеров обоснования числа кластеров: «Нейросетевое моделирование показало, что регионы РФ распределились по четырем кластерам» [Перова, Папко, 2019, с. 25]; «В результате расчетов было выявлено 4 группы регионов (кластеров)» [Игнатьева и др., 2015, с. 100]; «В ходе вычислительных экспериментов все субъекты РФ в зависимости от уровня (очень низкий, низкий, ниже среднего, средний и выше среднего) социально-экономического развития были разбиты на 5 кластеров» [Гагарина и др., 2017, с. 1087]; «Исходя из результатов ретроспективной оценки инновационного развития российских регионов, было принято решение разбить их на пять кластеров» [Чередниченко и др., 2020, с. 332]; «Количество кластеров равно 5. Число кластеров задается исследователем исходя из целей анализа» [Трифонов и др., 2021, с. 41].

В статьях корпуса RU по нейросетевой кластеризации выделялось от 3 до 9 кластеров, но больше всего (73,8 %) было 4- и 5-кластерных решений (рис. 2, А). В публикациях соответствующего корпуса по традиционной кластеризации удельный вес результатов с четырьмя и пятью кластерами был значительно ниже (42,1 %), а разброс количества кластеров (от 2 до 18) – существенно больше (рис. 2, Б). Поскольку оба массива объединяет кластеризация одних и тех же регионов за одинаковый период времени и по имеющимся статистическим данным, то расхождение в числе кластеров с некоторой условностью можно отнести к специфике применяемых алгоритмов. Если исходить из того, что алгоритмы традиционной кластеризации получили гораздо большее применение и более понятны, то на этой основе можно оценить особенности «черного ящика» SOM. Главной

¹ При определении дискриминируемых территорий учитывались только современные регионы (на 1 января 2022 г. в Российской Федерации было 85 субъектов). Поэтому Усть-Ордынский Бурятский автономный округ и другие упраздненные субъекты не рассматривались. Республика Крым и г. Севастополь учитывались с 2015 г., так как по ним социально-экономическая статистика за 2014 г. была неполной.

особенностью SOM (см. рис. 2, А относительно рис. 2, Б) является кластерное сжатие, когда множество регионов делится на относительно небольшое (в сопоставлении с традиционной кластеризацией) число кластеров. При этом вызывает удивление отсутствие в RU 2-кластерных решений в условиях сильно поляризованного экономического пространства России (только в другом корпусе – FD – зафиксированы два таких решения для Центрального федерального округа). Одно из возможных объяснений отсутствия двух кластеров – наличие в некоторых программных продуктах настройки числа кластеров не менее трех.

Большинство социально-экономических кластерных решений предусматривают ранжирование выделенных групп регионов. Поскольку особое значение имеет попадание региона в число лидеров или аутсайдеров, то целесообразно свести все группы в три кластера – «верхний» (наилучшая ситуация), «средний» (промежуточные ситуации) и «нижний» (наихудшая ситуация). Тогда, например, при делении на 4 группы получится верхний, два средних и нижний кластеры, а при делении на 8 групп – верхний, шесть средних и нижний кластеры. Из такого расклада следует, что нижний кластер из четырех групп может объединить нижний и несколько (или один) средних кластеров из восьми групп. Таким образом, алгоритмическая предвзятость в виде кластерного сжатия проявляется в виде увеличения размера нижнего кластера. Аналогичное увеличение возможно и для верхнего кластера, но оно менее вероятно при использовании евклидова расстояния с его проблемами измерения максимальных значений показателей в сферических кластерах [Hadi, 2022].

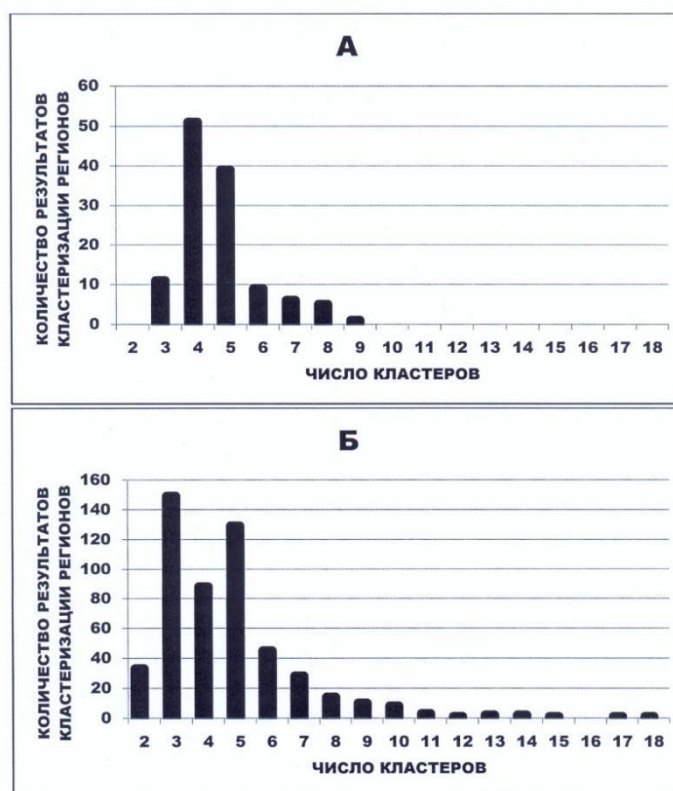


Рис. 2. Количество результатов социально-экономической кластеризации всех российских регионов с разным числом кластеров, полученных на основе самоорганизующихся карт Кохонена (А) и традиционного кластерного анализа (Б)

Fig. 2. The number of socio-economic clustering results for all Russian regions with different numbers of clusters, obtained on the basis of Kohonen self-organizing maps (А) and traditional cluster analysis (Б)

Источник: часть «А» составлена автором, а часть «Б» заимствована из [Блануца, 2024].

Не зная правильного кластерного решения, трудно определить российские регионы, несправедливо отнесенные с помощью SOM в кластер с самым низким уровнем социально-

экономического развития. Однако, опираясь на результаты традиционного кластерного анализа, можно выявить регионы с повышенной частотой попадания в нижний кластер. В корпусе RU (массив традиционных решений [Блануца, 2024]) при расчете уровня развития по данным за 2018–2022 гг. чаще других в нижний кластер входили республики Калмыкия (частота 0,93), Кабардино-Балкарская (0,86), Карачаево-Черкесская (0,86), Северная Осетия – Алания (0,86), Ингушетия (0,85), Дагестан (0,79), Тыва (0,72) и Чеченская (0,71), Еврейская автономная область (0,71), республики Крым (0,69) и Алтай (0,64), г. Севастополь (0,58), Забайкальский край (0,57) и Псковская область (0,57). В качестве примера сравним эти 14 регионов с кластером низких значений показателей инновационного развития в 2018 г. [50]: кроме 12 регионов из приведенного выше перечня (исключение составили Забайкальский край и Псковская область) в худший кластер включены еще 21 субъект (республики Бурятия и Коми, Алтайский и Камчатский край, Амурская, Астраханская, Брянская, Волгоградская, Иркутская, Калининградская, Кемеровская (Кузбасс), Костромская, Курганская, Магаданская, Мурманская, Новгородская и Орловская области, Ненецкий, Ханты-Мансийский (Югра), Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа). Можно предположить, что в рассмотренной кластеризации из-за неправильного определения числа кластеров получился 21 дискриминируемый регион. Если выделять не четыре кластера, а больше, то 33 региона могли разделиться на несколько однородных групп, что приблизило бы кластерное решение к действительности.

Диапазонное смещение. Одной из характеристик кластерного решения является количество регионов в выделенных группах, зависящее от числа кластеров. Рассмотрим две наиболее распространенные ситуации в корпусе RU – четыре и пять кластеров (см. рис. 2, А). Для сравнения результатов нейросетевой кластеризации с результатами традиционного кластерного анализа целесообразно оперировать частотой встречаемости кластера с определенным количеством регионов в корпусах RU соответствующих массивов. Например, при 4-кластерном решении на основе SOM зафиксировано 3 кластера с одним регионом среди 144 кластеров, что соответствует частоте 0,0208, а при традиционной кластеризации – 11 кластеров с одним регионом, что при 244 кластерах соответствует частоте 0,0451. Для исключения флуктуаций кластеров с разным числом регионов будем использовать накопленную частоту встречаемости, то есть при 4 кластерах, выделенных на основе SOM, после встречаемости кластеров с одним регионом будет следовать встречаемость кластеров с 1–2 регионами (0,0555), затем с 1–3 регионами (0,0833) и т. д. (аналогичные расчеты выполнялись по результатам традиционной кластеризации). При таких ограничениях исходная гипотеза заключается в том, что при кластеризации одних и тех же регионов в пределах одного периода времени и по единой статистической базе, но с применением разных алгоритмов, должно наблюдаться примерное совпадение значений накопленной частоты встречаемости (сходимость графиков) для сравниваемых алгоритмов. Если оцениваемый алгоритм (SOM) иначе обрабатывает исходные данные, то происходит сдвиг его графика относительно графика традиционной кластеризации. При продолжительном сохранении сдвига (возьмем заведомо большую величину – не менее пятой части графика) в постоянно увеличивающемся диапазоне числа регионов в кластере можно идентифицировать алгоритмическую предвзятость в виде диапазонного смещения (альтернативная гипотеза). В этом случае интерпретация будет зависеть от местоположения смещения на графике.

Для 4-кластерных решений в корпусе RU наблюдается продолжительное ($18:77=0,23$) смещение значений для SOM в диапазоне от 1 до 18 регионов в кластере (рис. 3, А). При этом максимальный сдвиг ($0,2911-0,1874=0,1037$) пришелся на кластеры с 1–8 регионами. Более продолжительное смещение для SOM ($28:77=0,36$) зафиксировано в 5-кластерных решениях в отношении диапазона от 2 до 29 регионов в кластере (рис. 3, Б) с максимальным сдвигом ($0,5617-0,4295=0,1322$) в кластерах с 2–11 регионами. Приведенные значения подтверждают альтернативную гипотезу, то есть имеет место алгоритмическая

предвзятость. Поскольку диапазонные смещения при выделении четырех и пяти кластеров с помощью SOM пришлось на группы с небольшим количеством регионов, то можно констатировать предвзятое стремление нейросетевого алгоритма формировать как можно более крупные (по количеству регионов) кластеры. Например, в корпусе RU при выделении 5 кластеров с помощью SOM максимальный размер одного кластера составил 68 регионов (частота встречаемости 0,0074), а при традиционной кластеризации – 63 региона (0,0024).

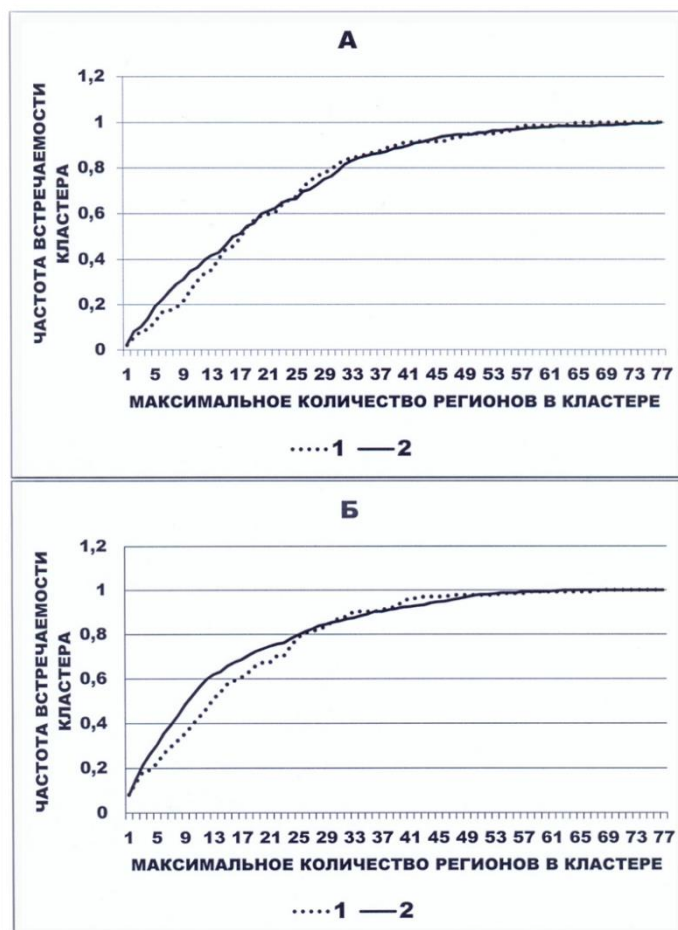


Рис. 3. Частота встречаемости кластеров при увеличении их максимального размера (количества регионов) в результате объединения всех субъектов Российской Федерации в четыре (А) и пять (Б) кластеров на основе обработки социально-экономических данных с помощью самоорганизующихся карт Кохонена (1) и традиционного кластерного анализа (2)

Fig. 3. Frequency of occurrence of clusters with an increase in their maximum size (number of regions) as a results of combining all regions of the Russian Federation into four (A) and five (B) clusters based on the processing of socio-economic data using Kohonen self-organizing maps (1) and traditional cluster analysis (2)

Источник: составлено автором.

В этом виде алгоритмической предвзятости дискриминируемые регионы появляются при чрезмерном (относительно традиционной кластеризации) нейросетевом увеличении размера кластера. Если оперировать средним размером нижнего кластера в корпусе RU, то при использовании SOM он составляет 29 регионов, а в традиционных кластерных решениях – 18 регионов. При разнообразии количества кластеров приведенные средние значения не совсем корректны, но в некоторой мере отражают увеличение размера нижнего кластера в SOM-решениях (к примеру, при четырех кластерах получается, соответственно, 27 и 15 регионов). С этих позиций в уже приводимом примере кластера низких значений показателей инновационного развития в 2018 г. [Летягина, Перова, 2021] из 33 регионов

могут оказаться неправильно включенными в кластер (дискриминируемыми) 18 субъектов (при четырех кластерах получается $33-15=18$; что касается кластерного сжатия, то там идентифицирован 21 регион). Еще один пример – оценка социально-экономического развития российских регионов в 2007–2011 гг. [Серкова и др., 2014]: в четвертый кластер («депрессивные регионы») вошел 31 субъект, из которых 16 ($31-15=16$) могут оказаться дискриминируемыми. Допустим, 14 регионов нижнего кластера¹, выделенные по традиционным решениям на основе данных за 2018–2022 гг., имели такой же статус и в 2007–2011 гг. Тогда 16 дискриминируемых регионов могут находиться среди следующих 20 субъектов ($31-14+3=20$): республики Бурятия, Марий Эл, Мордовия, Удмуртская, Хакасия и Чувашская, Алтайский и Ставропольский край, Амурская, Брянская, Владимирская, Вологодская, Ивановская, Кировская, Костромская, Курганская, Орловская, Пензенская, Тверская и Ульяновская области.

Заключение

Анализ литературы по искусственному интеллекту, традиционной и нейросетевой кластеризации позволил определить несколько чувствительных областей в самоорганизующихся картах Кохонена, способных генерировать пространственную алгоритмическую предвзятость. Сопоставление этих областей с отечественным опытом социально-экономической группировки регионов с помощью SOM и традиционного кластерного анализа привело к обнаружению трех видов алгоритмической предвзятости, дискриминирующих отдельные российские регионы. Результатом региональной сегрегации является реальная дискриминация (среди 85 субъектов Российской Федерации обнаружено 20 регионов, в разной мере исключаемых из процесса кластеризации), а следствием кластерного сжатия и диапазонного смещения – потенциальная дискриминация, связанная с неправомерным отнесением регионов к кластеру самого низкого уровня социально-экономического развития. При одновременном максимальном проявлении трех видов предвзятости может сложиться ситуация с исключением всех специфических регионов («выбросов») и разбиением оставшихся субъектов на как можно меньшее число кластеров одинаково большого размера, что станет крайней формой искажения существующего социально-экономического разнообразия российских регионов.

Дальнейшие исследования по обозначенной проблематике могут проводиться в пяти наиболее перспективных направлениях. Во-первых, предстоит разработать способ экономической оценки прямых и косвенных потерь региона в результате предвзятой кластеризации. Во-вторых, выявление трех видов алгоритмической предвзятости SOM является лишь первым шагом в осмыслении несправедливости нейросетевой кластеризации, после чего необходимо изучить другие чувствительные параметры (например, радиус обучения и функция соседства) в отношении реальной или потенциальной дискриминации регионов. В-третьих, наметившийся переход к использованию «больших данных» в региональных исследованиях заставит приспособливать SOM к обработке непрерывного потока разнообразных данных. Известно, что использование «больших данных» приводит к дискриминации [Favaretto, De Clercq, 2019], но как это проявится при обработке таких данных с помощью SOM, еще предстоит выяснить. В-четвертых, необходимость экономической экспертизы федеральных проектов и стратегий заставит применять кластерный анализ. К примеру, это сделано в отношении обоснованности достижения регионами национальных целей развития [Блануца, 2022]. Нейросетевая кластеризация для экспертизы еще не применялась, но, предвосхищая будущее использование SOM, предстоит выяснить непредвзятость алгоритма при анализе стратегических документов. В-пятых, выявление алгоритмической предвзятости необходимо для разработки механизма справедливой кластеризации. В этом направлении много сделано, но не применительно к регионам и тем

¹ Кроме Республики Крым и г. Севастополь, которые до 2014 г. не входили в состав Российской Федерации, а также Республики Северная Осетия – Алания, не попавшей в кластер депрессивных регионов.

более их функционированию в едином экономическом пространстве России. Потребуется разработать такой алгоритм нейросетевой кластеризации, который исключит какую-либо дискриминацию любого российского региона.

Список литературы

- Блануца В.И. 2020. Региональные экономические исследования с использованием алгоритмов искусственного интеллекта: состояние и перспективы. *Вестник Забайкальского государственного университета*, 26 (8): 100–111.
- Блануца В.И. 2022. Кластеризация регионов Сибири и Дальнего Востока по достижению национальных целей развития. *Российский экономический журнал*, 3: 63–83.
- Блануца В.И. 2024. Пространственная алгоритмическая предвзятость в социально-экономической кластеризации российских регионов. *Пространственная экономика*, 20 (2): 71–92.
- Гагарина Г.Ю., Дзюба Е.И., Губарев Р.В., Файзуллин Ф.С. 2017. Прогнозирование социально-экономического развития российских регионов. *Экономика региона*, 13 (4): 1080–1094.
- Игнатьева А.Е., Серкова Е.Д., Мариев О.С. 2015. Сравнительные преимущества российских регионов в развитии и размещении производительных сил. *Вестник Челябинского государственного университета*, 18: 98–104.
- Летягина Е.Н., Перова В.И. 2021. Нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем. *Journal of New Economy*, 22 (1): 71–89.
- Перова В.И., Папко А.В. 2019. Нейросетевой анализ динамики инвестиционной деятельности регионов Российской Федерации. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки*, 1: 24–32.
- Серкова А.Е., Игнатьева Е.Д., Мариев О.С. 2014. Оценка социально-экономического развития российских регионов-субъектов Российской Федерации. *Вестник Челябинского государственного университета*, 21: 112–120.
- Трифонов Ю.В., Сочков А.Л., Соловьёв А.Е. 2021. Оценка экономического потенциала регионов РФ на основе методологии нейросетевого кластерного анализа. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки*, 3: 38–47.
- Чередниченко Л.Г., Губарев Р.В., Дзюба Е.И., Файзуллин Ф.С. 2020. Целевое управление инновационным развитием России. *Вестник СПбГУ. Экономика*, 36 (2): 319–350.
- Agarwal P., Skupin A. (Eds.) 2008. *Self-Organising Maps: Applications in Geographic Information Science*. Chichester; Hoboken: Wiley, 214 p.
- Carboni O., Russu P. 2015. Assessing regional wellbeing in Italy: An application of Malmquist DEA and self-organizing map neural clustering. *Social Indicators Research*, 122 (3): 677–700.
- Chabra A., Masalkovaitĭ K., Mohapatra P. 2021. An overview of fairness in clustering. *IEEE Access*, 9: 130698–130720.
- Charrad M., Ghazzali N., Boiteau V., Niknafs A. 2014. NbClust: An R package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of Statistical Software*, 61 (6): 1–36.
- Favaretto M., De Clercq B.S. 2019. Big data and discrimination: Perils, promises and solutions. A systematic review. *Journal of Big Data*, 6 (1): 12–27.
- Giordani P., Ferraro M.B., Martella F. 2020. *An Introduction to Clustering with R*. Singapore: Springer, 340 p.
- Gupta S., Ghalme G., Krishnan N.C., Jain S. 2023. Efficient algorithms for fair clustering with a new notion of fairness. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 37: 1959–1997.
- Hadi A.S. 2022. A new distance between multivariate clusters of varying locations, elliptical shapes, and directions. *Pattern Recognition*, 129: 108780.
- Jackson M.C. 2021. Artificial intelligence and algorithmic bias: The issues with technology reflecting history and humans. *Journal of Business and Technology Law*, 16 (2): 299–316.
- Khanchouch I., Charrad M., Limam M. 2015. A comparative study of multi-SOM algorithms for determining the optimal number of clusters. *International Journal of Future Computer and Communication*, 4 (3): 198–202.
- Khasanah A.U. 2016. A comparison study: Clustering using self-organizing map and k-means algorithm. *Performa*, 15 (1): 51–58.
- Kohonen T. 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43: 59–69.

- Kohonen T. 2001. Self-Organizing Maps. Third Edition. Berlin; Heidelberg: Springer, 502 p.
- Kordzadeh N., Ghasemaghaei M. 2022. Algorithmic bias: Review, synthesis, and future research directions. *European Journal of Information Systems*, 31 (3): 388–409.
- Kourtit K., Arribas-Bel D., Nijkamp P. 2012. High performance in complex spatial systems: A self-organizing mapping approach with reference to The Netherlands. *The Annals of Regional Science*, 48: 501–527.
- Lypez-Villuendas A.M., del Campo C. 2023. Regional economic disparities in Europe: Time-series clustering of NUTS 3 regions. *International Regional Science Review*, 46 (3): 265–298.
- Lorimer T., Held J., Stoop R. 2017. Clustering: How much bias do we need? *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 375: 20160293.
- Mirkin B. 1996. Mathematical Classification and Clustering. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publisher, 429 p.
- Nishant R., Schneckenberg D., Ravishankar M. The formal rationality of artificial intelligence-based algorithms and the problem of bias. *Journal of Information Technology*, 39 (1): 19–40.
- Robinson C., Franklin R.S. 2020. The sensor desert quandary: What does it mean (not) to count in the smart city? *Transactions of the Institute of British Geographers*, 46 (2): 238–254.
- Ros F., Riad R., Guillaume S. 2024. Deep clustering framework review using multicriteria evaluation. *Knowledge-Based Systems*, 285: 111315.
- Schmidt C.R., Rey S.J., Skupin A. 2011. Effects of irregular topology in spherical self-organizing maps. *International Regional Science Review*, 34 (2): 215–229.
- Soares J.O., Coutinho C.C. 2010. Cluster analysis in regional science. *Advances and Applications in Statistical Science*, 1 (2): 311–325.
- Van Giffen B., Herhausen D., Fahse T. 2022. Overcoming the pitfalls and perils of algorithms: A classification of machine learning biases and mitigation methods. *Journal of Business Research*, 144: 93–106.
- Wei X., Zhang Z., Huang H., Zhou Y. 2024. An overview on deep clustering. *Neurocomputing*, 590: 127761.
- Yin H. 2008. The self-organizing maps: Background, theories, extensions and applications. In: Fulcher J., Jain L.C. (Eds.). *Computational Intelligence: A Compendium*. Berlin: Springer, 715–762.

References

- Blanutsa V.I. 2020. Regional economic research using artificial intelligence algorithms: state and prospects. *Bulletin of Zabaikalsky State University*, 26 (8): 100–111 (in Russian).
- Blanutsa V.I. 2022. Clustering the regions of Siberia and the Far East to achieve national development goals. *Russian Economic Journal*, 3: 63–83 (in Russian).
- Blanutsa V.I. 2024. Spatial algorithmic bias in socio-economic clustering of Russian regions. *Spatial Economics*, 20 (2): 71–92 (in Russian).
- Gagarina G.Yu., Dzyuba E.I., Gubarev R.V., Fayzullin F.S. 2017. Forecasting the socio-economic development of Russian regions. *Economics of the Region*, 13 (4): 1080–1094 (in Russian).
- Ignatieva A.E., Serkova E.D., Mariev O.S. 2015. Comparative advantages of Russian regions in the development and location of productive forces. *Bulletin of the Chelyabinsk State University*, 18: 98–104 (in Russian).
- Letyagina E.N., Perova V.I. 2021. Neural network modeling of regional innovation ecosystems. *Journal of New Economy*, 22 (1): 71–89 (in Russian).
- Perova V.I., Papko A.V. 2019. Neural network analysis of the dynamics of investment activity in the regions of the Russian Federation. *Bulletin of the Nizhny Novgorod Lobachevsky University. Series: Social Sciences*, 1: 24–32 (in Russian).
- Serkova A.E., Ignatieva E.D., Mariev O.S. 2014. Assessment of socio-economic development of Russian regions-subjects of the Russian Federation. *Bulletin of the Chelyabinsk State University*, 21: 112–120 (in Russian).
- Trifonov Yu.V., Sochkov A.L., Solovyov A.E. 2021. Assessment of the economic potential for the Russian Federation's regions based on the methodology of neural network cluster analysis. *Bulletin of the Nizhny Novgorod Lobachevsky University. Series: Social Sciences*, 3: 38–47 (in Russian).
- Cherednichenko L.G., Gubarev R.V., Dzyuba E.I., Fayzullin F.S. 2020. Targeted management of Russia's innovative development. *Bulletin of St. Petersburg State University. Economics*, 36 (2): 319–350 (in Russian).

- Agarwal P., Skupin A. (Eds.) 2008. Self-Organising Maps: Applications in Geographic Information Science. Chichester; Hoboken: Wiley, 214 p.
- Carboni O., Russu P. 2015. Assessing regional wellbeing in Italy: An application of Malmquist DEA and self-organizing map neural clustering. *Social Indicators Research*, 122 (3): 677–700.
- Chabra A., Masalkovaitė K., Mohapatra P. 2021. An overview of fairness in clustering. *IEEE Access*, 9: 130698–130720.
- Charrad M., Ghazzali N., Boiteau V., Niknafs A. 2014. NbClust: An R package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of Statistical Software*, 61 (6): 1–36.
- Favaretto M., De Clercq B.S. 2019. Big data and discrimination: Perils, promises and solutions. A systematic review. *Journal of Big Data*, 6 (1): 12–27.
- Giordani P., Ferraro M.B., Martella F. 2020. An Introduction to Clustering with R. Singapore: Springer, 340 p.
- Gupta S., Ghalme G., Krishnan N.C., Jain S. 2023. Efficient algorithms for fair clustering with a new notion of fairness. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 37: 1959–1997.
- Hadi A.S. 2022. A new distance between multivariate clusters of varying locations, elliptical shapes, and directions. *Pattern Recognition*, 129: 108780.
- Jackson M.C. 2021. Artificial intelligence and algorithmic bias: The issues with technology reflecting history and humans. *Journal of Business and Technology Law*, 16 (2): 299–316.
- Khanchouch I., Charrad M., Limam M. 2015. A comparative study of multi-SOM algorithms for determining the optimal number of clusters. *International Journal of Future Computer and Communication*, 4 (3): 198–202.
- Khasanah A.U. 2016. A comparison study: Clustering using self-organizing map and k-means algorithm. *Performa*, 15 (1): 51–58.
- Kohonen T. 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43: 59–69.
- Kohonen T. 2001. Self-Organizing Maps. Third Edition. Berlin; Heidelberg: Springer, 502 p.
- Kordzadeh N., Ghasemaghaei M. 2022. Algorithmic bias: Review, synthesis, and future research directions. *European Journal of Information Systems*, 31 (3): 388–409.
- Kourtit K., Arribas-Bel D., Nijkamp P. 2012. High performance in complex spatial systems: A self-organizing mapping approach with reference to The Netherlands. *The Annals of Regional Science*, 48: 501–527.
- Lopez-Villuendas A.M., del Campo C. 2023. Regional economic disparities in Europe: Time-series clustering of NUTS 3 regions. *International Regional Science Review*, 46 (3): 265–298.
- Lorimer T., Held J., Stoop R. 2017. Clustering: How much bias do we need? *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 375: 20160293.
- Mirkin B. 1996. Mathematical Classification and Clustering. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publisher, 429 p.
- Nishant R., Schneckenberg D., Ravishankar M. The formal rationality of artificial intelligence-based algorithms and the problem of bias. *Journal of Information Technology*, 39 (1): 19–40.
- Robinson C., Franklin R.S. 2020. The sensor desert quandary: What does it mean (not) to count in the smart city? *Transactions of the Institute of British Geographers*, 46 (2): 238–254.
- Ros F., Riad R., Guillaume S. 2024. Deep clustering framework review using multicriteria evaluation. *Knowledge-Based Systems*, 285: 111315.
- Schmidt C.R., Rey S.J., Skupin A. 2011. Effects of irregular topology in spherical self-organizing maps. *International Regional Science Review*, 34 (2): 215–229.
- Soares J.O., Coutinho C.C. 2010. Cluster analysis in regional science. *Advances and Applications in Statistical Science*, 1 (2): 311–325.
- Van Giffen B., Herhausen D., Fahse T. 2022. Overcoming the pitfalls and perils of algorithms: A classification of machine learning biases and mitigation methods. *Journal of Business Research*, 144: 93–106.
- Wei X., Zhang Z., Huang H., Zhou Y. 2024. An overview on deep clustering. *Neurocomputing*, 590: 127761.
- Yin H. 2008. The self-organizing maps: Background, theories, extensions and applications. In: Fulcher J., Jain L.C. (Eds.). *Computational Intelligence: A Compendium*. Berlin: Springer, 715–762.



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 27.02.2025

Поступила после рецензирования 07.03.2025

Принята к публикации 10.03.2025

Received February 27, 2025

Revised March 07, 2025

Accepted March 10, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блануца Виктор Иванович, доктор географических наук, эксперт РАН по экономическим наукам, ведущий научный сотрудник, Институт географии имени В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Viktor I. Blanutsa, Doctor of Geographical Sciences, RAS expert in Economic Sciences, Leading Researcher, V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

УДК 330.342:338.5

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-19-30

Ценологический анализ региональных экономических систем (на примере сферы туризма)

Чефранов С.Г., Гашева З.Д., Амосов А.С.

Майкопский государственный технологический университет
Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191
kafedra.ibpi@gmail.com, zarina222@mail.ru, amosov1985@icloud.com

Аннотация. В статье развивается подход к анализу состояния сферы туризма в России, рассматриваемой как сложный экономический ценоз. Основу анализа составляют модели ранговых распределений различных параметров и характеристик входящих в ценоз видов, в качестве которых в работе рассматриваются субъекты Российской Федерации. Информационную основу исследования составили официальные данные Росстата о состоянии сферы туризма в России. Обоснована возможность применения в отношении сферы туризма ценологического подхода, предложен алгоритм построения и интерпретации значений коэффициентов моделей ранговых распределений видов; способ анализа динамики развития ценоза, основанный на представлении соответствующего процесса в пространстве коэффициентов описывающих ценоз моделей; инструментарий оценки благоприятности условий и возможностей изменения текущего состояния отдельного входящего в ценоз вида, основанный на использовании коэффициента корреляции Спирмена.

Ключевые слова: ценоз, экономический ценоз, ранговое распределение, туризм, инструментарий анализа, модель экономического ценоза, региональная экономика, въездной туризм

Благодарности: статья подготовлена при поддержке гранта ФГБОУ ВО «МГТУ» НП11-2024 от 2024 г. «Единое интеллектуальное информационное пространство региона как фактор его устойчивого и эффективного развития».

Для цитирования: Чефранов С.Г., Гашева З.Д., Амосов А.С. 2025. Ценологический анализ региональных экономических систем (на примере сферы туризма). *Экономика. Информатика*, 52(1): 19–30. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-19-30

Cenological Analysis of Regional Economic Systems (Using the Example of the Tourism Sector)

Sergey G. Chefranov, Zarina Dz. Gasheva, Anton S. Amosov

Maikop State Technological University
191 Pervomaiskaya St, Maikop 385000, Republic of Adygea, Russia
kafedra.ibpi@gmail.com, zarina222@mail.ru, amosov1985@icloud.com

Abstract. A successful application of the theory of cenoses in biology has become the basis for the extension of appropriate analysis tools to other areas, in particular to economic systems. At the same time, such systems differ from biocenoses – they are more dynamic, and in some cases better provided with information. This expands the possibilities of analysis through the development of tools. To illustrate such possibilities, the article develops an approach to analyzing the state of the tourism sector in Russia considered as a complex economic cenosis. The analysis is based on models of rank distributions of various parameters and characteristics of the species included in the cenosis. The subjects of the Russian Federation are considered as such types. The information basis of the study was the official data of the Federal State Statistic Service (Rosstat) on the state of the tourism sector in Russia. As a result of the study, we have

© Чефранов С.Г., Гашева З.Д., Амосов А.С., 2025

substantiated the possibility of applying a cenological approach to the tourism sector; proposed an algorithm for constructing and interpreting the values of coefficients of species rank distribution models, as well as a method for analyzing the dynamics of cenosis development based on the representation of the corresponding process in the space of coefficients describing the cenosis of models; and developed a toolkit for assessing the favorability of conditions and the possibilities of changing the current state of an individual species included in the cenosis based on Spearman's correlation coefficient. The whole range of the proposed analysis tools has shown its efficiency in the examples given and can be used in the study of other economic systems with similar dynamics and information support.

Keywords: cenosis, economic cenosis, rank distribution, tourism, analysis tools, economic cenosis model, regional economy, inbound tourism

Acknowledgements: the article was prepared with the support of the grant from the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MSTU" NP11-2024 dated 2024 "Unified intellectual information space of the region as a factor of its sustainable and effective development".

For citation: Chefranov S.G., Gasheva Z.Dz., Amosov A.S. 2025. Cenological Analysis of Regional Economic Systems (Using the Example of the Tourism Sector). *Economics. Information technologies*, 52(1): 19–30 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-19-30

Введение

Первоначально термин «ценоз» относился к природным сообществам. Ценоз – сообщество организмов, совместно населяющих участок суши или водоёма. Термин предложен немецким экологом К. Мёбиусом (1877) [Биоценоз. Большая российская энциклопедия]. Несколько позже выяснилось, что имеется множество сложных систем другой природы с механизмами функционирования, аналогичными наблюдаемым в природе. Так, например, достаточно широко ценологический анализ используется в исследовании технических систем (техноценозы) [Сайт профессора Кудрина; Кудрин, 1991]. Значительное количество работ посвящено ценологическому анализу социально-экономических систем [Гурина, 2020; Колесников, 2012; Кузьминов, Джуха, Чефранов, 2018]. Все указанные исследования вне зависимости от природы объекта основываются на некоторых общих особенностях: имеется множество «особей» (организмов, устройств, организаций и т. п.), принадлежащих к разным «видам» (биологический вид, тип технического устройства, отраслевая принадлежность предприятия или организации). Виды взаимодействуют между собой в процессах приспособления к условиям среды, распределения некоторых ресурсов. В результате такого взаимодействия формируются сходные по своим характеристикам структуры распределения количества видов-особей. Далее при необходимости указанные основополагающие понятия будут уточнены. Важной является конкуренция видов за некоторый ограниченный ресурс, которая после завершения всех переходных процессов как раз и приводит к появлению известных ценологических распределений, в частности ранго-видовых [Сайт профессора Кудрина; Кудрин, 1991].

У каждого вида рассматриваемых систем с точки зрения организации исследования есть как преимущества, так и недостатки. Так, например, происходящие в природных ценозах процессы по своей продолжительности могут простираются даже не на годы, а на века, значительно превышая имеющееся у исследователей время на диагностику. Очевидно, это создает определенные трудности для исследования, однако преимуществом природных систем, особенно растительных сообществ, может быть доступность наблюдения и измерения интересующих параметров – подсчет числа особей, определение их видовой принадлежности, распределение в пространстве и пр. В экономических системах процессы происходят быстрее, однако в них активные субъекты (элементы системы, имеющие свои цели и возможности для их достижения) склонны скрывать и/или искажать информацию, необходимую для исследования [Ядранка, Марина, Милица, 2021]. В отдельных случаях экономические ценозы легче выделить из среды по сравнению с

природными. В качестве примера можно указать случай, когда границы ценоза определяются по границам государства, региона, отрасли [Кузьминов, 2017; Кузьминов, Джуха, Чефранов, 2018; Фуфаев, 2016; Ярошевич, Мигунов, 2022]. Даже учитывая открытость социально-экономических систем, основные проявления этой открытости фиксируются и могут быть учтены (экспорт-импорт, въездной и выездной туризм и т. п.).

Ценологический анализ как инструмент исследования российской экономики в целом и ее пространственно-региональной структуры имеет широкие возможности применения в силу целого ряда причин:

- существующая региональная структура позволяет с достаточной степенью детальности аккумулировать необходимые данные. Так, официальные данные Росстата (блок региональной статистики) отражают состояние каждого из 89 регионов России (иногда за исключением вновь принятых в состав Российской Федерации регионов в силу отсутствия статистических данных) не только в агрегированных обобщенных параметрах, но и в разрезе различных отраслей, множества показателей, характеризующих социальную сферу, уровень жизни населения и пр. Необходимо отметить, что в настоящее время данные появляются на сайте Росстата достаточно оперативно (блок «оперативные показатели»), что ранее было недоступно;

- ценологические модели не предъявляют слишком жестких требований к исходным данным, допуская наличие в них ошибок, которые, как правило, аддитивные и несмещённые (распределение с нулевым средним);

- несмотря на относительную простоту ценологических моделей и способов их получения, они позволяют решать достаточно широкий спектр задач: диагностика состояния исследуемого объекта, «жесткости» условий функционирования его составляющих, устойчивость социально-экономического «ценоза», степень завершенности процессов взаимного приспособления и др. [Долятовский, 2020; Кузьминов, Джуха, Чефранов, 2018; Ступачев, 2019];

- построение ценологических срезов для одной и той же системы в разное время позволяет непосредственно анализировать ее динамические характеристики, строить прогнозы в понятных, легко интерпретируемых терминах.

Рассмотрим применение ценологического анализа для исследования ситуации в сфере туризма в России. Туризм как способ восстановления здоровья, жизненных сил и удовлетворения познавательных и иных потребностей людей стал практически неотъемлемой частью расходов домохозяйств [Пьянкова, Митрофанова, Ергунова, 2023]. В этом случае распределяемым ресурсом будет весь объем туруслуг, который потенциально может быть реализован в России в отношении внутреннего туризма. За этот ресурс конкурируют множество туристских дестинаций, взаимодействуя как непосредственно, так и косвенно: приток туристов в одном месте определяет их отток в других [Песочная, Селютина, 2021]. Таким образом, рассматриваемую совокупность туристских дестинаций можно рассматривать как своеобразный ценоз российского масштаба и ожидать проявления характерных для ценозов феноменов, в частности, характера ранговых распределений. Обоснование возможности применения ценологического подхода к анализу процессов в индустрии гостеприимства и развитие соответствующего инструментария, учитывающего динамические характеристики социально-экономических систем, составляют предмет исследования данной работы.

Объекты и методы исследования

Информационную основу исследования сформируем по официальным данным Федеральной службы государственной статистики РФ [Сайт Федеральной службы государственной статистики]. Указанные данные имеют достаточную степень детализации, хорошую глубину погружения в исследуемые явления, рассматривают различные аспекты, определяющие развитие туризма и, что наиболее важно, содержат региональный блок показателей. Для первого приближения рассмотрим какие-либо наиболее агрегированные

общие показатели, характеризующие распределение обобщенного ресурса между туристскими дестинациями. Достаточно валидными в этом случае можно считать такие показатели, как «Оценка туристского потока (по количеству ночевков)», «Оценка туристского потока (месячные (оперативные) данные, по числу поездок)». Все субъекты РФ, представленные в статистических таблицах (всего 82 субъекта), ранжируются в порядке убывания исследуемого параметра. Далее характер рангового распределения описывается зависимостью вида (1) [Сайт профессора Кудрина; Кудрин, 1991]:

$$W = \frac{A}{r^b}, \quad (1)$$

где W – значение показателя для региона, занимающего ранг r , а A и b – коэффициенты, отражающие особенности нашего ценоза.

В ряде исследований [Долятовский, 2020; Кузьминов, Джуха, Чефранов, 2018] и других многочисленных работах указывается диапазон изменения параметра b в пределах $[-1,5; -0,5]$. Считается (подтверждается многочисленными эмпирическими данными и результатами проведенных исследований ценозов различной природы), что в случае, когда параметр попадает в указанный диапазон, ценоз является устойчивым – его состояние находится далеко от границ, в которых возможны проявления различных бифуркаций [Долятовский, 2020]. Кроме того, можно отметить, что чем выше данная величина по модулю, тем более жесткие условия предоставляет среда и тем выше конкуренция различных видов за распределяемый ресурс.

Таким образом, значения коэффициентов модели (1) будут служить индикатором, отражающим состояние исследуемого ценоза, а поскольку для экономических систем имеется возможность получить данные за некоторый период, в течение которого ценоз и внешние условия его функционирования меняется, временной ряд коэффициентов может представлять основу для изучения динамики ценоза.

Результаты и их обсуждение

Для начала посмотрим, насколько применима модель (1) для описания выбранной в качестве объекта исследования сферы туризма России. Для этого проранжируем данные по оценке туристического потока по количеству ночевков (рис. 1) и построим для них модель (1). Коэффициенты модели определялись регрессионным способом. Для приведенного на рис. 1 распределения коэффициенты равны $A = 152549324$, $b = -0,9986$, качество аппроксимации исходных данных кривой (1) достаточно высокое, $R^2 = 0,9676$.

Первые по рейтингу регионы – Краснодарский край, г. Москва, Московская область, Ленинградская область, г. Санкт-Петербург. Глядя на регионы-лидеры, можно предположить, что они занимают лидирующие позиции в силу своего масштаба, на них приходится более 35 млн жителей (около 25 % всего населения России). Для проверки данной гипотезы посмотрим ранговое распределение того же параметра с учетом числа жителей регионов (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что полученная кривая менее изогнута, параметры $A = 27,464$, $b = -0,6709$, качество аппроксимации исходных данных кривой (1) достаточно высокое, $R^2 = 0,9609$. Меньшее значение параметра b как раз отвечает за меньшую «крутизну» кривой (1). Сменился и состав регионов лидеров, теперь это Краснодарский край, Ленинградская область, Республика Крым, Республика Алтай, Московская область, крупные города (г. Москва, г. Санкт-Петербург) с высокой концентрацией населения.

Интерпретация этого явления может быть следующей: при рассмотрении данного ценоза условия более благоприятные, конкуренция за ресурс менее жесткая, чем в первом случае. Другими словами, такие регионы, как Краснодарский край, г. Москва, г. Санкт-Петербург, Московская и Ленинградская области, в силу многочисленности населения стали ближе к другим регионам России по исследуемому параметру, эффект высокой концентрации населения стал менее выраженным [Сайт Федеральной службы государственной статистики].



Рис. 1. Ранговое распределение субъектов РФ по оценке туристского потока по количеству ночевков в 2022 году

Fig. 1. Ranking distribution of the subjects of the Russian Federation according to the assessment of the tourist flow by the number of overnight stays in 2022

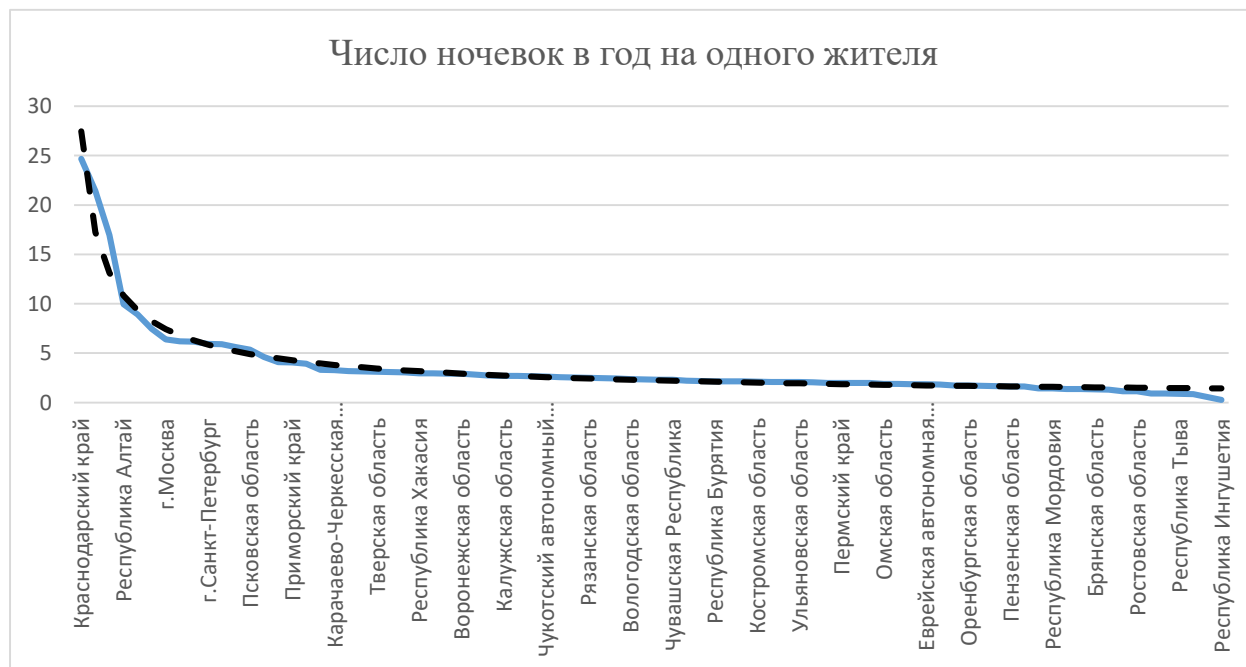


Рис. 2. Ранговое распределение субъектов РФ по оценке туристского потока по количеству ночевков на одного жителя региона в 2022 году

Fig. 2. Ranking distribution of the subjects of the Russian Federation according to the assessment of the tourist flow by the number of overnight stays per inhabitant of the region in 2022

Полученная информация уже представляет собой достаточно полезную информационную базу для анализа, особенно учитывая незначительные затраты на получение и обработку информации. Вместе с тем есть еще значительный потенциал

идентификации проблемной ситуации. В данной работе предлагается развить инструментарий анализа в двух направлениях: исследование динамики процесса функционирования исследуемого ценоза; оценка степени благоприятности условий и возможностей улучшения состояния отдельного вида в ценозе.

По первому направлению заметим, что информационную основу предлагаемого подхода составляют традиционные официальные и доступные статистические данные, собираемые ежегодно. Это означает, что в принципе имеется возможность проследить динамику развития ценоза в течение ряда периодов (в нашем случае лет, хотя в открытом доступе имеются оперативные данные, собираемые ежемесячно). Оценку состояния ценоза в каждый из периодов будем проводить в терминах коэффициентов моделей рангового распределения (1).

Ниже предлагается проанализировать с помощью такого инструмента выездной туризм. В качестве параметра, по которому производилось ранжирование, примем число выездных туристских поездок граждан России в зарубежные страны [Сайт Федеральной службы государственной статистики]. Соответственно, различные виды ценоза представляют собой зарубежные страны. Покажем, что к исследуемой ситуации допустимо применять ценологический подход. В самом деле, имеется ресурс – количество средств-времени-возможностей населения России, которое оно готово потратить на зарубежные поездки. Различные страны предлагают разные условия трансформации этого ресурса в различные эффекты, характерные для сферы туризма – впечатления, новые знания, удовлетворение культурных и иных потребностей. Эти виды (зарубежные страны) конкурируют за ресурс и, соответственно, можно ожидать проявление характерных для ценозов явлений, в частности, распределения видов по количеству потребляемого ресурса. В результате моделирования коэффициенты рангового распределения зарубежных стран по числу выездных туристских поездок граждан России, полученные по формуле (1), представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Коэффициенты моделей рангового распределения зарубежных стран
по числу выездных туристских поездок граждан России
Coefficients of models of rank distribution of foreign countries by the number of outbound
tourist trips of Russian citizens

Коэффициент модели	Годы					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
A	6583	7518	3080	5812	6090	6615
b	-0,7916	-0,8202	-1,0155	-1,1074	-1,0515	-0,9971
R^2	0,9463	0,9603	0,9619	0,8976	0,9282	0,9148

Учитывая, что один коэффициент входит в модель как множитель, а второй – как показатель степени, в целях обеспечения возможности сопоставлений по оси абсцисс выбран логарифмический масштаб. Заметим, что рост показателя b соответствует ухудшению условий функционирования ценоза, как и уменьшение показателя A (и, соответственно, $\lg(A)$). Изменение состояния ценоза в пространстве коэффициентов модели, описывающей его состояние, является по сути его «фазовым портретом» или «фазовой траекторией» (рис. 3).

Как следует из рис. 3, в исследуемом ценозе наблюдалось резкое ухудшение условий функционирования в 2020 году с последующим постепенным движением в сторону улучшения (2021–2023 годы). Однако это улучшение не обеспечивает достижение относительно благоприятных условий, существовавших до 2020 года. Сопоставим это наблюдение с известными фактами – пандемия 2020 года, радикально ограничившая выездной туризм. По оценкам специалистов, падение выездного туризма в 2020 году достигло более 77 % [Сайт Федеральной службы государственной статистики]. Вслед за этим последовали санкции, что вполне хорошо отражено в фазовом портрете исследуемого ценоза.

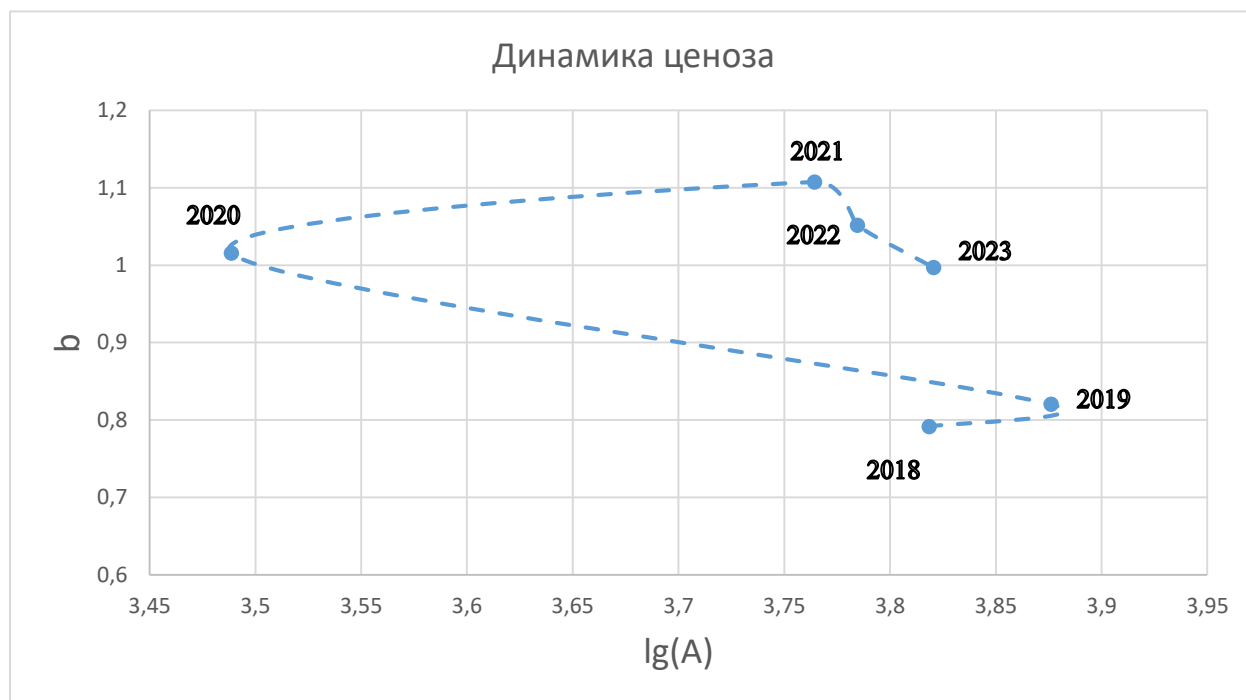


Рис. 3. Фазовая траектория ценоза «Зарубежные страны по числу выездных туристских поездок граждан России» в пространстве коэффициентов модели рангового распределения

Fig. 3. The phase trajectory of the cenosis "Foreign countries by the number of outbound tourist trips of Russian citizens" in the space of coefficients of the ranking distribution model

Данный пример имеет цель проиллюстрировать подход к анализу динамики развития ценоза, который может быть распространен на иные области, системы и объекты. Достаточным условием его применимости является возможность отнесения объекта исследования к ценозу и правомерность применения соответствующих методов построения ранговых распределений входящих в него видов.

Второе направление развития ценологического инструментария также связано с динамическими аспектами функционирования ценоза. Описанный выше подход отражает изменения в ранговом распределении видов и позволяет оценить благоприятность условий, в которых ценоз существует, однако он не позволяет увидеть отдельные виды (элементы ценоза), их активность, уникальные особенности, активность реализации собственного потенциала развития. В самом деле, переход от субъектности к рангам скрывает возможные изменения в структуре ценоза, когда виды могут изменять свои ранги, перемещаться в ту или иную сторону относительно предыдущих своих состояний. Причем, это может происходить без значимых изменений рангового распределения в целом. Для иллюстрации наличия такой ситуации (достаточно распространенной как в биологических ценозах [Чефранов, 2018], так и в рассматриваемых ситуациях в туризме), что подтверждается рис. 4.

На рисунке приведен фрагмент рангового распределения доминирующей группы Субъектов РФ по числу поездок (так называемая «саранчовая каста») за январь-февраль 2023 года (на рисунке показаны темным цветом). На эту же диаграмму наложены данные по тем же видам (Субъектам РФ) за январь-февраль 2024 года, показанные на рисунке белым. Все данные получены на основе информации Росстата [Сайт Федеральной службы государственной статистики].

Как следует из рисунка, некоторые из видов 2024 года изменили свои показатели настолько, что должны были бы поменять ранг. Общий вид рангового распределения при этом меняется несущественно, однако факт изменения относительного положения разных элементов и составляющих ценоза говорит о наличии такой возможности, характеризует активность различных регионов России в плане развития въездного туризма, что должно привлечь внимание управленцев – представителей других регионов, исследователей, других заинтересованных специалистов.

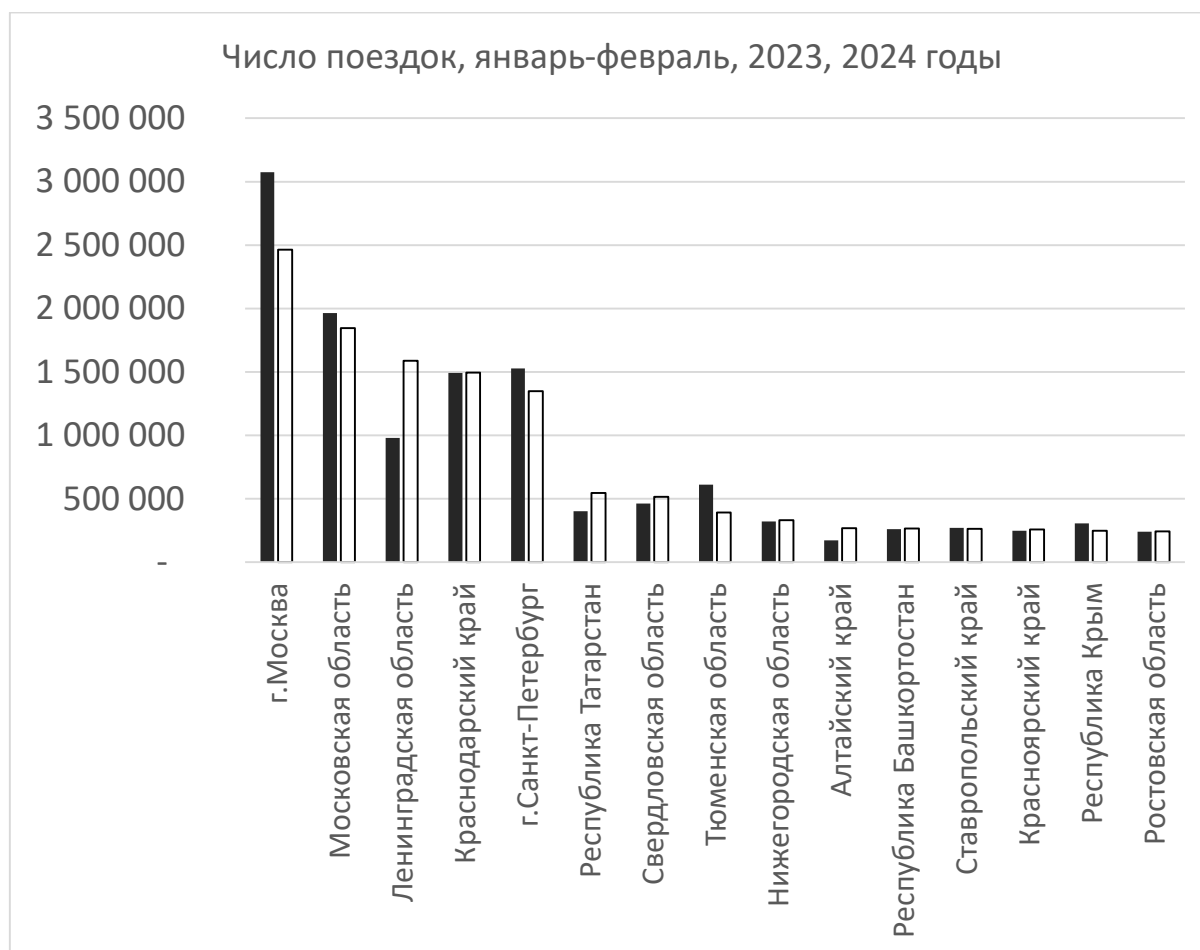


Рис. 4. Фрагмент рангового распределения числа поездок по Субъектам РФ за январь-февраль 2024 года (на рисунке выделены темным цветом) в сопоставлении с данными за январь-февраль 2023 года (на рисунке показаны светлым)
 Fig. 4. A fragment of the ranking distribution of the number of trips by Subjects of the Russian Federation for January-February 2024 (highlighted in dark color in the figure) in comparison with the data for January-February 2023 (shown in light color in the figure)

Для оценки интенсивности изменений в рангах отдельных видов предлагается рассчитывать коэффициент корреляции Спирмена. В самом деле, если в распределении видов ценоза не происходит никаких изменений, данный показатель даст значение «1». Если же изменения столь кардинальны, что все виды поменяли свои позиции на прямо противоположные, то выбранный показатель будет равен «-1». Картина изменений легко наблюдается на графике зависимости рангов текущего периода от рангов предыдущего анализируемого периода (рисунок 5). Кроме того, то, насколько велико расстояние конкретной точки от прямой $y=x$ (ситуация неизменности рангов с течением времени), может свидетельствовать о значительности изменений, происходящих в поведении и/или состоянии конкретного вида, в нашем случае Субъекта РФ в контексте ситуации с турпотоком. Так, например, субъективно выбранная далеко отстоящая от равновесной прямой точка соответствует Карачаево-Черкесской Республике, ранг которой в рассматриваемые периоды (январь-февраль 2023, 2024 гг.) изменился с 72-го до 26-го. По всей видимости, это связано с работой горнолыжных курортов КЧР. С другой стороны, Сахалинская область показала ухудшение своего состояния – изменение ранга с 30-го до 58-го. В целом, как следует из предлагаемого подхода и его иллюстрации, все виды, улучшившие свое состояние (уменьшившие ранг), располагаются ниже равновесной прямой, ухудшившие состояние – выше нее.

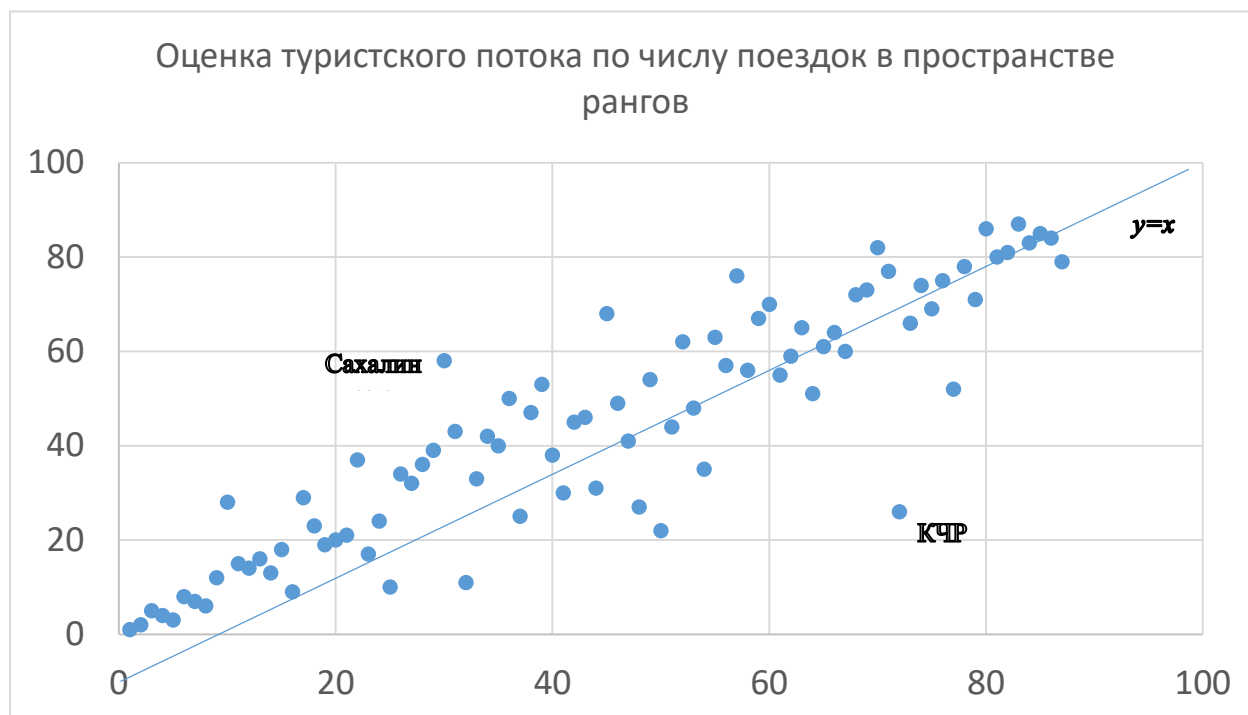


Рис. 5. Значения рангов отдельных видов ценноза «турпоток по числу поездок» в текущем году в зависимости от ранга в предыдущий период

Fig. 5. The values of the ranks of certain types of the price list "tourist flow by number of trips" in the current year, depending on the rank in the previous period.

Дальнейшее развитие этого подхода может быть связано с учетом двух аспектов, которые пока не формализованы. Во-первых, способ измерения расстояний, который требует дополнительных обоснований. Во-вторых, можно предположить, что изменения в рангах даются видам с разными затратами ресурсов в зависимости от того, насколько далеко они располагаются в рейтинге в текущий момент. Так, изменение ранга с 70-го на 69-й – это совсем не то же самое, что изменение ранга с 30-го на 29-й. Это связано с нелинейным характером рангового распределения. В так называемой «ноевой касте» любое, даже незначительное приращение исследуемого показателя может привести к существенному изменению ранга. С другой стороны, в «саранчовой касте» изменение ранга даже на единицу может потребовать значительных ресурсов.

Заключение

Таким образом, представленный инструментальный анализа состояния и динамики развития ценноза позволяет получить достаточно детальное, наглядное и легко интерпретируемое представление об объекте исследования. Сфера его применения – ценнозы, в которых изменения происходят достаточно быстро и которые есть возможность наблюдать. По сравнению с биоценнозами, процессы в экономике как раз соответствуют этому условию.

Описанный в работе авторский подход к анализу динамики экономических систем, основанный на комплексном использовании инструментария ценологического анализа и расчете коэффициентов Спирмена по полученным ранговым распределениям элементов этих систем, является новым. Его применение позволяет получить практически значимую информацию о благоприятности условий среды функционирования экономической системы.

Необходимо также отметить, что информационная база для применения описанного в работе подхода сформирована на основе открытых официальных данных, пополняется достаточно оперативно, что определяет значительный потенциал использования предлагаемого ценологического подхода и инструментария в процессах принятия решений и управления.

Список источников

- Кудрин Б.И. 1991. Введение в технетику. Томск: Изд-во ТГУ, 384 с.
- Сайт профессора Кудрина Б.И. URL: <http://www.kudrinbi.ru/> (дата обращения: 12.08.2024).
- Биоценоз. Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/c/biotsenoz-6c2e22> (дата обращения: 12.08.2024).
- Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/turizm> (дата обращения: 06.09.2024).
- Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/poezdki_08-2024.xlsx (дата обращения: 12.08.2024).
- Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Turpotok_07-2024.xlsx (дата обращения: 12.08.2024).
- Сайт Ассоциации Туроператоров. URL: <https://www.atorus.ru/news/press-centre/new/53770.html> (дата обращения: 12.08.2024).

Список литературы

- Гурина Р.В., Морозова Е.В. 2020. Ценология – учение о ценозах разной природы. *Образовательные технологии*, 1: 40–49.
- Гурина Р.В., Ланин А.А. 2005. Границы применимости закона рангового распределения. Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. Вып. 28 «Ценологические исследования». М.: Центр системных исследований», 429–437.
- Долятовский В.А. 2020. Оценки устойчивости и оптимизация характеристик экономических ценозов. *Фундаментальные исследования*, 5: 67–74.
- Колесников М.В. 2012. Модели состояния отрасли: ценологический подход. *Мир транспорта*, 6: 22–27.
- Кузьминов А.Н. 2009. Управление в социально-экономических системах на основе моделирования ценозов: теория, методология, инструментарий: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. Институт архитектуры и искусства ФГОУ ВПО Южный Федеральный университет, 360 с.
- Кузьминов А.Н. 2017. Ценологический инструментарий управления региональной рыночной средой предприятий малого бизнеса. Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 124 с.
- Кузьминов А.Н., Сахарова Л.В., Бухов Н.В. 2023. Алгоритм разработки ценологической эталонной модели в интеллектуальном анализе. *Информатизация в цифровой экономике*, 4(2): 153–166. doi: 10.18334/ide.4.2.118310.
- Кузьминов А.Н., Джуха В.М., Чефранов С.Г. 2018. Междисциплинарные основания исследования крупномасштабных экономических систем на основе теории ценозов: монография: под редакцией А.Н. Кузьминова, 237 с.
- Песоцкая Е.В., Селютина Л.Г. 2021. Методология управления бизнес-субъектами рынка туристских услуг в условиях активизации конкурентного процесса. *Экономика. Информатика*, 48(3): 495–506. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2021-48-3-495-506>.
- Пьянкова С.Г., Митрофанова И.В., Ергунова О.Т. 2023. Индустрия туризма в условиях «новой нормальности»: вызовы и перспективы. *Экономика. Информатика*, 50(2): 300–312. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2023-50-2-300-312>.
- Ступачев С.А. 2019. Оценка устойчивости экономических систем, описываемых экономическими ценозами, на примере банковского сектора Республики Молдова. *Экономические науки*, 181: 418–422.
- Фролов В.А. 2015. Границы технических и информационных ценозов в научно-технической литературе. Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития, вып. 2: 25–28.
- Фуфаев В.В. 2006. Экономические ценозы организаций. М.-Абакан: Центр системных исследований, 86 с.
- Чефранов С.Г. 2018. Развитие методов анализа экономических ценозов, основанных на регрессионных моделях ранговых распределений. *Новые технологии/New technologies*, 4: 186–192.
- Ядранка Д.Т., Марина Д., Милица Р.Ц. 2021. Детерминанты уклонения от уплаты налогов: эмпирическое исследование на материалах Сербии. *Экономика. Информатика*, 48(3): 514–527. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2021-48-3-514-527>.
- Ярошевич Н.Ю., Мигунов В.В. 2022. Проблема идентификации продуктовых границ отраслевого рынка промышленной продукции в ОКВЭД: эмпирический подход. *Экономика. Информатика*, 49(2): 308–326. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2022-49-2-308-326>.

References

- Gurina R.V., Morozova E.V. 2020. Cenology – the study of cenoses of different nature. *Educational technologies*, 1: 40–49.
- Gurina R.V., Lanin A.A. 2005. The limits of applicability of the law of rank distribution. Technogenic self-organization and mathematical apparatus of cenological research, Issue 28 "Cenological research". Moscow: Center for System Research, 429–437.
- Dolyatovsky V.A. 2020. Sustainability assessments and optimization of the characteristics of economic values. *Fundamental Research*, 5: 67–74.
- Kolesnikov M.V. 2012. Models of the state of the industry: a cenological approach. *The world of transport*, 6: 22–27.
- Kuzminov A.N. 2009. Management in socio-economic systems based on cenosis modeling: theory, methodology, tools dissertation for the degree of Doctor of Economics. Institute of Architecture and Art, Southern Federal University, 360 p.
- Kuzminov A.N. 2017. Cenological tools for managing the regional market environment of small businesses. Rostov n/A: SKNTSVSH, 124 p.
- Kuzminov A.N., Sakharova L.V., Bukhov N.V. 2023. An algorithm for developing a cenological reference model in intellectual analysis. *Informatization in the digital economy*, 4(2): 153–166. doi: 10.18334/ide.4.2.118310.
- Kuzminov A.N., Dzhukha V.M., Chefranov S.G. 2018. Interdisciplinary foundations of the study of large-scale economic systems based on the theory of cenoses: monograph: edited by A. N. Kuzminov, 237 p.
- Pesotskaya E.V., Selyutina, L.G. 2021. Methodology for managing business entities of the tourist services market in the context of intensifying the competitive process. *Economics. Information Technologies*, 48(3): 495–506. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2021-48-3-495-506>.
- Pyankova S.G., Mitrofanova I.V., Ergunova, O.T. 2023. Tourism Industry in the New Normal: Challenges and Prospects. *Economics. Information Technologies*, 50(2): 300–312. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2023-50-2-300-312>.
- Stupachev S.A. 2019. Assessment of the stability of economic systems described by economic values, using the example of the banking sector of the Republic of Moldova. *Economics*, 181: 418–422.
- Frolov V.A. 2015. The boundaries of technical and information values in scientific and technical literature. Technical Sciences: Trends, Prospects and Development technologies, vol. 2: 25–28.
- Fufaev V.V. 2016. Economic values of organizations. M.-Abakan: Center for System Research, 86 p.
- Chefranov S.G. 2018. Development of methods for analyzing economic values based on regression models of rank distributions. *New technologies*, 4: 186–192.
- Jadranka D.T., Marina D., Milica R.C. 2021. The determinants of tax evasion: empirical evidence from Serbia. *Economics. Information Technologies*, 48(3): 514–527. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2021-48-3-514-527>.
- Yaroshevich N.Y., Migunov V.V. 2022. The Problem of Identifying the Product Boundaries of the Industrial Sector Market in OKVED: an Empirical Approach. *Economics. Information Technologies*, 49(2): 308–326. <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2022-49-2-308-326>.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 29.10.2024

Поступила после рецензирования 25.12.2024

Принята к публикации 24.01.2025

Received October 29, 2024

Revised December 25, 2024

Accepted January 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чефранов Сергей Георгиевич, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры информационной безопасности и прикладной информатики, Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey G. Chefranov, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of Department of Information Security and Applied Informatics, Maikop State Technological University, Maikop, Russia



Гашева Зарина Джамбултовна, старший преподаватель кафедры менеджмента и региональной экономики, Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия

Zarina Dz. Gasheva, Senior Lecturer at the Department of Management and Regional Economics, Maikop State Technological University, Maikop, Russia

Амосов Антон Сергеевич, аспирант, Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия

Anton S. Amosov, PhD student, Maikop State Technological University, Maikop, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 332.1(330.332)

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-31-40

Модель функционирования наукоемкого локального рынка

Прядко С.Н.

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

Аннотация. В статье представлены краткие результаты исследования эффективности функционирования основных элементов локального наукоёмкого рынка, экономическими агентами которого являются передовые научные школы, инновационно-активные компании, специализированные центры инновационной инфраструктуры и многие другие элементы. Гипотезой исследования выступило предположение о том, что структурные и институциональные изменения, происходящие в экономической системе страны, оказывают влияние на все сегменты национального рынка; и в первую очередь – наукоемкого, в котором, помимо традиционных ресурсов (материальных и человеческих), задействованы интеллектуальные ресурсы, для формирования которых необходимо устойчивое взаимодействие всех элементов рыночной системы. Цель проведения исследования – формирование модели наукоемкого локального рынка. Объектом выступил наукоемкий рынок Белгородской области. В качестве метода исследования был использован контент-анализ научных публикаций в поисковой системе Google Scholar и анализ статистических данных Территориального органа Федеральной службы Государственной статистики по Белгородской области. В результате проведенного исследования была сформирована теоретическая модель функционирования наукоемкого локального рынка, составными элементами которой выступили: инновационная экосистема, инновационная инфраструктура, наукоемкий высокотехнологичный локальный рынок и интеллектуальные продукты, которые встроены в инновационный цикл и цепочку создания ценности для продвижения результатов НИОКР на рынок. Отдельные элементы предлагаемой модели были проанализированы, исходя из существующих параметров наукоемкого рынка Белгородской области.

Ключевые слова: наукоемкий локальный рынок, модель наукоемкого локального рынка, инновационная экосистема, инновационная инфраструктура, интеллектуальный продукт

Для цитирования: Прядко С.Н. 2025. Модель функционирования наукоемкого локального рынка. *Экономика. Информатика*, 52(1): 31–40. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-31-40

Model of Functioning of Knowledge-Intensive Local Market

Svetlana N. Pryadko

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

Abstract. The article presents brief results of the study into the efficiency of the main elements of the local knowledge-intensive market, the economic agents of which are advanced scientific schools, innovation-active companies, specialized centers of innovation infrastructure, and other elements. The hypothesis of the study was the assumption that the structural and institutional changes occurring in the economic system of the country affect all segments of the national market, and first of all, the knowledge-intensive one. Apart from the traditional

© Прядко С.Н., 2025

resources (material and human), this segment involves intellectual assets. Their promotion requires stable interaction of all elements of the market system. The aim of the study was to build a model of a knowledge-intensive local market. The object of the study was the knowledge-intensive market of the Belgorod region. The research methods included a content analysis of scientific publications in the Google Scholar search engine and the analysis of statistical data of the Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Belgorod Region. The research result allows forming a theoretical model of the functioning of a knowledge-intensive local market, the constituent elements of which are: an innovative ecosystem, an innovative infrastructure, a knowledge-intensive high-tech local market and intellectual products that constitute part of the innovation cycle and the value chain for promoting research-and-development products in the market. Individual parameters of the model were analyzed based on the existing parameters for the region's knowledge-intensive market.

Keywords: knowledge-intensive local market, model of a knowledge-intensive local market, innovative ecosystem, innovative infrastructure, intellectual product

For citation: Pryadko S.N. 2025. Model of Functioning of Knowledge-Intensive Local Market. *Economics. Information technologies*, 52(1): 31–40 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-31-40

Введение

В настоящее время в российской экономике складываются условия, необходимые (достаточные) для создания, освоения и развития наукоемких локальных рынков, которые обусловлены следующими возможностями:

- объективным «созреванием» российской экономики, формированием рыночных, институциональных и других, в том числе ментальных, элементов, необходимых для осуществления качественного (прорывного) перехода экономики на очередной технологический уклад;

- наличием значительного количества освободившихся рыночных ниш на различных, в том числе наукоемких высокотехнологичных рынках, традиционно занятых во всех странах мира крупными западными компаниями-лидерами в отрасли;

- перманентным и поступательным повышением уровня жизни населения; увеличением платежеспособного спроса; развитием покупательского поведения и вкуса, предпочтений к продуктам и услугам определенного технического инновационного (не потребительского) уровня.

В формирующихся условиях важным направлением экономического развития на национальном и локальных уровнях является формирование новых цепочек создания добавленной стоимости для российских компаний, работающих на освобождающихся и создающихся сегментах наукоемких локальных рынков. Поэтому анализ потенциала развития данных сегментов является, на наш взгляд, актуальной и практически значимой проблемой исследования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступил локальный наукоемкий рынок (на примере Белгородской области). Цель исследования – разработка модели функционирования наукоёмкого локального рынка. Методы исследования: контент-анализ научной литературы по проблеме исследования в поисковой системе Google Scholar [Google Scholar]; анализ статистической информации, характеризующей показатели деятельности наукоёмкого рынка Белгородской области [Передовые производственные технологии..., 2024].

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный анализ научной литературы показал, что в поисковых системах Google Scholar значительное количество публикаций посвящено исследованиям наукоёмкого локального рынка (результатов: примерно 243 000 (0,16 сек.)). Динамика тематических публикаций в Google Scholar представлена в табл. 1.

Согласно представленным данным видно, что значительное увеличение научного интереса (практически в 10 раз) к исследованиям наукоемкого рынка происходит в 80-х годах XX века. Данный этап условно может быть отнесен к периоду формирования наукоемкого рынка в большинстве ведущих стран. В дальнейшем наблюдается положительная, но сокращающаяся динамика публикаций, что может свидетельствовать о формировании зрелости рынка и «переходе» исследований в более детальные (прикладные) области функционирования наукоемкого рынка. Замедление темпов роста публикационной активности свидетельствует о накоплении потенциала для перехода экономик стран к следующему технологическому укладу, который частично осуществляется и в настоящий период времени.

Таблица 1
Table 1

Динамика тематических публикаций в Google Scholar по семантическому запросу
«knowledge-intensive market» (25.04.2024)
Dynamics of thematic publications in Google Scholar for the semantic query
“knowledge-intensive market” (April 25, 2024)

Период, год	Количество тематических публикаций	Темпы роста (%)
1950–1960	8	
1961–1970	30	3,75
1971–1980	177	5,9
1981–1990	1750	9,89
1991–2000	8730	4,99
2001–2010	25700	2,94
2011 – настоящее время	35800	1,39

Нами были более детально проанализированы наиболее цитируемые англоязычные тематические публикации, характеризующие актуальное состояние наукоемкого рынка. Исследование показало, что в подавляющем числе исследований за основу динамики рынка принят инновационный цикл и цепочка создания ценности интеллектуального продукта. В качестве основных элементов функционирования наукоёмкого рынка выделяют следующие:

- инновационные экосистемы [Wang C.H., Chang C.H., Lee Z.C.R., 2022; Cennamo C., 2021; Granstrand O., Holgersson M., 2020; Dedehayir O., Mäkinen S.J., Ortt J.R., 2018; Oh D.S. et al., 2016; Jackson D.J., 2011; Adner R., 2006];
- инновационная инфраструктура [Andersson D., Berger T., Prawitz E., 2023; Nipa T.J., Kermanshachi S., Subramanya K., 2022; Terziev V., Klimuk V., 2021; Domanski D., Howaldt J., Kaletka C., 2020];
- интеллектуальные продукты (Sohn K., Kwon O., 2020; Zheng P. et al., 2019, 2018; Kusiak A., 2018];
- наукоемкий высокотехнологичный рынок (Antonelli C., Orsatti G., Piali G., 2023; Kong Q. et al., 2022; Eskindarov M. A. et al., 2021; Karagouni G., 2018].

Контент-анализ публикаций позволил сформировать модель функционирования наукоемкого рынка на локальном уровне (рис. 1).

Таким образом, модель функционирования наукоемкого локального рынка может быть выстроена на основании инновационного цикла, включающего в себя последовательные этапы превращения научного знания в интеллектуальный продукт, реализующийся на рынке. В основе создания интеллектуального продукта находится цепочка создания ценности, которая включает в себя корректировки, необходимые и связанные с затратами и рисками создания и вывода интеллектуального продукта на наукоемкий рынок.

Классификация интеллектуальных продуктов и параметров наукоёмкого рынка зависит от многих факторов: уровня экономической зрелости; технологического уклада, реализующегося в стране; ресурсного и человеческого потенциала и многого другого.

В условиях российского рынка ведущим критерием для отнесения продукции к наукоемкой является новизна, характеризующаяся признаками отсутствия аналогов на рынке, использование сложных технологий для производства продукции и проведения работ и другое [Приказ Министерства..., 2020].

Параметры наукоемкого рынка в разных странах также варьируются, но основными требованиями являются следующие:

- наукоемкими рынками в любой период времени являются рынки следующего технологического уклада;
- ядром рынка являются высокотехнологичные инновационно-активные компании;
- рост рынка обеспечивается за счет производства и продажи продуктов и услуг нового и принципиально нового уровня передовой техники и технологии;
- изменение структуры потребления на рынке происходит в сторону увеличения потребления высокотехнологичной продукции.

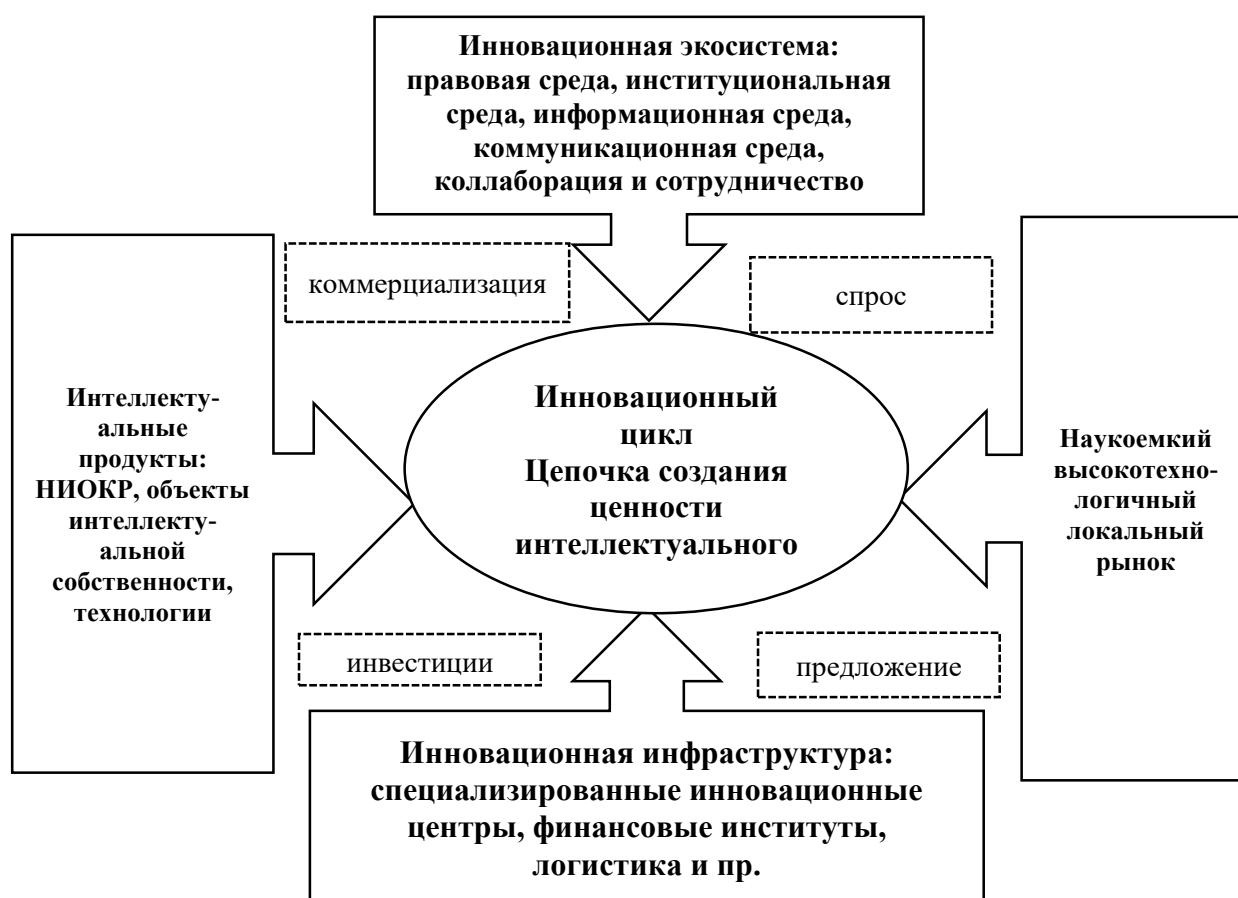


Рис. 1. Модель функционирования наукоемкого локального рынка
 Fig. 1. Model of functioning of a knowledge-intensive local market

Для оценки актуального состояния развития наукоемкого рынка Белгородской области нами были проанализированы статистические данные по проблеме исследования. Ядром функционирования наукоемкого локального рынка являются показатели инновационной активности организаций; число и структура передовых технологий, используемых для производства продукции. Исследования показывают, что в 2023 году уровень инновационной активности организаций рынка соответствовал 23,8 % (рис. 2).

В статистической отчетности под инновационной активностью организации понимается любая исследовательская деятельности, в том числе финансовая, коммерческая, направленная на создание и усовершенствование продуктов и услуг. Основой наукоемкого рынка является ядро компаний, осуществляющих внедрение

передовых технологий. Статистические данные показывают, что число таких компаний на рынке Белгородской области соответствует 1,4 % организаций из 555, принявших участие в статистическом обследовании. Для сравнения, в 2015 году данный показатель составлял 12,6 %. Динамика разрабатываемых передовых технологий в анализируемом периоде также была отрицательной (рис. 3).

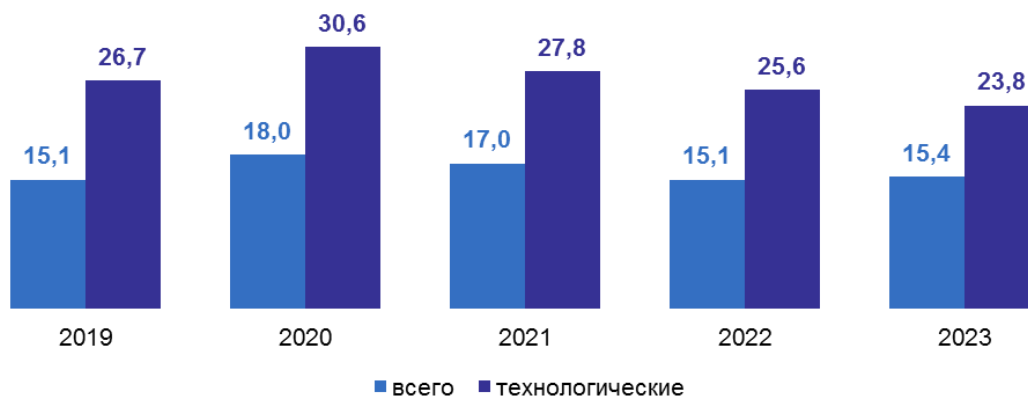


Рис. 2. Уровень инновационной активности организаций
Белгородской области (в процентах от общего числа обследованных организаций)
[Статистика..., 2024]

Fig. 2. Level of innovative activity of organizations of Belgorod region (as a percentage of the total number of organizations surveyed) [Statistics..., 2024]



Рис. 3. Динамика численности организаций, разрабатываемых технологий и числа разработанных технологий (единиц) [Статистика..., 2024]

Fig. 3. Dynamics of the number of organizations, technologies being developed and the number of technologies developed (units) [Statistics..., 2024]

Отдельным критерием, характеризующим зрелость и потенциал наукоемкого рынка Белгородской области, в том числе в направлении формирования высокотехнологических кластеров, является структура используемых передовых производственных технологий (рис. 4).

Согласно представленным данным видно, что ведущее количество используемых передовых технологий компаниями рынка относится к категории технологий автоматизированной идентификации, наблюдения и контроля (34,7 %); связи управления и геоматики (19,0 %); производственных информационных систем и автоматизации управления производством (13,6 %); производство, обработка, транспортировка и сборка (13,5 %). Всего компаниями рынка в 2023 году было использовано 3382 передовые производственные технологии. Структура используемых передовых технологий характеризует уровень спроса на данном рынке.



Рис. 4. Структура используемых передовых производственных технологий компаниями Белгородской области по видам в 2023 году (процентов) [Статистика..., 2024]
 Fig. 4. Structure of advanced production technologies used by companies in the Belgorod region by type in 2023 (percent) [Statistics..., 2024]

Ведущим количественным параметром наукоемкого рынка являются объемы и структура финансирования разработки интеллектуальных продуктов и внедрения их на рынок. Исследование показывает, что динамика финансирования интеллектуальных разработок имеет положительную динамику (рис. 5). Согласно представленным данным видно, что основную долю в структуре внутренних затрат на исследование и разработки в условиях наукоемкого рынка Белгородской области в 2023 году составляли средства бюджета всех уровней (47,5 %). Средства организаций предпринимательского сектора и собственные средства научных организаций составляли 27,9 и 20,2 % соответственно. Структура финансирования научных исследований косвенно характеризует инвестиционную привлекательность данного рынка. И необходимо отметить, что данная структура отличается от структуры ведущих стран, так как основными заказчиками инноваций в развитых наукоемких рынках выступают ведущие высокотехнологичные компании. Наиболее гармоничная структура внутренних затрат на исследования и разработки в анализируемом периоде была в 2015 году.

Объем произведенной и отгруженной инновационной продукции в 2023 году в Белгородской области составил 192,6 млрд рублей. Структура произведенной отгруженной продукции представлена на рис. 6.

Согласно представленным данным видно, что основной категорией инновационной продукции наукоемкого рынка Белгородской области являются инновационные товары, работы, услуги организаций промышленного производства. Из них организациям добычи полезных ископаемых принадлежало 67,5 %, обрабатывающим производствам – 32,4 %. За пределы Российской Федерации в 2023 году организациями наукоемкого рынка Белгородской области было экспортировано 46,2 % объема отгруженной инновационной продукции на сумму 74774,8 млн рублей.

Представленный краткий анализ статистических данных показывает, что Белгородская область обладает необходимым потенциалом для наукоемкого кластерного развития экономики. Возможные сегменты наукоемкого рынка Белгородской области в критерии – соотношение разработанных и используемых интеллектуальных продуктов (передовых производственных технологий) в организациях Белгородской области – представлены в табл. 2.

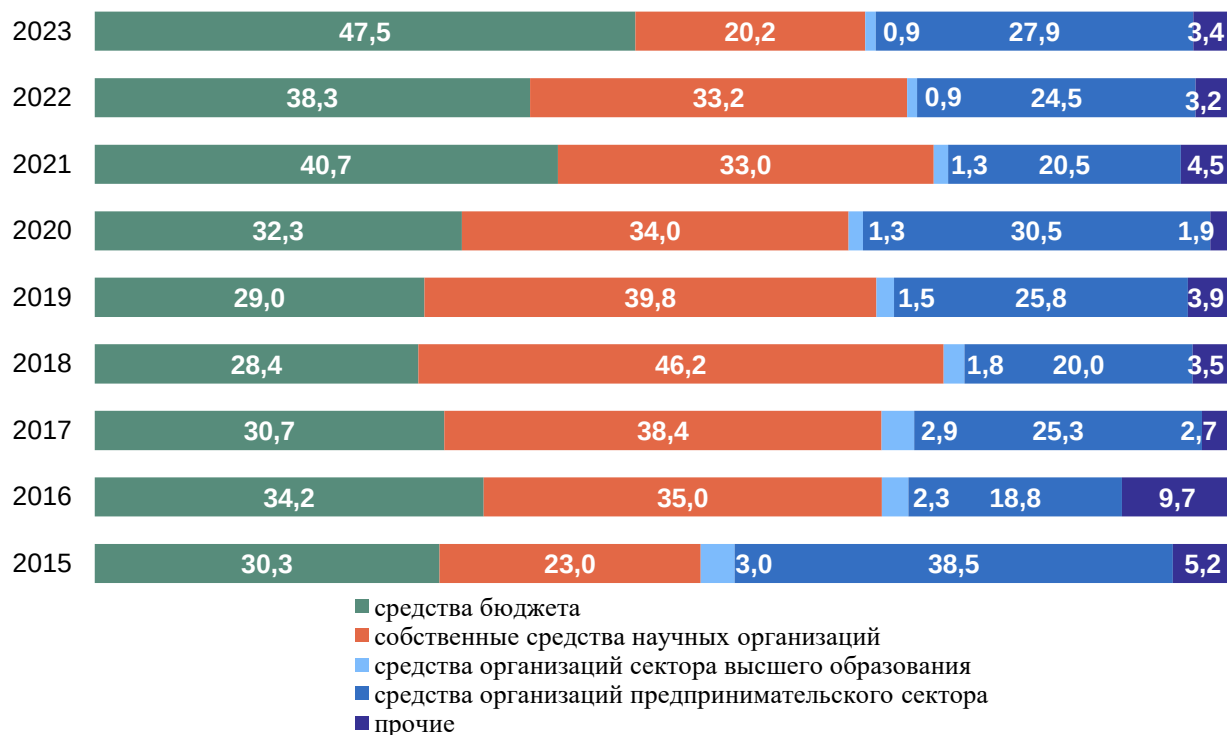


Рис. 5. Распределение внутренних затрат на научные исследования и разработки по источникам финансирования (в процентах к итогу) [Статистика..., 2024]

Fig. 5. Distribution of internal research costs and developments by funding sources (as a percentage of the total) [Statistics..., 2024]



Рис. 6. Объем произведенной и отгруженной инновационной продукции в 2023 году в Белгородской области

Fig. 6. Volume of manufactured and shipped innovative products in 2023 in the Belgorod region

Таблица 2
 Table 2

Соотношение разработанных и используемых интеллектуальных продуктов
 (передовых производственных технологий) в организациях Белгородской области
 The ratio of developed and used intellectual products (advanced production technologies)
 in organizations of the Belgorod region

Интеллектуальные продукты (передовые производственные технологии)	Разработанные интеллектуальные продукты (передовые производственные технологии) Предложение на рынке		Используемые интеллектуальные продукты (передовые производственные технологии) Спрос на рынке	
	2022	2023	до 1 года	от 1 года до 3 лет
1	2	3	4	5
Сегмент 1. Приоритетные интеллектуальные продукты (по принадлежности к передовым производственным технологиям) локального наукоемкого рынка (стабильно высокие показатели)				
Производство, обработка, транспортировка и сборка	Статистическая информация не публикуется	11	18	146
Связь, управление и геоматика	5	Статистическая информация не публикуется	16	104
Сегмент 2. Перспективные интеллектуальные продукты (по принадлежности к передовым производственным технологиям) локального наукоемкого рынка (с максимальным показателем роста)				
Технологии автоматизированной идентификации, наблюдения и/или контроля	Статистическая информация не публикуется	Статистическая информация не публикуется	8	1085
Производственная информационная система и автоматизация управления производством	3	Статистическая информация не публикуется	31	156
Сегмент 3. Поддерживающие интеллектуальные продукты (по принадлежности к передовым производственным технологиям) локального наукоемкого рынка (обладающие потенциалом, но демонстрирующие незначительную динамику роста)				
Передовые методы организации и управления производством	Статистическая информация не публикуется	Статистическая информация не публикуется	12	53
Проектирование и инжиниринг	Статистическая информация не публикуется	Статистическая информация не публикуется	11	27
Сегмент 4. Высокотехнологичные интеллектуальные продукты (по принадлежности к передовым производственным технологиям) локального наукоемкого рынка (требуют применения венчурного финансирования и стратегической поддержки)				
Технологии промышленных вычислений и больших данных	Статистическая информация не публикуется	Статистическая информация не публикуется	14	59
«Зеленые» технологии	Статистическая информация не публикуется	Статистическая информация не публикуется	Статистическая информация не публикуется	19

Заключение

Таким образом, исследование показывает наличие определенного дисбаланса показателей наукоемкого рынка Белгородской области. В результате сегментации можно выделить несколько сегментов для дальнейшего кластерного развития данного рынка: приоритетные передовые интеллектуальные продукты для кластерного развития (стабильно высокие показатели); перспективные интеллектуальные продукты для кластерного развития (с максимальным показателем роста); поддерживающие интеллектуальные продукты для кластерного развития (обладающие потенциалом, но демонстрирующие сокращение динамики); высокотехнологичные интеллектуальные продукты для кластерного развития (требуют применения венчурного финансирования и стратегической поддержки).

Список источников

- Поисковая система по научным публикациям Google Scholar URL: <https://scholar.google.ru/schhp?hl=ru> (дата обращения: 25.04.2024)
- Передовые производственные технологии, наука и инновации в экономике Белгородской области в 2023 году: Аналитический материал / Белгородстат – 2024 г. – 72 с.
- Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 17 февраля 2020 г. N 521 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ и услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции по отраслям, относящимся к установленной сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации» // Информационно-правовой портал «Гарант.ру». URL: <https://base.garant.ru/73791873/> (дата обращения: 10.12.2024).

References

- Adner R. 2006. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard business review*, 84 (4): 98–107. PMID: 16579417
- Andersson D., Berger T., Prawitz E. 2023. Making a market: Infrastructure, integration, and the rise of innovation. *The Review of Economics and Statistics*, 105 (2): 258–274. DOI: 10.2139/ssrn.3540253
- Antonelli C., Orsatti G., Piali G. 2023. The knowledge-intensive direction of technological change. *Eurasian Business Review*, 13: 1–27. DOI: 10.1007/s40821-022-00234-z
- Cennamo C. 2021. Competing in digital markets: a platform-based perspective. *Academy of Management Perspectives*, 35 (2): 265–291. DOI: 10.5465/amp.2016.0048
- Dedehayir O., Mäkinen S.J., Ortt J.R. 2018. Roles during innovation ecosystem genesis: A literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 136: 18–29. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.11.028
- Domanski D., Howaldt J., Kaletka C. 2020. A comprehensive concept of social innovation and its implications for the local context – on the growing importance of social innovation ecosystems and infrastructures. *European Planning Studies*, 28 (3): 454–474.
- Eskindarov M.A. et al., 2020. Human capital competencies in high-tech and knowledge-intensive sectors of the economy. *Ekonomicheskie i Sotsialnye Peremeny*, 13 (6): 199–214. DOI: 10.15838/esc.2020.6.72.12
- Granstrand O., Holgersson M. 2020. Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. *Technovation*, 90: 102098. DOI: 10.1016/j.technovation.2019.102098
- Jackson D.J. 2011. What is an innovation ecosystem? National science foundation, 1 (2): 1–13.
- Karagouni G. 2018. Production technologies and low-technology knowledge-intensive venturing. *EuroMed Journal of Business*, 13 (2): 1–11. DOI: 10.1108/EMJB-11-2016-0033
- Kong Q. et al. 2021. High-technology development zones and innovation in knowledge-intensive service firms: Evidence from Chinese A-share listed firms. *International Review of Financial Analysis*, 78: 101883. DOI: 10.1016/j.irfa.2021.101883
- Kusiak A. 2018. Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56 (1-2): 508–517. DOI:10.1080/00207543.2017.1351644



- Nipa T.J., Kermanshachi S., Subramanya K. 2022. Development of Innovative Strategies to Enhance the Resilience of the Critical Infrastructure. *Construction Research Congress 2022*: 111–120. DOI: 10.1061/9780784483954.012
- Oh D.S. et al. 2016. Innovation ecosystems: A critical examination. *Technovation*, 54: 1–6. DOI: 10.1016/j.technovation.2016.02.004
- Sohn K., Kwon O. 2020. Technology acceptance theories and factors influencing artificial Intelligence-based intelligent products. *Telematics and Informatics*, 47: 101324. DOI: 10.1016/j.tele.2019.101324
- Terziev V., Klimuk V. 2021. Development of R&D and innovation infrastructure of China and Belarus. Conference: 73rd International Scientific Conference on Economic and Social Development – «Sustainable Tourism in Post-pandemic World» – Dubrovnik.
- Wang C.H., Chang C.H., Lee Z.C.R. 2022. Business-to-business platform ecosystem practices and their impacts on firm performance: evidence from high-tech manufacturing firms. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33 (5): 1005–1016. DOI: 10.1108/IJOPM.07.2021.0253
- Zheng P. et al. 2018. A systematic design approach for service innovation of smart product-service systems. *Journal of cleaner production*, 201: 657–667. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.101
- Zheng P. et al. 2018. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13: 137–150. DOI: 10.1007/s11465-018-0499-5
- Zheng P. et al. 2019. A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Advanced engineering informatics*, 42: 100973. DOI: 10.1016/j.aei.2019.100973

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 11.12.2024

Поступила после рецензирования 18.02.2025

Принята к публикации 03.03.2025

Received December 11, 2024

Revised February 18, 2025

Accepted March 03, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 332.142.6

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-41-55

Сравнительный анализ технологий снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах

Ефремкова Т.И., Нагайцев И.А., Петрова Т.В.

Сибирский государственный индустриальный университет

Россия, 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42

efremkova_ti@sibsiu.ru, ia.nagaitzev@yandex.ru, ptrvt@mail.ru

Аннотация. В работе приведено описание технологий снижения выбросов парниковых газов, доступных угледобывающим предприятиям. В рамках работы приведены результаты экспертной оценки критериев выбора технологий снижения выбросов парниковых газов (метана) для реализации на угольных шахтах. Экспертная оценка проведена на основе мнений группы экспертов, в которую вошли руководящие работники угледобывающих и проектных предприятий, сотрудники профильных аналитических центров и научно-производственных объединений, преподаватели профильных кафедр университетов. Цель работы состоит в оценке критериев технологий снижения выбросов парниковых газов, характерных для угледобывающих предприятий методом сравнительного анализа. Задачей исследования является проведение сравнительного анализа и выводов о том, на какие критерии необходимо обращать внимание при выборе к реализации технологии снижения выбросов парниковых газов (метана) угольными шахтами. В результате выполненного исследования сделаны выводы о наиболее релевантных критериях при выборе к реализации технологии снижения выбросов парниковых газов (метана) угольными шахтами. Экспертная оценка критериев дает возможность впоследствии обоснованно принимать решения при выборе технологии в процессе управления выбросами парниковых газов угледобывающими предприятиями.

Ключевые слова: технологии снижения выбросов парниковых газов (метана), угледобывающая отрасль, шахтный метан, экспертная оценка

Для цитирования: Ефремкова Т.И., Нагайцев И.А., Петрова Т.В. 2025. Сравнительный анализ технологий снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах. *Экономика. Информатика*, 52(1): 41–55. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-41-55

Comparative Analysis of Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Coal Mines

Tatyana I. Efremkova, Ilia A. Nagaitsev, Tatyana V. Petrova

Siberian State Industrial University

building 42, Kirova St, Novokuznetsk 654007, Russia

efremkova_ti@sibsiu.ru, ia.nagaitzev@yandex.ru, ptrvt@mail.ru

Abstract. The paper describes greenhouse gas (GHG) abatement technologies available to coal mining companies. As part of the work, we present the results of the expert assessment of the criteria for selecting technologies for reducing greenhouse gas (methane) emissions to be implemented at coal mines. The expert assessment was carried out, based on the opinions of a group of experts which included senior officials of coal mining and project enterprises, employees of specialized analytical centers and scientific and industrial

© Ефремкова Т.И., Нагайцев И.А., Петрова Т.В., 2025

associations, and teachers of specialized departments of universities. The purpose of the work is to evaluate the criteria of greenhouse gas emission reduction technologies typical of coal mining enterprises using the method of comparative analysis. The aim of the study is to conduct a comparative analysis and to identify criteria that should be taken into account when choosing a technology for reducing greenhouse gas emissions (methane) from coal mines. As a result of the study, conclusions have been drawn about the criteria which are most relevant for the above purpose. The expert evaluation of the criteria will allow to make an informed decision on the selection of the technology in the process of managing GHG emissions from coal mines.

Keywords: technologies for reducing greenhouse gas (methane) emissions, coal mining industry, coal mine methane, expert assessment

For citation: Efremkova T.I., Nagaytsev I.A., Petrova T.V. 2025. Comparative Analysis of Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Coal Mines. *Economics. Information technologies*, 52(1): 41–55 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-41-55

Введение

В настоящее время климатические изменения – одна из ключевых проблем в общемировой повестке. Климатические изменения, кроме прочих причин, связаны с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, которые способствует росту температуры. Для стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который бы не допускал опасного антропогенного воздействия на климатическую систему, была принята Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций (ООН) об изменении климата (заключена в г. Нью-Йорке 9 мая 1992 г.) [United Nations Framework Convention on Climate Change..., 1992], направленная на борьбу с климатическими изменениями. В настоящее время правовой основой международного взаимодействия по вопросам изменения климата является Парижское соглашение [Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change..., 2015].

Выполненный группой экспертов анализ эффективности мер климатических политик, реализуемых различными странами в рамках Парижских соглашений, показал, что в четырех секторах, 41 стране за два десятилетия выявлено 63 успешных политических вмешательства с большим эффектом, результатом которых стало сокращение общих выбросов парниковых газов на 0,6–1,8 Гт CO₂ экв [Stechemesser, 2024].

В 2021 году глобальные выбросы CO₂ при сжигании топлива выросли почти на 6 %, вернувшись к уровням, предшествовавшим пандемии Covid-19. Ископаемые виды топлива по-прежнему составляют 80 % от общего объема энергоснабжения (ТЭС) в мире, при этом на нефть приходится почти 30 %, за ней следуют уголь (27 %) и природный газ (24 %). В глобальных выбросах от сжигания топлива преобладают уголь (44 %), нефть (32 %) и природный газ (22 %) [Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer..., 2023]. В частности, в России наибольший объем выбросов парниковых газов приходится на энергетический сектор, в том числе от сжигания ископаемых видов топлива (86 %), потерь и технологических выбросов топливных продуктов атмосферу (14 %) от деятельности по добыче углеводородов [Охрана окружающей среды в России..., 2022], в том числе угля.

Обзор литературы

Анализом выбросов парниковых газов от угледобывающей отрасли занимаются научные сотрудники и исследователи различных научных центров и объединений.

Международное энергетическое агентство (МЭА) в своем ежегодном обзоре выбросов метана дает оценку, что метан ответственен примерно за 30 % повышения глобальной температуры со времен промышленной революции, и быстрое и устойчивое сокращение выбросов метана имеет ключевое значение для ограничения потепления в краткосрочной

перспективе и улучшения качества воздуха [Global Methane Tracker..., 2023]. Две ключевые характеристики определяют влияние различных парниковых газов на климат: продолжительность их пребывания в атмосфере и их способность поглощать энергию. Метан имеет гораздо более короткое время жизни в атмосфере, чем углекислый газ (CO_2) – около 12 лет по сравнению со столетиями – но поглощает гораздо больше энергии, пока существует в атмосфере. Объем выбросов метана в мире представлен на рис. 1.

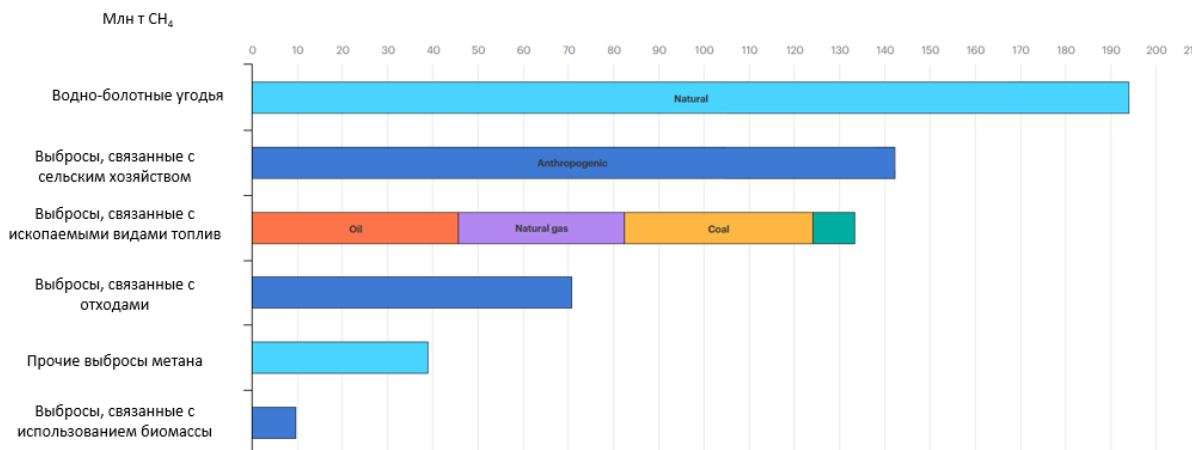


Рис. 1. Объем выбросов метана в мире в 2022 г. [Global Methane Tracker..., 2023]

Fig. 1. Global methane emissions in 2022 [Global Methane Tracker..., 2023]

На деятельность, связанную с добычей, переработкой, обогащением и дальнейшим использованием угля, по оценкам МЭА, приходится 41,8 млн т CH_4 , что составляет более 10 % от общего объема выбросов метана в результате деятельности человека. На энергетический уголь и лигнит приходится около 75 % выбросов шахтного метана, а на коксующийся уголь – оставшиеся 25 %. Добыча угля подземным способом ответственна за около 70 % выбросов, а открытым – за оставшуюся часть.

Аналитическое агентство EMBER в своем обзоре оценивает влияние угледобывающей отрасли на глобальные выбросы метана [Understanding the EU's Methane Regulation for coal..., 2024]. В своем обзоре аналитики дают оценку выбросов в странах, занимающихся добычей угля, со времени первого в истории Регламента ЕС по метану. Специалисты проанализировали существующие технологии сокращения выбросов метана и потенциальные сокращения от их использования.

Оценка показателей выбросов парниковых газов для угольных теплоэлектростанций выполнена сотрудниками Научно-исследовательского института «Центр экологической промышленной политики». Они отметили решения, направленные на снижение выбросов в теплоэнергетике, включающие переход от угля к сжиганию природного газа, внедрение парогазовых установок, повышение коэффициента полезного действия при производстве электрической энергии на конденсационных электростанциях [Росляков, 2023].

Потенциал снижения выбросов метана и связанные с этим затраты на угольных шахтах Китая рассмотрены в работе китайских ученых [Kang, 2024]. В работе выполнена оценка и прогноз выбросов метана угольных шахт в провинциях Китая, показаны потенциал смягчения последствий и затраты при различных сценариях добычи угля с учетом интеграции динамических коэффициентов выбросов метана и ключевых технологий снижения выбросов.

Авторы Блиновская Я.Ю. и Мазлова Е.А. выполнили анализ воздействия выбросов парниковых газов в атмосферу при добыче угля [Блиновская, 2019]. В работе сделаны выводы, что существенное сокращение выбросов парниковых газов в отрасли весьма проблематично из-за горно-геологических условий и отсутствия необходимых технологий и по этим причинам ратификация Парижского соглашения по климату приводит к дополнительным затратам

угольных компаний и отдельных предприятий и росту себестоимости добычи угля. В другой работе авторы отметили основные тренды климатической политики в сфере добычи и переработки угля [Блиновская, 2019]. Авторы относят к основным факторам, ограничивающим в настоящее время реализацию климатической доктрины в угледобывающей отрасли: отсутствие полноценной испытательной стендовой базы, недостаточное научное сопровождение отработки угольных пластов в особо опасных горно-геологических условиях, недостаточный учет местных и слоевых скоплений метана у горных машин и буровых станков в системе аэрогазового контроля.

Агентство по охране окружающей среды США (The Environmental Protection Agency (EPA)) дает оценку выбросам метана от добычи угля, которые составят 10 % от мировых выбросов метана к 2030 г. [Opportunities to Globally Address Coal Mine Methane Emissions..., 2024]. Наибольшие выбросы метана от добычи угля придутся на страны-производители: Китай, Россию, США, Индию и Австралию. Агентство по охране окружающей среды оценивает, что около 64 % прогнозируемых выбросов в 2030 году можно будет избежать, используя доступные технологии снижения выбросов метана от угледобычи.

Воздействие угольной промышленности на окружающую среду и, в том числе, на климат, рассмотрено в работе авторов Сунчугашевой Е.А. и Игнатовой А.Ю. Авторы отметили, что основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в угольной промышленности являются отвалы пустой породы, транспортировка и хранение угля, буровзрывная техника, выбросы от котельных установок и вентиляционные стволы шахт, через которые происходит выброс парникового газа – метана в результате процесса дегазации и проветривания [Сунчугашева, 2018].

Обзор состояния и возможностей смягчения последствий изменения климата путем сокращения выбросов шахтного метана выполнен в работе команды исследователей из различных стран [Karacan, 2024]. В своей работе они описывают источники метана угольных шахт, исследования мониторинга и инвентаризации, а также методы смягчения последствий, там же обсуждается вклад шахтного метана в глобальные выбросы метана в контексте изменения климата.

Исследование Института экономики энергетики и финансового анализа (IEEFA) показало, что на долю метана приходится около 30 % общих выбросов парниковых газов в Австралии [Gross under-reporting of fugitive methane missions has big implications for industry..., 2023]. Поскольку потенциал влияния на глобальное потепление у метана выше, чем у углекислого газа, предприятия сталкиваются с проблемой сокращения выбросов метана в результате своей деятельности. Исследователи считают, что такие технологии, как системы каталитического окисления и дегазации, в случае их коммерциализации могут вывести добычу угля на новый уровень устойчивого будущего, к которому стремится Австралия.

Оценку сокращения выбросов метана в горнодобывающей промышленности в своей работе дает Профессор Могтадери из Института энергетики и ресурсов Ньюкасла [Moghtaderi, 2019].

Технологии сокращения выбросов парникового газа – метана рассмотрены в работе научных сотрудников Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук [Тайлаков, 2022]. В работе представлен ретроспективный анализ выбросов метана при угледобыче подземным и открытым способами, а также последующей деятельности с углем, извлеченным подземным способом в Кузбассе. Рассмотрены современные технологии переработки угольного метана, который выводится на поверхность вентиляционными и дегазационными системами угольных шахт для получения химических продуктов, тепловой и электрической энергии.

Материалы и методы исследования

Ранее в рамках исследования был произведен сравнительный анализ технологий снижения выбросов метана, применяемых на угольных шахтах по всему миру [Нагайцев, 2024]. Отмечено, что проблема климатических изменений напрямую связана с антропогенными выбросами парниковых газов. Наибольшую часть выбросов парниковых

газов составляют выбросы от энергетического сектора, в том числе от деятельности по подземной добыче угля (выбросы метана шахтами). Поэтому рассмотрим основные технологии снижения выбросов метана в угольной отрасли в рамках снижения выбросов парниковых газов в целом.

Генерация электроэнергии. Технология позволяет утилизировать метан, откачиваемый дегазационными установками с концентрацией не менее 25 % посредством газопоршневых установок с генерацией полезной электроэнергии.

Выработка тепла. Технология позволяет утилизировать метан, откачиваемый дегазационными установками с концентрацией не менее 30 %. Опыт переработки дегазационного метана в блочно-модульной котельной и теплоэлектростанции на шахтах Кузбасса для выработки тепловой энергии описывается в работе кузбасских ученых [Тайлаков, 2024].

Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии. Технология позволяет утилизировать метан, откачиваемый дегазационными установками с концентрацией не менее 25 % с дальнейшим полезным использованием в тепло- и электроэнергию.

Утилизация метана на факельных установках. Технология позволяет утилизировать метан, откачиваемый дегазационными установками с концентрацией не менее 25 %. Научные сотрудники Кузбасских институтов в своей работе [Тайлаков, 2025] отмечают важный недостаток – отсутствие возможности полезного использования метана.

Регенеративное термическое окисление MBC. Технология применима к выбросам с концентрацией метана от 0,3 % до 1,2 %. Опыт внедрения и эксплуатации установок подробно описывает канадский производитель установок Biothermica [First Vamox Project ..., 2022].

Угледобывающие предприятия в праве самостоятельно выбирать и внедрять на своем производстве технологии снижения выбросов метана. В России в настоящее время реализовано несколько проектов снижения выбросов метана шахтами. Реализованные в РФ проекты утилизации шахтного метана представлены на рис. 2.



Рис. 2. Проекты утилизации шахтного метана в РФ
Fig. 2. Coal mine methane utilization projects in the Russian Federation

Примечание. Составлено авторами

Для принятия решений по перспективному использованию технологий снижения выбросов парниковых газов (метана) в угольной отрасли России ранее был предложен методический подход к выявлению перспективных технологий, основанный на применении метода сравнительного анализа. Технологии оцениваются в работе по следующим критериям: затраты на снижение выбросов парниковых газов, распространенность, универсальность, технологическая эффективность. В работе сделаны выводы о наиболее релевантных технологиях снижения выбросов парниковых газов для угледобывающих предприятий [Нагайцев, 2024].

Результаты исследования

Для оценки технологий ранее был предложен и описан метод сравнительного анализа технологий снижения выбросов ПГ в угольной отрасли, метод реализован с использованием экспертных оценок. Описание критериев оценки технологий снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах приведено ранее в исследовании [Нагайцев, 2024].

Критерии оценки технологий снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах:

- а) затраты на снижение выбросов парниковых газов на одну тонну;
- б) распространенность;
- в) универсальность;
- г) технологическая эффективность.

Экспертам было предложено расставить критерии (факторы) по местам (рангам) в зависимости от степени их влияния на целесообразность реализации технологий: на первое место – основной критерий (фактор) (ранг 1), на второе – менее значимый и т. д. В том случае, если специалист (эксперт) затруднялся отдать предпочтение одному из критериев (факторов), он мог присвоить двум, трем или четырем факторам один и тот же ранг. Пример заполнения листа экспертной оценки приведен в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Пример заполнения таблицы
Example of filling in a table

Критерии (факторы)	Технологии				
	Генерация электроэнергии	Выработка тепла	Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии	Регенеративное термическое окисление МВС	Утилизация метана на факельных установках
Затраты на снижение выбросов парниковых газов	1	1	2	4	3
Распространенность	3	1	2	2	2
Универсальность	2	1	2	1	1
Технологическая эффективность	4	2	2	3	4

Примечание. Составлено авторами

По окончании заполнения экспертных листов было выявлено, что во многих случаях эксперты затруднились различить приоритетность факторов и поставили им в соответствие одинаковые ранги. Поэтому на первом этапе обработки результатов опроса осуществлена стандартизация полученных рангов. На основании стандартизованных значений рангов выполнен расчет суммарного ранга факторов по результатам ответов всех экспертов в разрезе разных технологий (табл. 2), на основании которого проведено ранжирование критериев выбора технологий (факторов) по ответам всех экспертов (табл. 3).

Таблица 2
Table 2

Суммарные стандартизованные ранги по ответам всех экспертов
Total standardized ranks according to the responses of all experts

Критерии (факторы)	Технологии				
	Генерация электроэнергии	Выработка тепла	Комбинирован- ная генерация тепло- и электроэнергии	Регенеративное термическое окисление МВС	Утилизация метана на факельных установках
Затраты на снижение выбросов парниковых газов	32	33,5	30	40	31,5
Распространенность	45	38,5	43,5	45	40,5
Универсальность	34,5	49,5	33,5	32	32,5
Технологическая эффективность	38,5	28,5	43	33	45,5
Итого	150	150	150	150	150

Примечание. Составлено авторами

Таблица 3
Table 3

Результаты ранжирования факторов по ответам всех экспертов
The results of ranking factors based on the responses of all experts

Критерии (факторы)	Технологии				
	Генерация электроэнергии	Выработка тепла	Комбинирован- ная генерация тепло- и электроэнергии	Регенеративное термическое окисление МВС	Утилизация метана на факельных установках
Затраты на снижение выбросов парниковых газов	1	2	1	3	1
Распространенность	4	3	4	4	3
Универсальность	2	4	2	1	2
Технологическая эффективность	3	1	3	2	4
Итого	10	10	10	10	10

Примечание. Составлено авторами

Для определения коэффициентов значимости критериев в рамках каждой технологии применен метод парного сравнения. Результаты расчета коэффициентов значимости критериев выбора технологий снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах методом парного сравнения представлены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Коэффициенты значимости факторов
Factor significance coefficients

Критерии (факторы)	Коэффициент значимости, доли ед.				
	Генерация электроэнергии	Выработка тепла	Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии	Регенеративное термическое окисление МВС	Утилизация метана на факельных установках
Затраты на снижение выбросов парниковых газов	0,3221	0,2675	0,3823	0,2266	0,3325
Распространенность	0,1391	0,2390	0,1670	0,1335	0,2220
Универсальность	0,2827	0,0923	0,3061	0,3209	0,3174
Технологическая эффективность	0,2561	0,4013	0,1446	0,3190	0,1282
Итого	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Примечание. Составлено авторами

Результаты сопоставления значений коэффициентов значимости факторов с результатами ранжирования свидетельствует об их одинаковой упорядоченности и непротиворечивости.

Согласно таблице 4, наиболее важным фактором для выбора технологии «Выработка тепла» является критерий «Технологическая эффективность» (коэффициент важности – 0,4013 доли ед.), потому что капитальные затраты на реализацию этой технологии являются наименьшими из рассматриваемых технологий. Для технологий «Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии», «Генерация электроэнергии» и «Утилизация метана на факельных установках» важным фактором для выбора технологии эксперты признали «Затраты на снижение выбросов парниковых газов» (0,3823; 0,3221 и 0,3325 соответственно) вследствие сравнительно высоких затрат на реализацию технологий. При выборе технологии «Регенеративное термическое окисление МВС» наиболее важным критерием является критерий универсальности (0,3209), т. к. эта технология применима на исходящей струе воздуха из шахты. Таким образом, наиболее часто, по мнению экспертов, при обязательном обосновании экономической целесообразности проектов на выбор технологии влияет величина затрат на реализацию проекта утилизации.

Наименее важным фактором выбора технологии снижения выбросов парниковых газов на угольных шахтах в зависимости от типа технологии является:

– критерий «Распространенность» – для технологий «Генерация электроэнергии» и «Регенеративное термическое окисление МВС» (коэффициенты важности соответственно 0,1391 и 0,1335 доли ед.), вероятно технология «Генерация электроэнергии» весьма распространена и апробирована, имеет положительный опыт эксплуатации и коммерческую эффективность, технология «Регенеративное термическое окисление МВС» – напротив: из-за малого количества реализованных проектов и отсутствия достаточной достоверной информации об их результативности;

– критерий «Универсальность» – для технологии «Выработка тепла» (0,0923), поскольку применение технологии зависит от региона, где планируется реализация проекта;

– критерий «Технологическая эффективность» – для технологий «Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии» и «Утилизация метана на факельных установках» (коэффициенты важности соответственно 0,1446 и 0,1282 доли ед.), т. к. технологии имеют сравнительно схожую эффективность при различных капитальных затратах.

На следующем этапе исследования проведена оценка степени согласованности ответов экспертов с использованием коэффициента конкордации с применением прикладного пакета Statistica (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Результаты оценки согласованности ответов экспертов: коэффициент конкордации
The results of the assessment of the consistency of expert responses: concordance coefficient

Показатель	Технологии				
	Генерация электроэнергии	Выработка тепла	Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии	Регенеративное термическое окисление МВС	Утилизация метана на факельных установках
Коэффициент конкордации, W, доли ед.	0,0946	0,2602	0,1454	0,1092	0,1354
Расчетное значение критерия Пирсона ($\chi = 3$), разы	4,26	11,71	6,54	4,91	6,09
Вероятность незначимости согласованности ответов экспертов ($P(W=0)$), доли ед.	0,2350	0,0085	0,0880	0,1783	0,1073
Вывод о согласованности ответов	Не согласованы	Согласованы на уровне значимости $\alpha = 5\%$	Согласованы на уровне значимости $\alpha = 10\%$	Согласованы на уровне значимости $\alpha = 20\%$	Согласованы на уровне значимости $\alpha = 10\%$

Примечание. Составлено авторами

Анализ табл. 5 показывает, что наиболее репрезентативными являются результаты экспертизы технологии «Выработка тепла»: вероятность несогласованности ответов экспертов при ранжировании значимости факторов в условиях данной технологии составляет не более 0,85 %. Такая вероятность обусловлена тем, что технология имеет наименьшие капитальные затраты при высокой эффективности. Приемлемая согласованность ответов экспертов наблюдается и при ранжировании критериев выбора таких технологий, как «Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии» и «Утилизация метана на факельных установках» (вероятность несогласованности ответов

экспертов соответственно составляет 8,80 и 10,73 %), поскольку по мнению авторов существует достаточный опыт работы данных установок в России. Результаты расчета коэффициентов значимости факторов при выборе таких технологий, как «Регенеративное термическое окисление МВС» и «Генерация электроэнергии», требуют уточнения в связи с повышенным уровнем вероятности несогласованности ответов экспертов (соответственно 17,83 и 23,50 %), поскольку отсутствует опыт реализации проектов «Регенеративное термическое окисление МВС» в РФ, а для проектов «Генерация электроэнергии» необходимы дополнительные коммуникации и потребители.

Для выявления экспертов, ответы которых имеют низкую согласованность с ответами остальных экспертов, осуществлен расчет попарных ранговых коэффициентов Спирмена в условиях рассматриваемых технологий и выполнена оценка их значимости. В связи с небольшим количеством сравниваемых факторов ($n=4$) оценка значимости ранговых коэффициентов корреляции Спирмена проводилась на уровне значимости $\alpha = 20\%$ путем тестирования суммы квадратов разностей рангов ($S(d^2)$), входящей в формулу расчета коэффициента Спирмена. Сводные результаты оценки попарной согласованности ответов экспертов представлены в табл. 6.

Таблица 6
Table 6

Количество значимых положительных взаимосвязей на уровне $\alpha = 20\%$
 The number of significant positive relationships at the $\alpha=20$ level%

Эксперт	Технологии				
	Генерация электроэнергии	Выработка тепла	Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии	Регенеративное термическое окисление МВС	Утилизация метана на факельных установках
Эксперт 1	4	3	0	3	0
Эксперт 2	4	5	3	0	4
Эксперт 3	5	6	0	4	4
Эксперт 4	2	3	3	4	4
Эксперт 5	4	9	6	5	3
Эксперт 6	4	7	6	5	3
Эксперт 7	4	7	6	4	4
Эксперт 8	5	3	6	1	2
Эксперт 9	4	6	6	1	3
Эксперт 10	5	3	1	4	2
Эксперт 11	1	0	1	4	4
Эксперт 12	2	3	3	4	4
Эксперт 13	4	9	6	5	3
Эксперт 14	4	7	6	1	3
Эксперт 15	2	3	3	5	1

Примечание. Составлено авторами

Анализ табл. 6 позволяет сделать вывод, что наименее согласованными (в среднем по всем пяти технологиям) с ответами прочих экспертов являются ответы, данные первым и одиннадцатым экспертами. Однако, если бóльшая несогласованность ответов первого эксперта наблюдается по тем технологиям, где была достигнута существенная согласованность мнений других экспертов («Комбинированная генерация тепло- и

электроэнергии» и «Утилизация метана на факельных установках»), и поэтому не имеет критического влияния на результаты экспертизы, то высокое расхождение мнения одиннадцатого эксперта с групповой оценкой в условиях анализа технологии «Генерация электроэнергии» существенно влияет на значимость результатов. На точность групповой оценки коэффициентов значимости критериев выбора технологии «Генерация электроэнергии» также (помимо ответов одиннадцатого эксперта) существенное влияние оказывают несогласованные ответы второго, двенадцатого и пятнадцатого экспертов.

Кроме того, наибольшее негативное влияние на уменьшение точности групповой оценки критериев выбора технологии «Регенеративное термическое окисление МВС» (по которой наблюдается недостаточно высокая вероятность согласованности ответов экспертов) оказали несогласованные мнения четырех экспертов – второго, восьмого, девятого и четырнадцатого. Данный факт обосновывается сравнительно малым опытом реализации подобных проектов в мире.

К экспертам, чьи ответы можно отнести к 25 % наиболее согласованных (в среднем по оценкам критериев в условиях всех технологий), относятся пятый, шестой, седьмой и тринадцатый эксперты.

Достаточно высокую согласованность ответов (в диапазоне от 50 до 75 %), в среднем по всем технологиям, имеют ответы третьего, восьмого и четырнадцатого экспертов.

Учитывая приведенные выше выводы, на следующем этапе исследования проведена повторная обработка данных методом парного сравнения для определения коэффициентов значимости критериев выбора тех технологий, по которым на первом этапе были получены недостаточно точные результаты: «Генерация электроэнергии» и «Регенеративное термическое окисление МВС». Для повышения качества результатов групповой оценки при анализе технологии «Генерация электроэнергии» были исключены (как низко согласованные) ответы четвертого, одиннадцатого, двенадцатого и пятнадцатого экспертов), а при анализе технологии «Регенеративное термическое окисление МВС» – ответы второго, восьмого, девятого и четырнадцатого экспертов.

В табл. 7 приведена сравнительная характеристика результатов первичной и повторной обработки данных методом парного сравнения для оценки значимости критериев выбора технологии «Генерация электроэнергии». Согласно табл. 7, в результате исключения экспертных мнений с низкой согласованностью ответов получено изменение **значимости и приоритетности** критериев выбора технологии: по критерию «Универсальность» произошло увеличение значимости с 28,3 до 35,5 %, сопровождающееся выходом этого критерия на первое место, и смещением критерия «Затраты на снижение выбросов парниковых газов» на второе место с параллельным сокращением уровня его значимости с 32,2 до 31,3 %. Кроме того, наблюдается существенное уточнение значимости критерия «Распространенность» с 13,9 до 5,00 %, что позволяет сделать вывод о его незначительном влиянии на внедрение технологии генерации электроэнергии. Коэффициент конкордации по результатам второго этапа экспертизы возрастает с 0,0946 до 0,4027 (доли ед.), расчетное значение критерия Пирсона – с 4,26 до 13,29 (раза), что обеспечивает снижение вероятности несогласованности ответов экспертов с 23,5 до 0,41 % и позволяет сделать вывод о согласованности ответов экспертов на уровне значимости $\alpha=5\%$.

В табл. 8 приведена сравнительная характеристика результатов первичной и повторной обработки данных методом парного сравнения для оценки значимости критериев выбора технологии «Регенеративное термическое окисление МВС». Согласно табл. 8, в результате исключения экспертных мнений с низкой согласованностью ответов получено изменение **значимости и приоритетности** критериев выбора технологии: по критерию «Технологическая эффективность» произошло увеличение значимости с 31,9 до 32,5 %, обеспечившее выход этого критерия на первое место и смещение критерия «Универсальность» на второе место с параллельным сокращением уровня его значимости с 32,1 до 29,6 %. Кроме того, наблюдается существенное уточнение значимости критериев «Затраты на снижение выбросов парниковых газов» и «Распространенность», сопровождающееся сменой их приоритетности. Так, значимость критерия «Затраты на

снижение выбросов парниковых газов» снизилась с 22,7 до 15,1 %, что привело к его смещению с третьего на четвертое место по приоритетности и, напротив, по критерию «Распространенность» по итогам второго этапа экспертизы достигнуто увеличение коэффициента значимости с 13,6 до 22,8 % и его подъему с четвертого на третье место. Коэффициент конкордации по результатам второго этапа экспертизы возрастает незначительно с 0,1092 до 0,1434 (доли ед.), однако в связи с уменьшением количества экспертов, учитываемых на втором этапе, с 15 до 11 человек расчетное значение критерия Пирсона уменьшается с 4,91 до 4,73 (раза), что несмотря на рост коэффициента конкордации приводит к увеличению вероятности несогласованности ответов экспертов с 17,8 до 19,3 %, т. е. не улучшает результаты экспертизы по данной технологии. Таким образом, по результатам анализа значимости критериев выбора технологии «Регенеративное термическое окисление МВС» требуется провести дополнительное изучение мнения экспертов с применением более точных методов сбора и обработки данных (например, метода Дельфи) и/ или с привлечением более широкого круга экспертов, специализирующихся на анализе данной технологии.

Таблица 7

Table 7

Коэффициенты значимости критериев выбора технологии «Генерация электроэнергии»
 The coefficients of significance of the criteria for choosing the technology
 "Generation of electric energy"

Критерии (факторы)	I этап экспертизы		II этап экспертизы	
	Коэффициент значимости, доли ед.	Ранг	Коэффициент значимости, доли ед.	Ранг
Затраты на снижение выбросов парниковых газов	0,3221	1	0,3130	2
Распространенность	0,1391	4	0,0498	4
Универсальность	0,2827	2	0,3547	1
Технологическая эффективность	0,2561	3	0,2826	3
Итого	1,0000	—	1,0000	—

Примечание. Составлено авторами

Таблица 8

Table 8

Коэффициенты значимости критериев выбора технологии
 «Регенеративное термическое окисление МВС»
 Coefficients of significance of criteria for choosing the technology
 "Regenerative thermal oxidation of VAM"

Критерии (факторы)	I этап экспертизы		II этап экспертизы	
	Коэффициент значимости, доли ед.	Ранг	Коэффициент значимости, доли ед.	Ранг
Затраты на снижение выбросов парниковых газов	0,2266	3	0,1511	4
Распространенность	0,1335	4	0,2281	3
Универсальность	0,3209	1	0,2959	2
Технологическая эффективность	0,3190	2	0,3250	1
Итого	1,0000	—	1,0000	—

Примечание. Составлено авторами

Заключение

В результате экспертной оценки установлено, что наиболее важным критерием при выборе технологии снижения выбросов парниковых газов является «Технологическая эффективность», поскольку технологии имеют различную эффективность в снижении выбросов метана. Следующим по важности стал критерий: «Универсальность», т. к. для трех из пяти технологий («Генерация электроэнергии», «Выработка тепла», «Комбинированная генерация тепло- и электроэнергии») он является приоритетным, поскольку необходимы потребители полезного тепла и/или электроэнергии в непосредственной близости от места реализации технологии. Менее значимым по важности является критерий «Распространенность» – показатель готовности технологии к масштабированию и дальнейшему применению при реализации проектов. Критерий «Затраты на снижение выбросов парниковых газов» стал самым незначительным для экспертов, поскольку все технологии имеют высокие капитальные затраты и для выбора между ними необходимо учитывать другие критерии.

Выполненная экспертная оценка приоритетности факторов при обосновании технологии снижения выбросов парниковых газов дает возможность обоснованно принимать решения при выборе технологии в процессе управления выбросами ПГ угледобывающими предприятиями.

Список источников

- Глобальный трекер метана 2023. Международное энергетическое агентство (МЭА). URL: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023> (дата обращения: 25.12.2024).
- Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб./Росстат. - 0-92 М., 2022. – 115 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ochrana_okruj_sredi_2022.pdf (дата обращения: 21.12.2024).
- First Vamox Project. Biothermica. 2022. URL: <https://www.biothermica.com/content/first-vamox-project> (дата обращения: 20.12.2024).
- Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer. IEA. 2023 URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer> (дата обращения: 14.12.2024).
- Gross under-reporting of fugitive methane emissions has big implications for industry. The Institute for Energy Economics and Financial Analysis. 2023. URL: https://ieefa.org/sites/default/files/2023-07/Gross%20underreporting%20of%20fugitive%20methane%20emissions%20has%20big%20implications%20for%20industry_2.pdf (дата обращения: 20.12.2024).
- Opportunities to Globally Address Coal Mine Methane Emissions. The Environmental Protection Agency (EPA). 2024. URL: <https://www.epa.gov/cmop/opportunities-globally-address-coal-mine-methane-emissions#Internal-1> (дата обращения: 20.12.2024).
- Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change. General Assembly. 2015. 42 p.
- Understanding the EU's Methane Regulation for coal. EMBER. 2024. URL: <https://ember-energy.org/app/uploads/2024/09/EU-Methane-Regulation-Explained.pdf> (дата обращения: 20.12.2024).
- United Nations Framework Convention on Climate Change. The General Assembly. 1992. 24 p.

Список литературы

- Блиновская Я.Ю., Мазлова Е.А. 2019. Основные тренды климатической политики в сфере добычи и переработки угля. *Успехи современного естествознания*, 2: 86–93.
- Блиновская Я.Ю., Маслова Е.А. 2019. Выбросы парниковых газов при добыче и переработке угля: состояние проблемы и технологии снижения. *Известия Российского государственного гидрометеорологического университета*, 1: 145–154. DOI:10.33933/2074-2762-2019-54-145-154
- Нагайцев И.А., Петрова Т.В. 2024. Сравнительный анализ перспективных технологий снижения выбросов метана на угольных шахтах. *Энергетическая политика*, 1(192): 38–57.

- Росляков П.В., Скобелев Д.О., Доброхотова М.В. и др. 2023. Оценка показателей выбросов парниковых газов для угольных тепловых электростанций в контексте развития углеродного регулирования в Российской Федерации. *Уголь*, 9: 84–89. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-84-89
- Сунчугашева Е.А., Игнатова А.Ю. 2018. Воздействие угольной промышленности на окружающую среду. III Всероссийская молодежная научно-практическая конференция Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения, 330.1–330.5.
- Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Уткаев Е.А. 2015. Направления утилизации шахтного метана. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 6(112): 62–67.
- Тайлаков О.В. Застрелов Д.Н. 2013. Переработка дегазационного метана в энергетических установках на угледобывающих предприятиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 56: 170–176 URL: <http://www.gornaya-kniga.ru/periodic/1730> (дата обращения: 20.12.2024).
- Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Макеев М.П. 2022. Фугитивные выбросы метана и технологии их сокращения при угледобыче в Кузбассе. *Горная промышленность*, 6: 54–59. URL: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-54-59>
- Kang Y, Tian P, Li J, Wang H, Feng K. 2023. Methane mitigation potentials and related costs of China's coal mines. *Fundamental Research*, 4(6): 1688–1695. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.09.012>.
- Karacan C.O., Field R.A., Olczak M. et al. 2024. Mitigating climate change by abating coal mine methane: A critical review of status and opportunities. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 295. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2024.104623>. (дата обращения: 20.12.2024).
- Moghtaderi B. 2019. Reducing methane emissions in mining. University of Newcastle. URL: https://www.newcastle.edu.au/__data/assets/pdf_file/0010/533449/UON-Impact-Case-Study-Reducing-Methane-in-Mining-March-2019.pdf (дата обращения: 20.12.2024).
- Stechemesser A. et al., 2024. Climate policies that achieved major emission reductions: Global evidence from two decades. *Science*, 385(6711): 884–892. DOI:10.1126/science.adl654

References

- Blinovskaya Ya.Yu., Mazlova E.A. 2019. The main trends of climate policy in the field of coal mining and processing. *Successes of Modern Natural Science*, 2: 86–93.
- Blinovskaya Ya.Yu., Maslova E.A. 2019. Greenhouse gas emissions from coal mining and processing: the state of the problem and reduction technologies. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, 1: 145–154. DOI:10.33933/2074-2762-2019-54-145-154
- Nagaytsev I.A., Petrova T.V. 2024. Comparative analysis of promising technologies for reducing methane emissions in coal mines. *Energy Policy*, 1(192): 38–57.
- Roslyakov P.V., Skobelev D.O., Dobrokhotova M.V. and others 2023. Assessment of greenhouse gas emissions for coal-fired thermal power plants in the context of the development of carbon regulation in Of the Russian Federation. *Coal*, 9: 84–89. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-9-84-89
- Sunchugasheva E.A., Ignatova A.Y. 2018. The impact of the coal industry on the environment. III All-Russian Youth Scientific and Practical Conference Environmental Problems of Industrialized and resource-producing regions: solutions, 330.1–330.5.
- Tailakov O. V., Strellov D. N., Utkaeve E. A. 2015. Directions of mine methane utilization. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 6(112): 62–67.
- Tailakov O.V. Strellov D.N. 2013. Processing of degassing methane in power plants at coal mining enterprises. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 56: 170–176 URL: <http://www.gornaya-kniga.ru/periodic/1730> (date of request: 12/20/2024).
- Tailakov O.V., Utkaeve E.A., Makeev M.P. 2022. Fugitive methane emissions and technologies for their reduction during coal mining in Kuzbass. *Mining Industry*, 6: 54–59. URL: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-54-59>
- Kang Y, Tian P, Li J, Wang H, Feng K. 2023. Methane mitigation potentials and related costs of China's coal mines. *Fundamental Research*, 4(6): 1688–1695. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.09.012>.
- Karacan C.O., Field R. A., Olczak M. et al. 2024. Mitigating climate change by abating coal mine methane: A critical review of status and opportunities. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 295. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2024.104623>. (дата обращения: 20.12.2024).

- Moghtaderi B. 2019. Reducing methane emissions in mining. University of Newcastle. URL: https://www.newcastle.edu.au/__data/assets/pdf_file/0010/533449/UON-Impact-Case-Study-Reducing-Methane-in-Mining-March-2019.pdf (дата обращения: 20.12.2024).
- Stechemesser A. et al., 2024. Climate policies that achieved major emission reductions: Global evidence from two decades. *Science*, 385(6711): 884–892. DOI:10.1126/science.adl654

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 24.09.2024

Поступила после рецензирования 22.01.2025

Принята к публикации 31.01.2025

Received September 24, 2024

Revised January 22, 2025

Accepted January 31, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ефремкова Татьяна Ивановна, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и территориального развития, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Нагайцев Илья Александрович, аспирант кафедры менеджмента и территориального развития, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Петрова Татьяна Викторовна, доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента и территориального развития, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatyana I. Efremkova, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Management and Territorial Development, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Ilya A. Nagaitsev, Postgraduate Student of the Department of Management and Territorial Development, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Tatyana V. Petrova, Doctor of Economics, Professor of the Department of Management and Territorial Development, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

УДК 339.138

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-56-65

Цифровой маркетинг и контроль за эффективностью онлайн-платформы университета

Кучерявенко С.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

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

kucheryavenko_s@bsuedu.ru

Аннотация. Актуальность данной проблематики обусловлена стремительно развивающимися цифровыми технологиями, наличие качественного и эффективного сайта современной образовательной организации стало критически важным условием. Официальный сайт университета служит не только источником информации, но и онлайн-платформой, позволяющей привлекать потенциальных студентов, продвигать образовательные продукты и услуги, поддерживать связи с выпускниками и индустриальными партнерами, а также демонстрировать достижения университета. Целью данной работы является исследование эффективности сайта университета с точки зрения его роли в привлечении и удержании целевой аудитории, а также выявление путей его дальнейшего совершенствования через использование современных методов цифрового маркетинга. Информационно-аналитической базой исследования выступила поисковая система eLibrary.Ru, официальные сайты 4 авторитетных университетов-конкурентов Белгородской области, программно-методический комплекс VIKON, программное обеспечение Яндекс Вордстат, сервис аналитики Яндекс.Метрика. В статье представлены результаты оценки конкурентоспособности веб-сайтов основных образовательных организаций регионального рынка образовательных услуг и продуктов высшей школы Белгородской области, обоснована необходимость формирования эффективной маркетинговой стратегии продвижения и развития университета и внедрения процедур маркетингового контроля в образовательных организациях высшей школы для обеспечения конкурентоспособности. Полученные результаты могут быть интересны в рамках разработки и корректировки маркетинговой стратегии или политики в области маркетинга образовательной организации высшей школы.

Ключевые слова: образовательный рынок, рынок образовательных услуг, маркетинг, маркетинговая деятельность, цифровой маркетинг, маркетинговый контроль, маркетинговая стратегия, образовательная организация высшей школы, образовательная организация высшего образования, вуз, университет

Для цитирования: Кучерявенко С.А. 2025. Цифровой маркетинг и контроль за эффективностью онлайн-платформы университета. *Экономика. Информатика*, 52(1): 56–65. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-56-65

Digital Marketing and Monitoring the Effectiveness of the University's Online Platform

Svetlana A. Kucheryavenko

Belgorod State National Research University

85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia

kucheryavenko_s@bsuedu.ru

Abstract. The relevance of the study is explained by rapidly developing digital technologies requiring that a high-quality and effective website should be crucial for a modern educational institution. The official website of the university serves not only as a source of information, but also as an online platform that allows attracting potential students, promoting educational products and services, maintaining contacts with graduates and industrial partners, and demonstrating achievements. The purpose of this work is to study the effectiveness of the university website in terms of its role in attracting and retaining the target audience, as well as to identify ways to further improve it through the use of modern digital marketing methods. The information and

© Кучерявенко С.А., 2025

analytical base of the study was the eLibrary.Ru search engine, the official websites of four top competing universities of the Belgorod region, the VIKON software and methodological complex, Yandex Wordstat software, and the Yandex.Metrica analytics service. The article presents the results of assessing the competitiveness of websites of the main educational institutions in the regional market of educational services and products of higher education. The author substantiates the need to build an effective marketing strategy for promoting and developing the university, as well as for introducing marketing control procedures at higher education institutions that would ensure competitiveness. The obtained results may be used by higher education institutions for the development and adjustment of their marketing strategies or marketing policies.

Keywords: educational market, educational services market, marketing, marketing activities, digital marketing, marketing control, marketing strategy, higher education institution, university

For citation: Kucheryavenko S.A. 2025. Digital Marketing and Monitoring the Effectiveness of the University's Online Platform. *Economics. Information technologies*, 52(1): 56–65 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-56-65

Введение

В условиях высокой конкуренции за абитуриентов официальный сайт образовательной организации играет важную роль в привлечении потенциальных обучающихся. Оценивая конкурентоспособность сайта, можно понять, насколько он привлекателен для пользователей, удобен в использовании и предоставляет необходимую информацию о реализуемых образовательных программах, преподавателях, условиях поступления и прочем.

Официальный сайт современной образовательной организации – это лицо университета в онлайн образовательной среде. Если сайт хорошо оптимизирован под поисковые системы, имеет современный дизайн и удобный интерфейс, то вероятность того, что потенциальный студент выберет этот университет, значительно возрастает. Это способствует повышению узнаваемости бренда и укреплению его позиций на образовательном рынке [Алешина, 2021; Бондаренко, 2023; Глебов, 2023].

Анализ конкурентоспособности официального сайта университета позволяет определить, какие элементы требуют улучшения, чтобы увеличить конверсию посетителей в «заявки на обучение». Это позволяет снизить затраты на привлечение новых клиентов через рекламные каналы и повысить эффективность маркетинговых кампаний.

Конкурентоспособный веб-сайт университета должен быть удобным и интуитивно понятным для пользователей. Оценка юзабилити и функциональности сайта поможет выявить слабые места и внести необходимые коррективы, чтобы пользователи могли легко находить нужную информацию и взаимодействовать с сайтом без затруднений.

Образовательный рынок постоянно меняется, появляются новые тренды и технологии, поэтому регулярная оценка конкурентоспособности официального сайта университета позволяет оперативно реагировать на эти изменения и поддерживать актуальность контента, дизайна и функционала [Егорова, 2022; Гусарова, 2023]. Оценка конкурентоспособности включает в себя сбор отзывов и мнений пользователей о сайте. Это даёт возможность получить ценную обратную связь, которая поможет улучшить качество реализуемых образовательных программ и предоставляемых услуг и укрепить отношения с потребителями [Тарасова, 2023; Осадчая, 2024]. Поэтому маркетинговый контроль за конкурентоспособностью официального сайта современной образовательной организации является важной частью маркетинговой стратегии продвижения и развития университета, позволяющей не только привлекать больше студентов, но и повышать общую эффективность деятельности университета.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования:

– сайт университета: основной объект изучения, включая его структуру, содержание, функциональность и пользовательский интерфейс;

- целевые группы: потенциальные студенты, обучающиеся, сотрудники и преподаватели, работодатели, индустриальные партнеры, родители и пр.;
- маркетинговые инструменты, применяемые для продвижения веб-сайта;
- показатели эффективности цифрового маркетинга и работы сайта.

Методы исследования: сравнительный анализ текущего состояния веб-сайтов современных образовательных организаций; анализ сайтов университетов-конкурентов для выявления лучших практик; анализ требований к структуре официального сайта образовательной организации в информационной сети «Интернет» и формату представления информации, экспертный метод; опросы потенциальных студентов и текущих обучающихся об удобстве навигации, полезности информации и восприятию сайта; мониторинг и анализ данных с использованием аналитических инструментов Яндекс.Метрика и Яндекс Вордстат.

Информационно-аналитической базой исследования выступила поисковая система eLibrary.Ru, официальные сайты 4 крупных авторитетных университетов-конкурентов Белгородской области, программно-методический комплекс VIKON, программное обеспечение Яндекс Вордстат, сервис аналитики Яндекс.Метрика.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные университеты-конкуренты в Белгородской области определены после анализа следующих факторов:

- анализ реализуемых образовательных программ (сравнение их по количеству и качеству предлагаемых специальностей);
- репутация и рейтинги (рейтинги российских университетов и оценка университетов обучающимися и выпускниками через отзывы и опросы);
- научная деятельность (научные достижения каждого университета, патенты, гранты, высокоцитируемые публикации, оценка уровня научных исследований и инноваций, проводимых университетом);
- инфраструктура и условия обучения (оснащенность учебных корпусов, лабораторий, библиотек, наличие общежитий, спортивных корпусов и других объектов инфраструктуры);
- трудоустройство выпускников (статистика трудоустройства выпускников разных университетов, информация о том, насколько востребованы выпускники на рынке труда);
- преподавательский состав (квалификация преподавателей, наличие профессоров, докторов наук, опыт работы преподавателей и их участие в международных проектах);
- международное сотрудничество (наличие сетевых программ, программы обмена студентами и преподавателями, наличие соглашений между университетами);
- стоимость обучения (сравнение стоимости обучения по различным образовательным программам, доступность стипендий и грантов для студентов).

По результатам анализа этих факторов получилось выделить ведущие университеты-конкуренты в Белгородской области, веб-сайты которых далее подверглись оценке конкурентоспособности.

Оценка проводилась по 5-балльной шкале; при условии, что все функции официального сайта имеют одинаковую важность – коэффициенты важности не учитывались.

Результаты оценки качества веб-сайта ведущих образовательных организаций – конкурентов регионального рынка образовательных услуг и продуктов высшей школы Белгородской области представлены в табл. 1.

Оценка проводилась с использованием экспертного метода, экспертами выступили 500 абитуриентов и их родителей в период с 1 июля по 1 августа 2024 года. Для анализа выбраны 4 крупных авторитетных университета-конкурента Белгородской области:

- Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ», контингент обучающихся на начало 2024–2025 уч. года более 20 000);
- Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (БелГАУ им. В.Я. Горина, контингент обучающихся на начало 2024–2025 уч. года более 8 000);

- Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова, контингент обучающихся на начало 2024–2025 уч. года более 16 000);
- Белгородский университет кооперации, экономики и права (БУКЭП, контингент обучающихся на начало 2024–2025 уч. года более 4 500).

Таким образом, НИУ «БелГУ» занял 1-е место, набрав 20 баллов, основной конкурент – БГТУ им. В.Г. Шухова – занял 4 место в рейтинге с 9 баллами. Из полученных оценок видно, что НИУ «БелГУ» не уступает университетам-конкурентам в регионе по информационной, рекламной, маркетинговой и коммуникационной функциям официального сайта. Однако перечисленные функции сайта требуют более эффективной реализации в будущем.

Таблица 1
Table 1

Оценка конкурентоспособности веб-сайтов основных образовательных организаций
регионального рынка образовательных услуг и продуктов высшей школы
Белгородской области (по состоянию на 01.08.2024)
Assessing the competitiveness of the websites of the main educational institutions
in the regional market of educational services and products of higher education
(Belgorod region, as of August 1, 2024)

Функции сайта	НИУ «БелГУ»	БГТУ им. В.Г. Шухова	БелГАУ им. В.Я. Горина	БУКЭП
Информационная	4	3	4	4
Имиджевая	5	2	4	3
Рекламная	4	1	4	3
Маркетинговая	3	2	3	3
Коммуникационная	4	1	4	2
Сумма баллов	20	9	19	15
Ранг (место)	1	4	2	3

С каждым годом роль официального сайта образовательной организации увеличивается. Ежегодно Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) и Министерство науки и высшего образования РФ проводят мониторинг сайтов образовательных организаций на соответствие нормативным требованиям размещения на официальном сайте образовательной организации в информационно-телекоммуникационной сети Интернет и обновления информации об образовательной организации. С 2020 года проверка официального сайта образовательной организации осуществляется в рамках процедуры независимой оценки качества условий осуществления образовательной деятельности Министерством науки и высшего образования РФ и Министерством просвещения РФ.

Основные требования к структуре официального сайта образовательной организации в информационно-телекоммуникационной сети Интернет и формату представления информации определены приказом Рособрнадзора от 4 августа 2023 г. № 1493.

Обязательная структура и требования предъявляются к размещению информации в части обязательного раздела «Сведения об образовательной организации». В связи с этим возникает риск получить предписание об устранении выявленного нарушения или предостережение о недопустимости нарушения обязательных требований от контрольного (надзорного) органа.

В этой связи заслуживает внимания программно-методический комплекс VIKON как независимый инструмент для успешного прохождения мониторинга системы образования, аккредитационного мониторинга и процедур контроля и надзора. Более 95 % образовательных организаций, использующих VIKON как инструмент размещения информации на официальном сайте, попали в зелёную зону (рис. 1).



Рис. 1. Мониторинг обязательного раздела «Сведения об образовательной организации» официального сайта на примере НИУ «БелГУ» по состоянию на конец 2023 года
 Источник: <https://map.obrnadzor.gov.ru/> (дата обращения 01.12.2023 г.)

Fig. 1. Monitoring of the mandatory section "Information about the educational organization" of the official website using the example of the National Research University "BelSU" as of the end of 2023

Source: <https://map.obrnadzor.gov.ru/> (date of access 01.12.2023)

Модуль VIKON. Сведения об образовательной организации – это эффективное решение для интеграции и самопроверки информации об образовательной организации на официальном сайте в разделе «Сведения об образовательной организации» в соответствии с нормативными документами. Робот Spider VIKON сканирует раздел «Сведения об образовательной организации», дает конкретные рекомендации по исправлению выявленных нарушений, рассчитывает индексы соответствия данного раздела сайта обязательным требованиям. Заслуживает особого внимания разработанная коллективом авторов методика по анализу сайтов и механизм проверки VIKON (<https://db-nica.ru/ratings/rejting-sajtov-obrazovatelnykh-organizacij/>).

Данный модуль эффективно помогает образовательным организациям в прохождении внешних контрольно-надзорных процедур и может использоваться в рамках оперативного маркетингового контроля. Рейтинг сайтов университетов Белгородской области и их филиалов на основе поискового исследования VIKON представлен в табл. 2.

Анализ официальных сайтов в части обязательного раздела «Сведения об образовательной деятельности» производился с использованием специализированного робота Spider VIKON. В основу методики проверки заложены обязательные требования, описанные в Методических рекомендациях представления информации об образовательной организации высшего образования в открытых источниках с учетом соблюдения требований законодательства в сфере образования, разработанных в рамках исполнения Государственного контракта от 17.01.2024 № Ф-06-к-2024. Предложенные коэффициенты позволяют ранжировать образовательные организации по 5 группам (лигам). Данный инструмент не только позволяет идентифицировать позицию университета в рейтинге, но и, используя модуль VIKON при заполнении обязательного раздела «Сведения об образовательной организации», избежать предписаний, предостережений со стороны Рособнадзора, а также риска контрольных и надзорных проверок.

Таблица 2
Table 2

Рейтинг сайтов университетов Белгородской области и их филиалов
Информация представлена на основе поискового исследования VIKON
Режим доступа: <https://db-nica.ru/ratings/rejting-sajtov-obrazovatelnykh-organizacij?group=0®ion=31&vuzName=> (дата обращения 02.12.2024)
Rating of websites of universities of the Belgorod region and their branches
The information is presented based on the search research of VIKON
Access mode: <https://db-nica.ru/ratings/rejting-sajtov-obrazovatelnykh-organizacij?group=0®ion=31&vuzName=> (date of access 02.12.2024)

Лига	вуз	Сайт	J	J _{vikon}	J _{наук}
Премьер-лига	Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) «Национального исследовательского технологического университета "МИСиС"»	http://sf.misis.ru/	1	1	1
Премьер-лига	Старооскольский филиал Белгородского государственного национального исследовательского университета	https://sof.bsuedu.ru	1	1	1
Премьер-лига	Филиал Национального исследовательского технологического университета "МИСиС" в г. Губкине Белгородской области	http://gf.misis.ru	1	1	1
1	Губкинский филиал БГТУ им. В.Г. Шухова	http://gfbgtu.ru/	1	0,997	1
1	Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина	http://belgau.ru	1	0,996	1
1	Белгородский университет кооперации, экономики и права	http://www.bukep.ru/	1	0,993	1
1	Белгородская Духовная семинария (с миссионерской направленностью) Православной религиозной организации Белгородской и Старооскольской епархии Русской Православной Церкви Московского Патриархата	http://bel-seminaria.ru/	1	0,985	1
1	Старооскольский филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»	http://sofmgru.ru	1	0,983	1
2	Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова	http://www.bstu.ru/	0,987	0,956	0,987
2	Белгородский государственный национальный исследовательский университет	https://bsuedu.ru/bsu/	0,868	0,868	0,858
3	Белгородский государственный институт искусств и культуры	http://bgik.ru/	0,686	0,686	0,675

В рамках проведённого исследования проведена научная разведка по изучению актуальности научной проблематики в условиях цифровой трансформации, исследованы интернет-запросы пользователей глобальной сети Интернет по ключевым словам «белгу» и «сайт белгу».

Анализ абсолютного и относительного изменения интенсивности и структуры запросов на примере официального сайта НИУ «БелГУ» представлен на рис. 2.

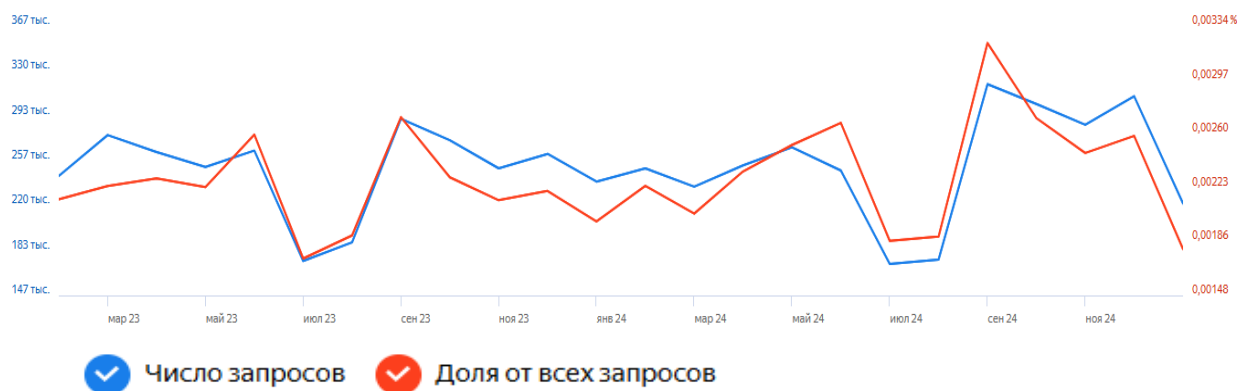


Рис. 2. Анализ запросов официального сайта НИУ «БелГУ» по данным Яндекс Вордстат за период 02.01.2023–02.02.2025. Режим доступа:

<https://wordstat.yandex.ru/?region=all&view=graph&words=%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B3%D1%83> (дата обращения 30.01.2025)

Fig. 2. Analysis of queries on the official website of Belgorod State National Research University based on Yandex Wordstat data for the period 02.01.2023–02.02.2025. Access mode: <https://wordstat.yandex.ru/?region=all&view=graph&words=%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B3%D1%83> (date of access 30.01.2025)

Динамика абсолютного и относительного изменения интенсивности и структуры запросов официального сайта НИУ «БелГУ» свидетельствует о волнообразных тенденциях за период 02.01.2023–02.02.2025, спад которых приходится на летние месяцы – сезон отпусков. Данные графика позволяют идентифицировать, что очень высокий интерес к веб-сайту университета наблюдался в сентябре 2024 года. Самый высокий индекс интереса наблюдался у пользователей из Белгорода (13 444,68 %) и Белгородской области (8 085,16 %). Такая популярность является показателем уровня заинтересованности сайтом университета в регионе.

Изменение интереса от месяца к месяцу отображается в истории запросов Яндекс Вордстат. Анализ структуры запросов свидетельствует о разноплановости запросов на официальном сайте «расписание белгу», «приёмная комиссия белгу», «пегас белгу», «деканат белгу», «почта белгу», «личный кабинет белгу», «опен белгу» и прочие. Наиболее популярной категорией запросов с высокой частотой показов является запрос «расписание белгу».

Анализ результатов исследования поисковых запросов в Яндекс Вордстат (Яндекс Wordstat) предоставляет важные данные для понимания интересов и поведения пользователей. Яндекс Вордстат является эффективным инструментом для оптимизации маркетинговых стратегий, создания релевантного контента и повышения видимости официального сайта в интернете.

Для анализа посещаемости и поведения пользователей на официальном сайте университета эффективно использовать бесплатный сервис аналитики от компании Яндекс. Яндекс.Метрика представляет обширные данные, которые помогают ответственным за сайт и маркетологам университета принимать обоснованные решения, улучшать юзабилити ресурса и повышать его эффективность.

Заключение

В целом исследование показало, что использование цифровых маркетинговых инструментов и постоянный контроль за эффективностью сайта позволяют современным университетам выдерживать высокую конкуренцию на рынке образовательных услуг и продуктов высшей школы. Цифровая образовательная среда постоянно меняется, поэтому необходимо регулярно обновлять и улучшать официальный сайт университета, внедрять цифровые инструменты маркетингового контроля и следить за изменениями в предпочтениях пользователей. Улучшение структуры веб-сайта, удобства навигации и качества контента

значительно повышают привлекательность онлайн-платформы для пользователей. Удобство сайта, информативность и доступность напрямую влияют на восприятие университета и решение пользователей воспользоваться его услугами. Регулярный маркетинговый контроль в рамках мониторинга и анализа данных о посещаемости сайта, поведении пользователей позволяет оперативно реагировать на изменения в интересах целевой аудитории и корректировать маркетинговую стратегию.

Данная статья расширяет знания в области реализации функции маркетингового контроля и является продолжением исследования маркетинговой деятельности в образовательных организациях высшей школы [Кучерявенко С.А., 2023; Кучерявенко С.А., 2024].

Список источников

- Анализ запросов официального сайта НИУ «БелГУ» по данным Яндекс Вордстат за период 02.01.2023 – 02.02.2025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wordstat.yandex.ru/?region=all&view=graph&words=%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D0%B3%D1%83> (дата обращения 30.01.2025)
- Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belgau.ru/> (дата обращения 05.12.2024)
- Белгородский государственный национальный исследовательский университет: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bsuedu.ru> (дата обращения 05.12.2024)
- Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bstu.ru> (дата обращения 05.12.2024)
- Белгородский университет кооперации, экономики и права: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.buker.ru> (дата обращения 05.12.2024)
- Методические рекомендации представления информации об образовательной организации в открытых источниках с учетом соблюдения требований законодательства в сфере образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://db-nica.ru/documents/regulations/sveden/metodicheskie-rekomendaczii-2024.pdf> 05.12.2024 (дата обращения 05.12.2024)
- Рейтинг сайтов образовательных учреждений 2024 Spider VIKON. Методика проверки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://db-nica.ru/ratings/rejting-sajtov-obrazovatelnykh-organizacij?group=1®ion=31&vuzName=белгородский> (дата обращения 02.12.2024)
- Федеральный проект «Цифровая образовательная среда». Цели, задачи и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcoip.ru/blog/2022/02/17/federalnyj-proekt-cifrovaya-obrazovatelnyasreda-czeli-zadachi-i-perspektivy/> (дата обращения 05.12.2024)

Список литературы

- Алешина И.В. 2021. Маркетинг университета эпохи цифровой глобализации. *Вестник университета*, 1: 20–27.
- Бондаренко Ю.Н. 2023. Современные тенденции развития цифровой трансформации образования. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*, 2: 99–104.
- Глебов Г.Е., Каманин И.Е. 2023. Цифровая трансформация модели маркетингового продвижения образовательных услуг. *Ученые записки*, 2(46): 16–19.
- Гусарова М.Н., Рагимова Н. К. 2023. Проблемные аспекты применения цифровых инструментов в маркетинговых стратегиях приемных кампаний вузов. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки*, 5(2): 58–61.
- Егорова Д.А., Шпильман Н.И.В. 2022. Цифровая трансформация российского бизнеса с использованием искусственного интеллекта в образовательной сфере. *Экономика, предпринимательство и право*, 12: 3283–3298.
- Кучерявенко С.А. 2023. Развитие маркетингового контроля в образовательных организациях. Современные проблемы социально-экономических систем в условиях глобализации: сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции, Белгород, 27 октября 2023 года. Белгород: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 114–120.

Кучерявенко С.А. 2024. Эффективность маркетинговой деятельности университета через реализацию функции маркетингового контроля. *Modern Economy Success*, 1: 56–60.

Кучерявенко С.А. 2023. Маркетинговый контроль в деятельности образовательных организаций высшего образования. *Вестник Самарского государственного экономического университета*, 4(222): 72–77.

Осадчая С.М. 2024. Тренд-анализ трансформации маркетинговых форматов в системе высшего образования. *Экономика устойчивого развития*, 3(59): 139–141.

Тарасова Т.Ф., Кучерявенко С.А., Шульгина М.В. 2023. Содержание, особенности и проблемы реализации функции маркетингового контроля в современных образовательных организациях. *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права*, 6(103): 217–224.

References

Aleshina I.V. 2021. Marketing vuza v epokhu tsifrovoy globalizatsii [Marketing of a university in the era of digital globalization]. *Vestnik universiteta*, 1: 20–27.

Bondarenko YU.N. 2023. Sovremennye tendentsii razvitiya cifrovoy transformatsii obrazovaniya [Current trends in the development of digital transformation of education]. *Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, 2: 99–104.

Glebov G.Ye., Kamanin I.Ye. 2023. Tsifrovaya transformatsiya modeli marketingovogo prodvizheniya obrazovatel'nykh uslug [Digital transformation of the educational services marketing promotion model]. *Nauchnyye zapiski*, 2(46): 16–19.

Gusarova M.N., Ragimova N.K. 2023. Problemnyye aspekty ispol'zovaniya tsifrovyykh instrumentov v marketingovykh strategiakh priyemnykh kampaniy vuzov [Problematic aspects of the use of digital tools in the marketing strategies of university admissions campaigns]. *Sovremennaya nauka: aktual'nyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Gumanitarnyye nauki*, 5(2): 58–61

Egorova D.A., SHpil'man N.I.V. 2022. Cifrovaya transformatsiya rossiyskogo biznesa s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta v obrazovatel'noy sfere [Digital transformation of Russian business using artificial intelligence in the educational field]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 12: 3283–3298.

Kucheravenko S.A. 2023. Razvitiye marketingovogo kontrolya v obrazovatel'nykh organizatsiyakh. Sovremennyye problemy sotsial'no-ekonomicheskikh sistem v usloviyakh globalizatsii [Digital transformation of Russian business using artificial intelligence in the educational field]: Sbornik nauchnykh trudov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Belgorod, 27 oktyabrya 2023 g. Belgorod: FGAOU VO «Belgorodskiy gosudarstvennyy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet», 114–120.

Kucheravenko S.A. 2024. Effektivnost' marketingovoy deyatel'nosti vuza cherez realizatsiyu funktsii marketingovogo kontrolya [The effectiveness of the university's marketing activities through the implementation of the marketing control function]. *Uspekhi sovremennoy ekonomiki*, 1: 56–60.

Kucheravenko S.A. 2023. Marketingovyy kontrol' v deyatel'nosti organizatsiy vysshego obrazovaniya [Marketing control in the activities of educational institutions of higher education]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 4(222): 72–77.

Osadchaya S.M. 2024. Analiz tendentsiy transformatsii formatov marketinga v sisteme vysshego obrazovaniya k 2024 godu [Trend analysis of the transformation of marketing formats in the higher education system]. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya*, 3 (59): 139–141.

Tarasova T.F., Kucheryavenko S.A., Shul'gina M.V. 2023. Soderzhaniye, osobennosti i problemy realizatsii funktsii marketingovogo kontrolya v sovremennykh obrazovatel'nykh organizatsiyakh [Content, features and problems of implementing the marketing control function in modern educational institutions]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava*, 6 (103): 217–224.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 05.02.2025

Поступила после рецензирования 20.02.2025

Принята к публикации 28.02.2025

Received February 05, 2025

Revised February 20, 2025

Accepted February 28, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры управления и экономики фармации, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Svetlana A. Kucheryavenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Economy of Pharmacy, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 338.45
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-66-77

Методология проведения PEST-анализа для малых промышленных предприятий

Лабозин А.О.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова –
филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС»
309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42
aleksandr.labozin@gmail.com

Аннотация. Современная быстроменяющаяся и зачастую непредсказуемая среда существования малого бизнеса повышает значимость стратегического планирования на малом предприятии. Вместе с тем ввиду особенностей сегмента применение традиционных инструментов стратегического планирования без существенной адаптации представляется невозможным. Одним из таких инструментов является PEST-анализ. Цель данного исследования заключается в разработке адаптированной версии PEST-анализа, максимально эффективно удовлетворяющей потребности малого промышленного предприятия. Для обоснования предлагаемой вариации анализа проведено исследование научной литературы, описывающей особенности малого бизнеса. Учитывая выделенные характеристики, автор предлагает следующие нововведения при проведении анализа: заранее определенные факторы для проведения анализа, наличие наводящих вопросов для оценки факторов, наличие ссылок на общедоступные и бесплатные информационные ресурсы. Цель нововведений заключается в сокращении временных и материальных затрат на сбор информации и проведение анализа. Инструмент исчерпывающе интерпретирует результат анализа и предлагает рекомендации по его практическому применению. Для удобства использования процесс проведения PEST-анализа выражен в математической формуле. В условиях крайне ограниченных материальных и временных ресурсов разработанный автором вариант проведения PEST-анализа решает задачу максимального упрощения осуществления функции стратегического планирования на малом промышленном предприятии. Полученные результаты расширяют методологию общенаучной теории стратегического планирования, добавляя новый инструмент исследования – PEST-анализ для малых промышленных предприятий.

Ключевые слова: стратегия, стратегическое управление, стратегическое планирование, малое промышленное предприятие, микропредприятие, критерии малого предприятия, особенности малого предприятия, алгоритм, PEST-анализ, интерпретация результатов PEST-анализа

Для цитирования: Лабозин А.О. 2025. Методология проведения PEST-анализа для малых промышленных предприятий. *Экономика. Информатика*, 52(1): 66–77. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-66-77

The Methodology of PEST Analysis for Small Industrial Enterprises

Aleksandr O. Labozin

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov –
branch of the National University of Science and Technology "MISIS"
42 Makarenko St, Stary Oskol 309512, Russia
aleksandr.labozin@gmail.com

Abstract. The modern rapidly changing and often unpredictable environment of small business increases the importance of strategic planning in a small enterprise. At the same time, due to the peculiarities of the segment, the use of traditional strategic planning tools without significant adaptation seems impossible. One of these tools is PEST analysis. The purpose of this study is to develop an adapted version of PEST analysis that best meets the needs of a small industrial enterprise. To substantiate the proposed variation of the analysis, a study

of the scientific literature describing the features of small business was conducted. Taking into account the highlighted characteristics, the author suggests the following innovations in conducting the analysis: pre-determined factors for conducting the analysis, the presence of leading questions for evaluating factors, the presence of links to publicly available and free information resources. The purpose of the innovations is to reduce the time and material costs of collecting information and conducting analysis. The tool exhaustively interprets the result of the analysis and offers recommendations for its practical application. For easy use, the process of PEST analysis is expressed in a mathematical formula. In conditions of extremely limited material and time resources, the variant of PEST analysis developed by the author allows to simplify the implementation of the strategic planning function in a small industrial enterprise as much as possible. The results obtained expand the methodology of the general scientific theory of strategic planning by adding a new research tool – PEST analysis for small industrial enterprises.

Keywords: strategy, strategic management, strategic planning, small industrial enterprise, microenterprise, criteria of a small enterprise, features of a small enterprise, algorithm, PEST analysis, interpretation of the results of PEST analysis

For citation: Labozin A.O. 2025. The Methodology of PEST Analysis for Small Industrial Enterprises. *Economics. Information technologies*, 52(1): 66–77 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-66-77

Введение

Динамичность, непредсказуемость и переменчивость современного мира ставят перед бизнес-сообществом новые вызовы. Сегодня успешному бизнесу жизненно необходимо уметь мыслить наперед, уменьшать количество неопределенности, создавать несколько альтернативных вариантов развития. Иными словами, новую силу и чрезвычайное значение приобретает умение мыслить стратегически. И если ранее стратегическое управление в большей степени ассоциировалось с крупным бизнесом, то сегодня оно приобретает все большее значение для малых предприятий [Ваганова и др., 2019; Самарина, 2021; Скуфына и др., 2019]. Ввиду таких особенностей малого предприятия, как сосредоточение функций разработки, осуществления и контроля стратегии в руках одного человека и чрезвычайно ограниченная ресурсная база для осуществления функции стратегического менеджмента, существующие механизмы осуществления стратегического планирования трудно применимы для решения задач малого предприятия. Для устойчивого развития и адекватного реагирования на влияние внешней среды малому бизнесу необходимы адаптированные инструменты, позволяющие в короткие сроки и с минимальными затратами материальных ресурсов осуществить функцию стратегического планирования.

История PEST-анализа началась в 1960-х годах. Первое развернутое упоминание этого инструмента приведено в работе профессора Гарвардской бизнес-школы Фрэнсиса Агилара [Aguilar, 1967], где PEST-анализ представлялся как ETPS (экономические, технические, политические и социальные факторы). Со временем, в том числе по причине простоты произношения и запоминаемости, наименование анализа преобразовалось в PEST. В последующие годы анализ дорабатывался и развивался, отвечая на изменения внешней среды организации. Так, в 1970–1980-е годы к анализируемым ранее факторам внешней среды добавились экологический и юридический аспекты, и анализ приобрел имя PESTEL. Сегодня существует множество разновидностей PEST-анализа, применяемых в зависимости от конкретной организации и стоящих перед ней задач. Среди современных исследователей PEST-анализа можно выделить: Пономареву Е.В., исследующую PESTEL-вариацию анализа [Пономарева, 2016], Кузьменко О.В., Чекарь В.Н., исследующих PEST-анализ как часть стратегического маркетингового анализа [Кузьменко, Чекарь, 2023], Новичкову Л.М., рассматривающую PEST-анализ как один из основных инструментов стратегического анализа предприятия [Новичкова, 2015], Добровольского А.Л., подчеркивающего важность PEST-анализа при стратегическом планировании [Добровольский, 2013], Семиколенову М.Н., Глубокову Л.Г., Федорову С.Ю., исследующих PEST-анализ с учетом особенности предприятий отрасли сельского хозяйства [Семиколенова и др., 2018], Каплан Р., Нортон Д.,

включающих PEST-анализ в свою универсальную систему управления компанией [Каплан, Нортон, 2012], Эванс В., называющего PEST-анализ одним из ключевых стратегических инструментов [Эванс, 2015], Камшилова С.Г., изучающего вариацию STEEP-анализа относительно производственной сферы современной России [Камшилова, 2017]. Вместе с тем нужно отметить, что все существующие варианты анализа рассчитаны на применение крупным бизнесом, обладающим существенными материальными, временными и кадровыми ресурсами, и не учитывают особенности малых предприятий.

По мнению автора, для успешного развития малых предприятий, эффективного осуществления ими функции стратегического планирования необходимо наличие адаптированного под особенности малого бизнеса варианта проведения PEST-анализа.

Целесообразность статьи вызвана необходимостью повышения конкурентоспособности малых промышленных предприятий в условиях глобальной политической нестабильности, увеличения количества неопределенных факторов и быстроменяющейся экономической ситуации.

Цель исследования состоит в том, чтобы разработать вариант осуществления PEST-анализа на малом промышленном предприятии, не требующий затрат значительных материальных и временных ресурсов.

Для достижения поставленной цели предлагается решить следующие задачи:

- определение особенностей малых промышленных предприятий, являющихся причиной для создания предложенного варианта анализа;
- разработка инструкции по проведению PEST-анализа на малом промышленном предприятии;
- разработка рекомендаций по выбору стратегии развития на основе результатов PEST-анализа;
- разработка шаблона таблицы для проведения PEST-анализа на малом промышленном предприятии.

Научная новизна состоит в разработке варианта проведения PEST-анализа, учитывающего такие особенности функционирования малого промышленного предприятия, как сосредоточение функций разработки, осуществления и контроля стратегии в руках одного человека и чрезвычайно ограниченная ресурсная база для осуществления функции стратегического менеджмента. Автор предполагает следующие нововведения при проведении PEST-анализа, составляющие научную новизну исследования:

- 1) использование заранее определенных и неизменных факторов внешней среды организации при проведении анализа;
- 2) формирование наводящих вопросов по каждому фактору;
- 3) определение источников сбора информации;
- 4) введение понятия «суммарного показателя (СП)» и его представление в виде математической формулы;
- 5) приведение рекомендаций по выбору стратегии развития на основе полученного значения показателя СП.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке варианта проведения PEST-анализа, адаптированного к особенностям и потребностям малых промышленных предприятий, который может быть интегрирован в общую научную теорию стратегического планирования. Практическая значимость работы заключается в возможности применения изложенного механизма для осуществления стратегического планирования на малом промышленном предприятии с целью повышения его конкурентоспособности и устойчивого развития.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают малые промышленные предприятия, для удовлетворения потребностей которых разрабатывается адаптированный вариант PEST-анализа.

PEST-анализ является распространенным инструментом, применяемым при осуществлении функции стратегического планирования на предприятии. В зависимости от индивидуальных

особенностей организации, применяется та или иная разновидность анализа. Таким образом, прежде чем перейти непосредственно к созданию варианта анализа, наилучшим образом отвечающего потребностям малых промышленных предприятий, необходимо определить особенности данных организаций, являющиеся причиной создания нового варианта анализа.

Особенности малых предприятий описаны в работах отечественных и зарубежных авторов. Так, В. Нэхлик считает, что основными характеристиками малых форм хозяйственной деятельности признаются следующие:

- ограниченность масштабов предприятия, что обуславливает особый, персонифицированный характер отношений между наемным работником и собственником (нанимателем);
- единство права собственности и непосредственного управления предприятиями и связанного с ним риска;
- полная ответственность руководителя за результат хозяйствования;
- характер финансирования;
- семейное ведение дела [Nahlik, 1989].

В. Рубе и А.О. Блинов определяют такие качественные критерии малого бизнеса в России:

- юридическая самостоятельность;
- небольшая доля на рынке сбыта продукции;
- творческий характер работы;
- фактическое соединение собственности и управления в одном лице;
- принадлежность к отраслям [Рубе, 2000; Блинов, 1997].

На основании выделенных особенностей малых предприятий можно описать присущую им специфику осуществления функции стратегического менеджмента. Таблица 1 показывает особенности стратегического управления на малом промышленном предприятии в сравнении с организацией крупного бизнеса (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Особенности стратегического менеджмента на малых промышленных предприятиях
Strategic management features of small industrial enterprises

Параметр	Малое промышленное предприятие	Крупное промышленное предприятие
Орган принятия решений	Единоличный (собственник)	Коллективный (собрание акционеров)
Орган реализации стратегии	Единоличный (собственник / генеральный директор)	Коллективный + единоличный (собрание директоров / генеральный директор)
Орган контроля за реализацией стратегии	Единоличный (собственник / генеральный директор)	Наличие специального органа – аудитор (внешний и/или внутренний)
Ресурсы	Отсутствие специального кадрового ресурса для создания, реализации и контроля стратегии, минимально возможные финансовые и временные ресурсы	Выделение необходимых кадровых, финансовых и временных ресурсов закреплено нормативными документами

Таким образом, становится очевидным, что при осуществлении функции стратегического планирования на малом промышленном предприятии требуется упрощенный вариант PEST-анализа, позволяющий осуществить исследование и сделать необходимые выводы в условиях крайне ограниченных временных, кадровых и материальных ресурсов. Кроме того, необходимо учитывать, что основными источниками данных для анализа будут выступать:

- 1) собственное мнение руководителя, основанное на его опыте и мировоззрении;
- 2) опрос доступных экспертов;
- 3) исследование открытых источников.

Для достижения цели статьи был проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы по предмету исследования. В процессе создания предложенного варианта анализа использовались общенаучные методы анализа, синтеза, попарных сравнений, систематизации информации, а также применялся метод логического мышления. В работе используются созданные автором математические формулы.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного исследования была разработана пошаговая инструкция, направляющая руководителя малого промышленного предприятия при проведении исследования внешней среды организации и позволяющая сделать однозначные выводы о принятии стратегической инициативы. Подобная инструкция приведена ниже.

Инструкция по проведению PEST-анализа на малом промышленном предприятии.

Шаг первый. Суть: ознакомиться с факторами внешней среды, оказывающими влияние на развитие организации, представленными в столбце «Фактор» таблицы для проведения PEST-анализа на малом промышленном предприятии. Пояснение: по каждому направлению анализа (политическое, экономическое, социокультурное, технологическое) заданы заранее определенные и неизменные три фактора для анализа. Сокращение факторов до трех основных, их предопределённость и неизменность призваны сэкономить время на их определение и упростить проведение анализа. При выборе факторов учитывались следующие критерии:

- значимость – фактор должен носить глобальный характер и оказывать критическое воздействие на любую организацию;
- универсальность – фактор должен быть применим к любой организации, независимо от ее отраслевой принадлежности и географического расположения;
- доступность сбора информации – по фактору должны существовать открытые, общедоступные, бесплатные и достоверные источники получения информации.

Шаг второй. Суть: провести сравнительную оценку факторов для выделения наиболее приоритетных (иными словами, ранжировать факторы или расставить веса). Пояснение: сравнение факторов (или ранжирование факторов) по каждому направлению анализа необходимо для выделения наиболее приоритетных из них, тех, которые будут оказывать наибольшее влияние на развитие организации.

Ранжирование осуществляется методом попарных сравнений. Суть метода состоит в сравнении каждого фактора с каждым и определения первенства одного из них. В процессе осуществления сравнения по каждому направлению заполняется сравнительная таблица. Например, по направлению политических факторов таблица будет иметь следующий вид, представленный в табл. 2.

При заполнении таблицы попарных сравнений осуществляются следующие действия:

- 1) на пересечении ячеек с одним и тем же фактором проставляется единица, подразумевающая равенство влияния фактора на развитие организации;
- 2) далее осуществляется сравнение фактора, обозначенного в верхней строке с факторами, обозначенными в средней и нижней строках. Фактору, который исследователь считает наиболее приоритетным для развития организации, ставится оценка 2, при этом противоположному фактору ставится оценка 0. В случае равного влияния факторов каждому из них проставляется оценка 1. Например, в таблице 2 исследователь посчитал, что фактор «Внешнеполитический курс существующей власти» важнее для развития его организации, чем фактор «Налоговая политика (тарифы и льготы), поэтому первому в таблице поставлена оценка 2, а второму в соответствующей ячейке поставлена оценка 0. После сравнения фактора верхней строки с факторами средней и нижней строк, происходит аналогичное сравнение фактора средней и нижней строк между собой;

- 3) далее проставленные в сроках оценки суммируются и результат по каждому фактору отображается в столбце «сумма»;
- 4) далее путем сложения совокупных баллов всех факторов находится значение «итога»;
- 5) на последнем шаге значение «сумма» по каждому фактору делится на значение «итога», в результате чего определяется вес данного фактора. Чем выше вес, тем более важное значение имеет фактор для развития организации.

Таблица 2
Table 2

Проведение метода попарных сравнений политических факторов
Applying the pairwise comparisons method in relation to political factors

	Внутриполитический курс существующей власти	Внешнесполитический курс существующей власти	Налоговая политика (тарифы и льготы)	Сумма	Вес (вес = сумма/итога)
Внутриполитический курс существующей власти	1	2	2	5	0,56
Внешнесполитический курс существующей власти	0	1	1	2	0,22
Налоговая политика (тарифы и льготы)	0	1	1	2	0,22
Итого:				9	

Шаг третий. Суть: определить характер влияния фактора на развитие организации. Пояснение: на этом шаге необходимо понять, позитивное или негативное влияние оказывает фактор на развитие организации. Иными словами, необходимо провести оценку фактора.

Для упрощения процесса оценки влияния фактора на развитие предприятия передоложены от одного до трех наводящих вопросов. Руководитель малого предприятия может ответить на наводящие вопросы либо на основе своего личного опыта, либо получив информацию из открытых информационных ресурсов. Шаблон таблицы для проведения PEST-анализа на малом промышленном предприятии предлагает информационные источники, где можно бесплатно и в короткое время найти ответы на большинство вопросов.

Например, оценивая социокультурный фактор «Структура населения», предлагается ответить на наводящие вопросы: Какова структура рабочей силы? Больше мужчин или женщин? Какой их возраст? Образование? Для получения необходимой информации руководитель организации может посетить официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Федеральная служба государственной статистики, 2024], который является бесплатным источником достоверной информации по изучаемому вопросу. Найдя необходимые данные, руководитель предприятия может ответить на наводящие вопросы и тем самым определить качественные характеристики доступного кадрового резерва, являющегося частью успешного стратегического развития организации. При оценке факторов руководитель предприятия проставляет оценку по пятибалльной шкале, где оценка 5 означает, что исследуемый фактор будет оказывать максимально позитивное влияние на развитие предприятия на горизонте периода стратегического планирования, а оценка 1, наоборот, говорит о максимально негативном влиянии фактора на развитие организации в рассматриваемый период.

Например, основу штата предприятия по производству расписной глиняной игрушки составляют женщины среднего возраста. Результаты исследования фактора «структура населения» показали, что в последние годы в регионе осуществления деятельности предприятия наблюдается отток населения, в том числе женского, связанный с сокращением деятельности градообразующего предприятия – сталелитейного завода, на котором в

основном работают мужчины. Мужчины вынуждены уезжать из города в поисках другой работы, и их жены следуют за ними. Прогнозируется, что данная ситуация будет иметь тенденцию к увеличению. Таким образом, фактор «структура населения» будет оказывать негативное влияние на рассматриваемую организацию в период стратегического планирования, и, с учетом исследования всех факторов, по результатам проведения PEST-анализа руководитель предприятия по производству расписной глиняной игрушки может принять решение о сокращении деятельности своего предприятия. Фактору должна быть присвоена низкая оценка – 1.

Шаг четвертый. Суть: определить самые позитивные и самые негативные факторы влияния внешней среды. Пояснение: выявление самых позитивных и самых негативных факторов происходит при умножении веса и оценки фактора. Результирующее значение указывается в столбце «Оценка с поправкой на вес» таблицы для проведения PEST-анализа на малом промышленном предприятии. Особое внимание необходимо уделить факторам, получившим максимальное значение – эти факторы будут оказывать наиболее позитивное воздействие на развитие организации и из их позитивного влияния должна быть извлечена максимальная выгода при разработке стратегии развития предприятия. А также важное значение будут иметь факторы, имеющие значительный вес и при этом самые низкие оценки. Эти факторы внешней среды являются наиболее опасными для развития предприятия, а значит стратегический план должен предусматривать действия, направленные на нивелирование их негативного влияния.

Шаг пятый заключительный. Суть: определить результат проведения PEST-анализа и выбрать стратегию развития. Пояснение: результирующим значением PEST-анализа является значение «Суммарного показателя (СП)», представляющего собой сумму оценок с поправкой на вес всех факторов, участвующих в анализе. Максимальное значение СП – 20. Такое значение достигается в случае, если все изучаемые факторы внешней среды получили максимально позитивную оценку – 5. Минимальное значение – 4, получается при максимально негативной оценке факторов. Значение СП позволяет сделать вывод об общей картине воздействия внешней среды на развитие организации и выбрать соответствующую стратегическую инициативу. Если СП составляет от 16 до 20, то характер внешней среды позитивный и необходимо разрабатывать агрессивный стратегический план развития, чтобы извлечь максимальную выгоду из удачной внешней обстановки. СП от 11 до 15 говорит об умеренно позитивном общем характере влияния внешней среды и призывает выстраивать аккуратную стратегию развития с учетом существующих рисков. Показатель от 6 до 10 призывает к оборонительной стратегии, направленной, в первую очередь, на нивелирование рисков. Уровень показателя ниже 6 говорит о сугубо негативном характере внешних обстоятельств и необходимости проведения коренных преобразований в компании, а, возможно, и о прекращении деятельности.

Суммарный показатель PEST-анализа можно выразить в следующей математической формуле:

$$P = \sum B_{\Phi^i} \times O_{\Phi^i},$$

где:

$$B_{\Phi^i} = \frac{\mu_{\Phi^i}}{\sum \mu_{\Phi}},$$

где:

- μ – сумма сравнительных оценок фактора в результате проведения попарных сравнений;
- P – суммарный показатель;
- Φ – фактор;
- B_{Φ} – вес фактора;
- O_{Φ} – оценка фактора.

Таблица 3 иллюстрирует рекомендации выбора стратегии развития организации на основе результатов PEST-анализа в сжатом виде.

Таблица 3
Table 3

Выбор стратегии развития на основе результатов PEST-анализа
Strategy choice based on the results of PEST analysis

Значение суммарного показателя (СП)	Необходимая стратегия
СП > 15	Стратегия агрессивного развития
16 > СП > 10	Стратегия умеренного роста
11 > СП > 5	Оборонительная стратегия
СП < 6	Стратегия коренных изменений

Представленная инструкция проведения PEST-анализа позволит руководителю малого промышленного предприятия изучить влияние внешней среды на развитие его организации без затрат значительных временных и материальных ресурсов.

Непосредственный процесс проведения PEST-анализа подразумевает заполнение таблицы, шаблон которой представлен в табл. 4. Оценка варьируется от 1 (максимально негативная) до 5 (максимально позитивная).

Таблица 4
Table 4

Шаблон таблицы для проведения PEST-анализа на малом промышленном предприятии
PEST analysis table template for use in a small industrial enterprise

Фактор	Источник информации	Вес	Оценка	Оценка с поправкой на вес
1	2	3	4	5
Политические факторы				
Внутриполитический курс существующей власти 1. Какова риторика относительно малого бизнеса? 2. Есть ли реальная поддержка со стороны властей (субсидии, гранты, льготы)? 3. Насколько сильно регулируется деятельность (проверки, необходимость лицензирования, сертификации)?	http://www.kremlin.ru [Президент РФ, 2024] http://government.ru/ – [Правительство РФ, 2024] https://mbm.mos.ru [ГБУ «Малый бизнес Москвы», 2024] <i>на основе личного опыта</i>	0,34	5	1,7
Внешнесполитический курс существующей власти 1. Общий курс в отношении интересующих нас стран конфронтационный или дружественный? 2. Есть ли политические ограничения на торговлю (импортные / экспортные пошлины, логистическая доступность, другие ограничения)? 3. Есть ли поддержка со стороны властей для импортной / экспортной деятельности в отношении интересующих нас стран?	http://www.kremlin.ru [Президент РФ, 2024] http://government.ru/ [Правительство РФ, 2024] https://www.economy.gov.ru [Министерство экономического развития РФ, 2024]	0,33	5	1,65

Продолжение табл. 4
Continuation of table 4

1	2	3	4	5
Налоговая политика (тарифы и льготы) 1. Общий курс в отношении налогов направлен на снижение / повышение / стабилен? 2. Есть ли налоговые льготы / преференции для нашей компании?	http://www.kremlin.ru [Президент РФ, 2024] http://government.ru/ [Правительство РФ, 2024]	0,33	5	1,65
Экономические факторы				
Темпы роста экономики 1. Экономика страны (ВВП) растет / стагнирует / падает? 2. Темпы роста превышают среднемировые значения или отстают?	https://rosstat.gov.ru [Федеральная служба государственной статистики, 2024] https://www.worldeconomics.com [Агентство Information Sciences Ltd., 2024]	0,34	5	1,7
Уровень инфляции и процентные ставки 1. Какой уровень инфляции в стране / регионе? Имеет ли уровень цен динамику к росту или к снижению? 2. Какова ключевая ставка? Имеет ли она тенденцию к снижению или к росту?	https://rosstat.gov.ru [Федеральная служба государственной статистики, 2024] https://cbr.ru [Центральный Банк РФ, 2024]	0,33	5	1,65
Курсы основных валют 1. Курс основных валют по отношению к рублю имеет тенденцию к росту или снижению? Или стабилен?	https://cbr.ru [Центральный Банк РФ, 2024]	0,33	5	1,65
Социокультурные факторы				
Отношение к отечественным товарам 1. В отрасли, где работает компания, потребители предпочитают пользоваться отечественными товарами или импортными? 2. Имеет ли эта тенденция динамику? Изменяются ли предпочтения или проявляется стабильность?	<i>На основе личного опыта. Открытые источники информации.</i>	0,34	5	1,7
Отношение к работе, карьере, выходу на пенсию 1. Присутствует ли дефицит трудовых ресурсов или избыток рабочей силы? 2. Есть ли спрос на нужные для предприятия специальности в профильных учебных заведениях?	https://rosstat.gov.ru [Федеральная служба государственной статистики, 2024]	0,33	5	1,65

Окончание табл. 4
End of table 4

1	2	3	4	5
Структура населения 1. Какова структура рабочей силы? Больше мужчин или женщин? Какой их возраст? Образование?	https://rosstat.gov.ru [Федеральная служба государственной статистики, 2024]	0,33	5	1,65
Технологические факторы				
Уровень инноваций и технологического развития отрасли 1. Как часто происходят технологические инновационные прорывы в отрасли, когда был последний подобный прорыв? 2. Насколько сильно распространено применение новейшего оборудования и технологий в отрасли?	<i>На основе личного опыта. Открытые источники информации.</i>	0,34	5	1,7
Доступ к новейшим технологиям 1. Насколько высоки барьеры (финансовые, административные, логистические, научные) для получения доступа к новейшим технологиям?	<i>На основе личного опыта.</i>	0,33	5	1,65
Отношение населения к инновациям и технологическим новинкам 1. Насколько распространен интернет? 2. Насколько распространены мобильные устройства? 3. Насколько распространены электромобили и иные технологические новинки последнего времени?	https://digital.gov.ru [Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, 2024] https://datareportal.com [Агентство DataReportal, 2024] https://www.autostat.ru/ [Агентство Автостат, 2024]	0,33	5	1,65
Суммарный показатель (СП)				20

Заключение

В условиях современной, динамичной, сложно предсказуемой среды существования малых промышленных предприятий функция стратегического планирования приобретает жизненно важное, определяющее значение для успешного существования и развития организации.

В результате проведенной работы автором разработан адаптированный вариант проведения PEST-анализа, учитывающий особенности малых промышленных предприятий, который может быть успешно применен при определении воздействия внешней среды на развитие организации. В процессе исследования решены задачи определения особенностей малых промышленных предприятий, являющихся причиной для создания предложенного варианта анализа; разработки инструкции по проведению PEST-анализа на малом промышленном предприятии; разработки рекомендаций по выбору стратегии развития на

основе результатов PEST-анализа; разработки шаблона таблицы для проведения PEST-анализа на малом промышленном предприятии.

Разработанный автором механизм расширяет методологию общенаучной теории стратегического планирования на предприятии, добавляя новый инструмент исследования – PEST-анализ для малых промышленных предприятий.

Предложенный вариант PEST-анализа может быть использован руководством малых промышленных предприятий как составная часть функции стратегического планирования с целью повышения его конкурентоспособности и эффективного развития в условиях нестабильной внешней среды.

Список источников

- Аналитическое агентство Автостат. URL: <https://www.autostat.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Блинов А.О. 1997. Малое предпринимательство: Организационные и правовые аспекты деятельности. М., 335 с.
- Ваганова О.В., Волкова А.А., Иваненко М.Г., Королькова Д.И., Леонтьев Е.Д., Вертакова Ю.В., Стрябова Е.А. 2019. Производственный менеджмент. Белгород, 151 с.
- ГБУ «Малый бизнес Москвы». URL: <https://mbm.mos.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Информационно-статистическое агентство DataReportal. URL: <https://datareportal.com> (дата обращения 28.10.2024).
- Информационно-статистическое агентство Information Sciences Ltd. URL: <https://www.worldeconomies.com> (дата обращения 28.10.2024).
- Каплан Р., Нортон Д. 2012. Награда за блестящую реализацию стратегии. М., 344 с.
- Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ. URL: <https://digital.gov.ru/ru/> (дата обращения 28.10.2024).
- Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: <https://www.economy.gov.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Правительство Российской Федерации. URL: <http://government.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Президент Российской Федерации. URL: <http://www.kremlin.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Рубе В. А. 2000. Малый бизнес: история, теория и практика. М.: ТЕИС, 231 с.
- Самарина В.П. 2021. Антикризисное управление регионами России. СПб., 129 с.
- Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Центральный Банк РФ. URL: <https://cbr.ru> (дата обращения 28.10.2024).
- Эванс В. 2015. Ключевые стратегические инструменты. 88 инструментов, которые должен знать каждый менеджер. М., 456 с.

Список литературы

- Добровольский А.Л. 2013. PEST-анализ как инструмент стратегического планирования. *Управление мегаполисом*, 4 (34): 116–119.
- Камшилов С.Г. 2017. Применение STEEP-анализа для производственной сферы в текущих макроэкономических условиях. *Вестник факультета управления Челябинского государственного университета*, 2: 82–88.
- Кузьменко О.В., Чекарь В.Н. 2023. PEST-анализ в системе стратегического маркетингового анализа. *Экономика и бизнес: теория и практика*, 2 (96): 217–223.
- Новичкова Л.М. 2015. Инструменты стратегического анализа компании. *Молодой ученый*, 21-1 (101): 56–60.
- Пономарева Е.В. 2016. Методология проведения PESTEL-анализа. *Экономика и социум*, 11 (30): 264–270.
- Семиколонова М.Н., Глубокова Л.Г., Федорова С.Ю. 2018. PEST-анализ сельскохозяйственного производства региона. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, 12–3: 16–24.
- Скуфына Т.П., Бажутова Е.А., Самарина В.П. 2019. Предпринимательская активность в регионах российской Арктики в сравнении с общероссийской ситуацией. *Арктика и Север*, 37: 51–68.
- Aguilar F.J. 1967. Scanning the business environment. New York, MacMillan Co., 239 p.
- Nahlik W. 1989. Mittelslandische Unternehmen als Kreditnehmer. *Nahlik. Bank. Köln.*, 11: 3628–3634.

References

- Dobrovolsky A.L. 2013. PEST analysis as a strategic planning tool. *Megalopolis Management*, 4 (34): 116–119 (in Russian).
- Kamshilov S.G. 2017. Application of STEEP analysis for the production sector in the current macroeconomic conditions. *Bulletin of the Faculty of Management of Chelyabinsk State University*, 2: 82–88 (in Russian).
- Kuzmenko O.V., Chekar V.N. 2023. PEST analysis in the strategic marketing analysis system. *Economics and Business: Theory and Practice*, 2 (96): 217–223 (in Russian).
- Novichkova L.M. 2015. The company's strategic analysis tools. *Young Scientist*, 21-1 (101): 56–60 (in Russian).
- Ponomareva E.V. 2016. Methodology of PESTEL analysis. *Economics and Society*, 11 (30): 264–270 (in Russian).
- Semikolenova M.N., Glubokova L.G., Fedorova S.Y. 2018. PEST analysis of agricultural production in the region. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 12-3: 16–24 (in Russian).
- Skufina T.P., Bazhutova E.A., Samarina V.P. 2019. Entrepreneurial activity in the regions of the Russian Arctic in comparison with the national situation. *The Arctic and the North*, 37: 51–68 (in Russian).
- Aguilar F.J. 1967. Scanning the business environment. New York, MacMillan Co., 239 p.
- Nahlik W. 1989. Mittelslandische Unternehmen als Kreditnehmer. *Nahlik. Bank. Koln.*, 11: 3628–3634.

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 15.11.2024

Поступила после рецензирования 19.12.2024

Принята к публикации 11.01.2025

Received November 15, 2024

Revised December 19, 2024

Accepted January 11, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лабозин Александр Олегович, аспирант, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова – филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», Белгородская обл., г. Старый Оскол, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Aleksandr O. Labozin, Postgraduate Student, Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov – branch of the National University of Science and Technology "MISIS", Stary Oskol, Russia

УДК 334.024

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-78-85

Лидерство в менеджменте образовательных организаций: конструктивная проекция зарубежной практики

Ломовцева О.А., Тимошкин С. П.

Московский городской педагогический университет
Россия, 115191, г. Москва, 2-й Тульский переулок, дом 4
TimoshkinSP@mgpu.ru, LomovcevaOA@mgpu.ru

Аннотация. На современном этапе развития в мире существует большое число практик лидерства, которые активно используются в программах подготовки управленческих кадров. В сфере образования в нашей стране такие практики находятся в стадии развития и апробации и широко не применяются. В связи с этим в статье раскрыты результаты исследований роли лидерства на материалах проекта International Successful School Directorship Project (ISSPP). Представлены основные критерии, которые легли в основу проекта и которые позволили разработать модель эффективного руководства школой с использованием потенциала лидерства. В результате разработанная модель представлена тремя уровнями влияния лидерства: влияние вообще; влияние на школу; влияние на преподавании и обучение. Было установлено, что к формированию лидерства необходимо подходить комплексно, учитывая как факторы среды, так и личностные качества самого руководителя.

Ключевые слова: методология ISSPP, развитие профессиональных навыков, управление изменениями, партнерство, культура организации

Для цитирования: Ломовцева О.А., Тимошкин С.П. 2025. Лидерство в менеджменте образовательных организаций: конструктивная проекция зарубежной практики. *Экономика. Информатика*, 52(1): 78–85. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-78-85

Leadership in the Management of Educational Organizations: a Constructive Projection of Foreign Practice

Olga A. Lomovtseva, Sergey P. Timoshkin

Moscow City Pedagogical University
4, 2nd Tulsy Lane, Moscow 115191, Russia
TimoshkinSP@mgpu.ru, LomovcevaOA@mgpu.ru

Abstract. At the present stage of development, there are many leadership practices in the world that are actively used in management training programs. In the field of education in our country, such practices are at the stage of development and testing and are not widely used. In this regard, the article discloses the results of research on leadership role based on the materials of the International Successful School Directorship Project (ISSPP). We describe the main criteria that formed the basis of the project and allowed developing a model of effective school management using the potential of leadership. As a result, the developed model is presented by three levels of leadership influence: influence in general; influence on school; influence on teaching and learning. The research reveals the need to approach the formation of leadership in a comprehensive manner, considering both environmental factors and the personal qualities of the leader himself.

Keywords: ISSPP methodology, development of professional skills, management change, partnership, organizational culture

For citation: Lomovtseva O.A., Timoshkin S.P. 2025. Leadership in the Management of Educational Organizations: a Constructive Projection of Foreign Practice. *Economics. Information technologies*, 52(1): 78–85 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-78-85

Введение

Для современных образовательных организаций как полноценных экономических субъектов, оперирующих значительным пулом ресурсов, реализующих стратегии, ответственных за достижение образовательных, экономических и других целей деятельности, роль лидерства актуализируется на новой основе. Лидерство должно обеспечивать стратегическое видение развития организаций, формирование соответствующей организационной культуры, целеориентированную мотивацию сотрудников, способы достижения поставленных целей и др. Руководитель образовательной организации должен обладать способностями создавать такой социально-психологический климат в коллективе, который будет объединять, вдохновлять, направлять сотрудников как команду единомышленников.

При анализе различных аспектов влияния лидерства на функционирование организации необходимо диагностировать стили лидерства, оценивать эффекты динамики результативных показателей, скорость адаптации к изменениям внешней среды и в целом обеспечивать устойчивое развитие организации. Специфичным для руководителей школ является также ответственность за результаты деятельности школы в целом, а также отдельных обучающихся, а для этого необходимо влиять на качество образовательной среды, создавать условия для профессионального роста и развития, внедрять инновации, способствующие повышению качества образования.

Материалы и методы

В основу исследования в данной статье положены результаты применения различных отечественных и зарубежных практик лидерства, которые в настоящее время широко распространены, используются в программах подготовки управленческих кадров, при отборе кандидатов в кадровый резерв, для участия в федеральных проектах, конкурсах государственных служащих для назначения на должность [Абрамов, 2024; Ломовцева, Герасименко, Островская, 2023]. В сфере образования такие практики в нашей стране пока только развиваются и активно не используются.

Цель исследования в данной статье – разработка модели эффективного руководства школой с использованием потенциала лидерства, полученной на основе анализа и критического осмысления материалов проекта ISSPP, связанного с различными практиками управления школой, включая стили лидерства, методы взаимодействия с педагогами и учениками, а также влияния на организационную культуру.

Рассмотрим содержание исследовательского проекта International Successful School Directorship Project (ISSPP), начатый в 2001 г. и являющийся в настоящее время одним из самых масштабных и регулярных исследований менеджмента школ. Основные критерии, значимые в проекте:

- 1) высокие достижения обучающихся, подтвержденные результатами итоговых экзаменов регионального и федерального уровней;
- 2) репутационные характеристики деятельности директора школы, составленные на основе опросов общественного мнения, данных отчетности, результатов проверок и т. д.;
- 3) характеристика результативности деятельности школы в целом, наличие достижений обучающихся и педагогов, подтвержденных документально.

Основные методы сбора данных, применяемые в исследовании: индивидуальные и групповые интервью (респондентами являются директора, учителя и другие сотрудники, учащиеся и их родители, члены ученического совета и управляющего совета школы), а также анализ документов.

Результаты и обсуждение

Целью исследования ISSPP является установление влияния руководства школой на образовательные результаты обучающихся.

Первоначально в проект включились ученые восьми стран – Австралии, Канады, Китая, Дании, Англии, Норвегии, Швеции, Соединенных Штатов, в настоящее время сеть включает в себя 27 представителей и продолжает расти. Формирование методологии ISSPP в 2000-х годах [Day, 2024] началось с ряда предпосылок:

- 1) данные опросов различных респондентов – заинтересованных групп школьного сообщества (руководители школ, руководители органов региональной власти, родители, учащиеся, персонал школ);
- 2) анализ практики руководства различными образовательными организациями (школами);
- 3) перечни профессиональных компетенций и личностных качеств, специфичных для эффективного руководства.

В исследовании рассматривается набор важнейших аспектов деятельности директора школы, среди которых можно указать следующие.

Ориентация на результаты. Директор школы ориентирован на высокие достижения (как на индивидуальном, так и на коллективном уровнях), а не на выполнение требований вышестоящих инстанций, предоставление отчетности и прочие формальные результаты.

Прагматичность. Любая теоретическая модель лидерства не применима в чистом виде к деятельности реального директора. Например, директор школы, зачастую на интуитивном уровне, должен сочетать компетенции управления изменениями (трансформационное лидерство), текущими рутинными процессами (образовательное лидерство), что особенно сложно сочетать [Gurr, Day, 2024]. В публикациях отмечается, что такой прагматичный подход стал особенно выражен в современных условиях и существенно отличается от лидерства 80-х гг., описываемого Джоном Флемингом [Harris, Chapman, 2024; Merchant, Garza, Ramalho, 2024; Minor-Ragan, Jacobson, 2024; Mulford, Silins, 2024].

Распределенное лидерство. Развитие школы и ее достижения обусловлены вкладом многих стейкхолдеров, среди которых, в первую очередь, учителя, родители и ученики [Gurr, Day, 2024]. Поэтому под распределенным лидерством в данном контексте следует понимать многоуровневое и многомерное влияние на параметры образовательной и социально-воспитательной деятельности различных субъектов школы, основанное на реализации демократических принципов управления [Raihani, Gurr, Drysdale, 2024].

Нестандартность и символизм действий. Например, директору приходится опровергать стереотипы, действовать вопреки статусам. В западной литературе этот аспект получил название «героическое лидерство» [Yaakov, Tubin, 2024]. В это понятие входит и проявление символической роли, в силу которой директор демонстрирует приверженность определенным традициям, принципам поведения, стратегии, культуре и пр., что особенно важно в периоды проведения стратегических изменений.

Создание условий для развития потенциалов сотрудников («управление в духе загородного клуба»). Ориентация на персонал, на обучающихся как на стратегический ресурс школы также составляет часть действий руководителя (например, это описано в австралийских кейсах [Gurr, 2024] и наглядно проиллюстрировано в описании лидерства Рика Тюдора [Torres-Arcadia, Flores-Kastanis, 2024]). Внутренняя среда школы является средой для развития и раскрытия индивидуальных персоналов.

Доверие и уважение со стороны школьного сообщества [Gurr, 2024] основаны на транспарентности ценностей, убеждений и практических действий, вовлечении в процессы принятия решений, справедливости в отношениях с сотрудниками. В этом случае даже решения, в определенных ситуациях принимаемые «сверху вниз», будут восприняты и не вызовут сопротивления.

Склонность к самообучению и саморазвитию. Поскольку лидерские качества обладают свойством изменяться с течением времени, как отмечали Илимаки и Якобсон [Gurr, 2024], возникает феномен социального конструирования, основанный на синергии жизненного опыта и накопленного знания лидера. Успешность возникает из-за сочетания обучения на

рабочем месте, формального и неформального профессионального обучения, наставничества и прочих источников [Day, Gurr, 2024].

Личные качества. Многочисленные теории личных качеств успешного лидера включают в этот перечень проницательность, оптимизм, настойчивость, доверие, терпимость, эмпатию, пытливый ум, устойчивость, доброжелательность, честность, открытость, уважительность, скромность и пр. Конечно, исчерпывающего перечня личных качеств быть не может, всегда можно найти исключения из правил, но в целом успешные лидеры в большей степени демонстрируют трансформационные качества, привержены демократии, умеют балансировать между индивидуализмом и коллективизмом, даже в самых сложных ситуациях склонны рассматривать трудности как препятствия, которые нужно преодолеть, а не как непреодолимые проблемы.

Обобщая результаты представленного выше исследования, которое получило поддержку и распространение в мире [Gurr, 2024], можно сказать, что общим в перечне важнейших компетенций лидера в образовательной организации являются развитие и обучение персонала в целях совершенствования преподавания [Ломовцева, Тимошкин, 2023; Тимошкин, 2024]. Хотя при этом встречаются незначительные различия в отдельных страновых моделях (сингапурской, индонезийской, австралийской и некоторых других).

В данном исследовании авторы предлагают собственное понимание модели лидерства в образовательной сфере, составленное на базе моделей других авторов [Ломовцева, Соболев, Соболева, 2024; Тимошкин, 2022; Тимошкин, Тамразова, 2023] (см. рис. 1).

В модели выделены три уровня влияния лидерства: уровень 3 – влияние вообще; уровень 2 – влияние на школу; уровень 1 – влияние на преподавание и обучение (от косвенного до прямого влияния на результаты обучения).

В данной модели использован термин «руководитель школы» вместо «директор», поскольку возможно распространение модели и применение в отношении менеджеров разного уровня, имеющих отношение к управлению какими-либо процессами школы.

Заключение

В заключение следует подчеркнуть, что исследования влияния лидерства на примере проекта ISSPP позволили выделить следующие важные для менеджмента школ ключевые аспекты.

Для лидера важнейшим является наличие стратегического видения, которое необходимо не только для целеполагания и разработки стратегий достижения целей. Не менее значимым видение является для консолидации и мотивации персонала школы.

Значимой является культура сотрудничества, создающая благоприятную и поддерживающую атмосферу и способствующая вовлечению персонала, родителей и учеников в процессы управления школой. Лидеры напрямую или косвенно выполняют роль наставника, им присущ высокий уровень эмоционального интеллекта, что позволяет лучше понимать потребности и мотивы поведения как учителей, так и учеников.

Успешные лидеры сосредоточены на непрерывном профессиональном и личностном развитии сотрудников, поскольку от этого зависят результаты обучения учеников и школы в целом. Лидеры характеризуются склонностью к инновациям и изменениям, способны адаптироваться к различным внешним вызовам. Регулярная оценка результатов работы школы и обратная связь от всех стейкхолдеров используются для корректировки стратегии и различных процессов внутри школы.

Все указанные аспекты говорят о необходимости комплексного подхода к формированию лидерства и программ подготовки руководителей образовательных организаций, к созданию кадрового резерва и планированию профессиональной карьеры.

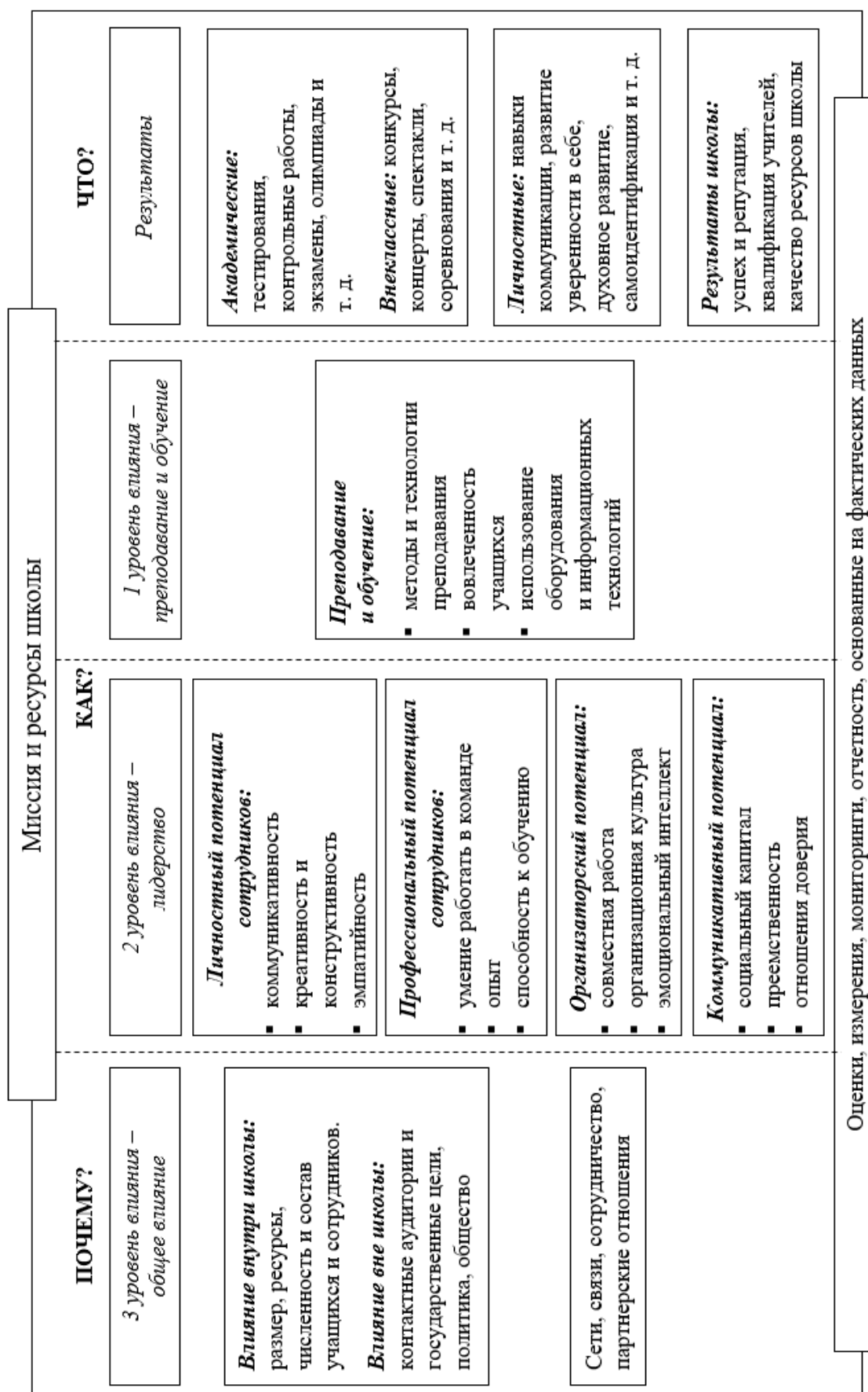


Рис. 1. Модель успешного руководства школой с учетом характеристик «ISSPP»
Fig. 1. Model of successful school management considering the characteristics of the «ISSPP»

Список источников

- Day C., Gurr D. Leading Schools Successfully: Stories from the Field; Routledge [Электронный ресурс] // Routledge URL: <https://www.routledge.com/Leading-Schools-Successfully-Stories-from-the-field/Day-Gurr/p/book/9781138652156> (дата обращения: 13.10.2024).
- Day C. International Successful School Principals Project (ISSPP): Multi-Perspective Research on School Principals [Электронный ресурс] // The University of Nottingham URL: <https://www.uio.no/ils/english/research/projects/isspp/brochure/isspp1709-brochure-final.pdf> (дата обращения: 13.10.2024).
- Gurr D. A Model of Successful School Leadership from the International Successful School Principalship Project / ResearchGate [электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/276713814_A_Model_of_Successful_School_Leadership_from_the_International_Successful_School_Principalship_Project (дата обращения 13.10.2024).
- Gurr D. Finding your leadership, Perspectives in Education, 2 [Электронный ресурс] // Academia URL: https://www.academia.edu/9067095/Gurr_D_2014_Finding_your_leadership_Perspectives_in_Education_2 (дата обращения: 13.10.2024).
- Gurr D. Successful school leadership across contexts and cultures, Leading and Managing [Электронный ресурс] // Academia URL: https://www.academia.edu/19530411/Gurr_D_2014_Successful_school_leadership_across_contexts_and_cultures_Leading_and_Managing_20_2_pp_75_88 (дата обращения: 13.10.2024).
- Gurr D., Day, C. Thinking about leading schools. In Leading Schools Successfully: Stories from the Field [Электронный ресурс] // Taylorfrancis URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.4324/9780203740309/leading-schools-successfully-christopher-day-david-gurr> (дата обращения: 13.10.2024).
- Harris A., Chapman C. Democratic leadership for school improvement in challenging contexts [Электронный ресурс] // International Electronic Journal for Leadership in Learning URL: <https://eprints.gla.ac.uk/75099/1/75099.pdf> (дата обращения: 13.10.2024).
- Merchant B., Garza E., Ramalho E.M. USA—Culturally-responsive leadership. In Leading Schools Successfully: Stories from the Field [Электронный ресурс] // Taylorfrancis URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203740309-19/usa-betty-merchant-encarnacion-garza-elizabeth-murakami-ramalho> (дата обращения: 13.10.2024).
- Minor-Ragan Y., Jacobson S. USA—Her own words: Turning around an under-performing school. In Leading Schools Successfully: Stories from the Field [Электронный ресурс] // Taylorfrancis URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203740309-3/usa-yvonne-minor-ragan-stephen-jacobson> (дата обращения: 13.10.2024).
- Mulford B., Silins H. Revised models and conceptualisation of successful school principalship for improved student outcomes [Электронный ресурс] // Researchgate URL: https://www.researchgate.net/publication/235282692_Revised_models_and_conceptualisation_of_successful_school_principalship_for_improved_student_outcomes (дата обращения: 13.10.2024).
- Raihani, Gurr D., Drysdale L., Leading an Islamic school. In a multicultural setting in Indonesia. In Leading Schools Successfully: Stories from the Field [Электронный ресурс] // Researchgate URL: https://www.researchgate.net/publication/315829128_Leading_an_Islamic_School_in_a_Multicultural_Context (дата обращения: 13.10.2024).
- Torres-Arcadia C., Flores-Kastanis E. Mexico—From fragmentation to community: A journey of change. In Leading Schools Successfully: Stories from the Field [Электронный ресурс] // Taylorfrancis URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203740309-5/mexico-celina-torres-arcadia-eduardo-flores-kastanis> (дата обращения: 13.10.2024).
- Yaakov O.B., Tubin D. Israel—The evolution of success. In Leading Schools Successfully: Stories from the Field [Электронный ресурс] // Taylorfrancis URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780203740309-4/israel-ora-bar-yaakov-dorit-tubin> (дата обращения: 13.10.2024).

Список литературы

- Абрамов Р.А. 2024. Взаимосвязь между экономической диверсификацией и устойчивым развитием регионов Российской Федерации. *Вестник университета*, 1: 41–49.

- Ломовцева О.А., Герасименко О.А., Островская А.А. 2023. Стратегическое управление: классический концепт или инструмент развития компаний. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 2, 11(140): 103–112.
- Ломовцева О.А., Соболев А.В., Соболева С. Ю. 2024. Применение теории контрактов в управлении жизненным циклом организации. *Вестник МГПУ. Серия: Экономика*, 2(40): 76–89.
- Ломовцева О.А., Тимошкин С.П. 2023. Современный подход к обучению лидеров-миллениалов. Экономико-управленческий конгресс: сборник научных работ по итогам международного научно-практического комплексного мероприятия, Белгород, 01–02 ноября 2023 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 60–63.
- Тимошкин С.П. 2024. Компетенции государственно-общественных органов управления общеобразовательной организацией. *Вестник МГПУ. Серия: Экономика*, 2(40): 134–146.
- Тимошкин С.П. 2022. Проекты развития взаимодействий участников образовательных отношений в образовательных организациях. Экономико-управленческий конгресс: сборник статей по материалам Международного научно-практического мероприятия НИУ «БелГУ», Белгород, 10–11 ноября 2022 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 378–381.
- Тимошкин С.П., Тамразова Е.И. 2023. Стратегии развития лидерства персонала образовательной организации в современных условиях. Развитие российской экономики в современных условиях: сборник научных трудов по итогам научной конференции, Государственный университет управления, 12–13 сентября 2023 года. Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 248–252.

References

- Abramov R.A. 2024. Vzaimosvyaz' mezhdru ekonomicheskoy diversifikaciej i ustojchivym razvitiem regionov Rossijskoj Federacii [The relationship between economic diversification and sustainable development of the regions of the Russian Federation]. *Bulletin of the University*, 1: 41–49.
- Lomovtseva O.A., Gerasimenko O.A., Ostrovskaya A.A. 2023. Strategic management: a classical concept or a tool for company development [Strategicheskoe upravlenie: klassicheskij koncept ili instrument razvitiya kompanij]. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2, 11(140): 103–112.
- Lomovtseva O.A., Sobolev A.V., Soboleva S.Yu. 2024. Primenenie teorii kontraktov v upravlenii zhiznennym ciklom organizacii [Application of contract theory in managing the life cycle of an organization]. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Economics*, 2(40): 76–89.
- Lomovtseva O.A., Timoshkin S.P. 2023. Sovremennyy podhod k obucheniyu liderov-millennialov [Modern approach to training millennial leaders]. Economic and Management Congress: Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and practical comprehensive event, Belgorod, November 1-2, 2023. Belgorod: Belgorod State National Research University, 60–63.
- Timoshkin S.P. 2024. Kompetencii gosudarstvenno-obshchestvennyh organov upravleniya obshcheobrazovatel'noj organizaciej [Competences of state and public governing bodies of a general education organization]. *Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Economics*, 2 (40): 134–146.
- Timoshkin S.P. 2022. Proekty razvitiya vzaimodejstvij uchastnikov obrazovatel'nyh otnoshenij v obrazovatel'nyh organizacijah [Projects for the development of interactions between participants in educational relations in educational organizations]. Economic and Management Congress: Collection of articles based on the materials of the International scientific and practical event of the National Research University "BelSU", Belgorod, November 10-11, 2022. Belgorod: Belgorod State National Research University, 378–381.
- Timoshkin S.P., Tamrazova E.I. 2023. Strategii razvitiya liderstva personala obrazovatel'noj organizacii v sovremennyh usloviyah [Strategies for the development of personnel leadership in an educational organization in modern conditions]. Development of the Russian economy in modern conditions: Collection of scientific papers based on the results of a scientific conference, State University of Management, September 12-13, 2023. Moscow: Publishing and Trading Corporation "Dashkov i K", 248–252.

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 11.01.2025
Поступила после рецензирования 31.01.2025
Принята к публикации 17.02.2025

Received January 11, 2025
Revised January 31, 2025
Accepted February 17, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ломовцева Ольга Алексеевна, доктор экономических наук, профессор, профессор департамента экономики и управления, Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

Тимошкин Сергей Петрович, аспирант института экономики, управления и права, Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga A. Lomovtseva, Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics and Management, Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

Sergey P. Timoshkin, Postgraduate student at the Institute of Economics, Management and Law, Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

УДК 338.48
DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-86-94

Тенденции восстановительного роста международного туризма

^{1,2,3} **Оборин М.С., ² Орлов С.П.**

¹ Пермский институт – филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова
Россия, 614070, г. Пермь, б-р Гагарина, 57

² Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

³ Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23
recreachin@rambler.ru, orlovstanislav11@yandex.by

Аннотация. В статье проведено исследование процессов трансформации и адаптации международного туризма к событиям и ограничениям, вызванным сложной эпидемиологической обстановкой. Цель исследования заключается в выявлении особенностей отрасли в период восстановления, определяющих состояние и направления развития международного туризма после отмены барьеров, от которых зависит дальнейшая динамика бизнеса на глобальном и региональных уровнях. Проведен анализ влияния внешних шоков на изменения рынка туристских услуг, исследуется динамика их влияния в различных регионах. Изучены актуальные стратегии, направленные на возрождение туризма в постпандемический период с учетом фактора цифровизации.

Ключевые слова: международный туризм, туристические регионы, экономические препятствия, геополитические препятствия, глобальные туристические процессы

Для цитирования: Оборин М.С., Орлов С.П. 2025. Тенденции восстановительного роста международного туризма. *Экономика. Информатика*, 52(1): 86–94. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-86-94

Trends in the Recovery Growth of International Tourism

^{1,2,3} **Matvey S. Oborin, ² Stanislav P. Orlov**

¹ Perm Institute (branch) of the Plekhanov Russian Economic University
57 Gagarin Blv, Perm 614070, Russia

² Perm State National Research University
15 Bukirev St, Perm 614990, Russia

³ Perm State National Research University
23 Petropavlovskaya St, Perm 614990, Russia
recreachin@rambler.ru, orlovstanislav11@yandex.by

Abstract. The article examines the processes of transformation and adaptation of international tourism to the events and restrictions caused by a complex epidemiological situation. The purpose of this study is to identify the features of the industry during the recovery period that determine the state and directions of international tourism development after the removal of barriers that further global and regional business dynamics depend upon. The authors analyze the impact of external shocks on changes in the tourist services market and investigate the dynamics of their influence in various regions. The study also looks at the current strategies aimed at reviving tourism in the post-pandemic period, taking into consideration the digitalization factor.

Keywords: international tourism, tourist regions, economic obstacles, geopolitical obstacles, global tourism processes

For citation: Oborin M.S., Orlov S.P. 2025. Trends in the Recovery Growth of International Tourism. *Economics. Information technologies*, 52(1): 86–94 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-86-94

Введение

Сфера туризма – важная часть современной мировой экономики. В эпоху глобализации туризм способствует не только экономическому развитию отдельных государств, но и является причиной географической диверсификации, благодаря которой претерпевает изменения структура международных туристических потоков. Вышеуказанное обуславливает необходимость особого внимания к этой теме и идентификацию формирования возможных новых перспективных туристических направлений. Кроме того, туризм как составляющая общей экономической системы чувствителен к различным видам риска в политической, экономической, социальной и экологической сферах. Таким образом, тема приобретает еще большую актуальность для научного исследования.

Основная часть

Глобальное значение туризма возрастает из-за усиливающегося влияния на экономику. Во многих странах он является важнейшим направлением экономической деятельности, внося значительный вклад в валовый внутренний продукт (ВВП), создавая новые рабочие места и стимулируя развитие инфраструктуры на различных уровнях – национальном, региональном и локальном. Это подчеркивает тот факт, что устойчивый рост туризма становится ключевым фактором экономического процветания во многих странах мира. Международный туризм играет важную роль в глобальной экономике, так как:

- обеспечивает валютный обмен и стимулирует занятость в сфере услуг и связанных видах предпринимательства;
- оптимизирует макроэкономические показатели и способствует интенсификации социально-экономических процессов в регионах;
- поддерживает диверсификацию экономики субъектов страны и сельских территорий, влияя на спрос в отраслях, взаимосвязанных с туризмом.

Стремительному развитию международного туризма способствует процесс глобализации, налаживание дипломатических, экономических, торговых и межкультурных связей между государствами. Особенно актуальным и потенциально привлекательным направлением развития туризм выступает для развивающихся стран, поскольку это своеобразная инвестиционная инъекция в экономику национальных и иностранных инвесторов, заинтересованных в приумножении собственного капитала [Гафарова, 2024]. Часто в экономике развивающихся стран преобладает аграрный сектор, ограничивающий пути получения инвестиций, потому развитие туристического сектора в районах с ограниченными ресурсами способствует улучшению местных экономик за счет развития инфраструктуры. По мере роста занятости в сфере туризма увеличиваются и доходы населения, что ведет к росту национального благосостояния [Гуляев, 2024].

Пандемия COVID-19 стала катализатором беспрецедентных изменений в туристической индустрии, затронув ее фундаментальные основы как на национальном, так и на глобальном уровне. Внезапное падение спроса, введение ограничений на поездки и закрытие границ поставили под угрозу существование множества туристических предприятий, вынуждая их искать новые пути выживания и адаптации к стремительно меняющейся реальности. Кризис, вызванный пандемией, стал основой для инноваций, заставив туристические компании переосмыслить свои бизнес-модели. Рост онлайн-бронирования, появление новых форматов путешествий, изменение предпочтений потребителей в сторону более экологичного и устойчивого туризма привели к появлению новых трендов и потребовали разработки инновационных решений [Ассоциация Туроператоров, 2024]. В новых условиях туристическая индустрия столкнулась с необходимостью использования цифровых технологий не только для повышения эффективности и оптимизации процессов, но и для создания более персонализированного и комфортного опыта путешествия. Цифровая

трансформация стала не просто внедрением новых инструментов, а комплексным переосмыслением того, как создается ценность для потребителей [Никулина, 2024].

Регионы с интенсивным развитием туризма характеризуются значительными доходами от международного туризма и существенным вкладом туризма в их ВВП (рис. 1).

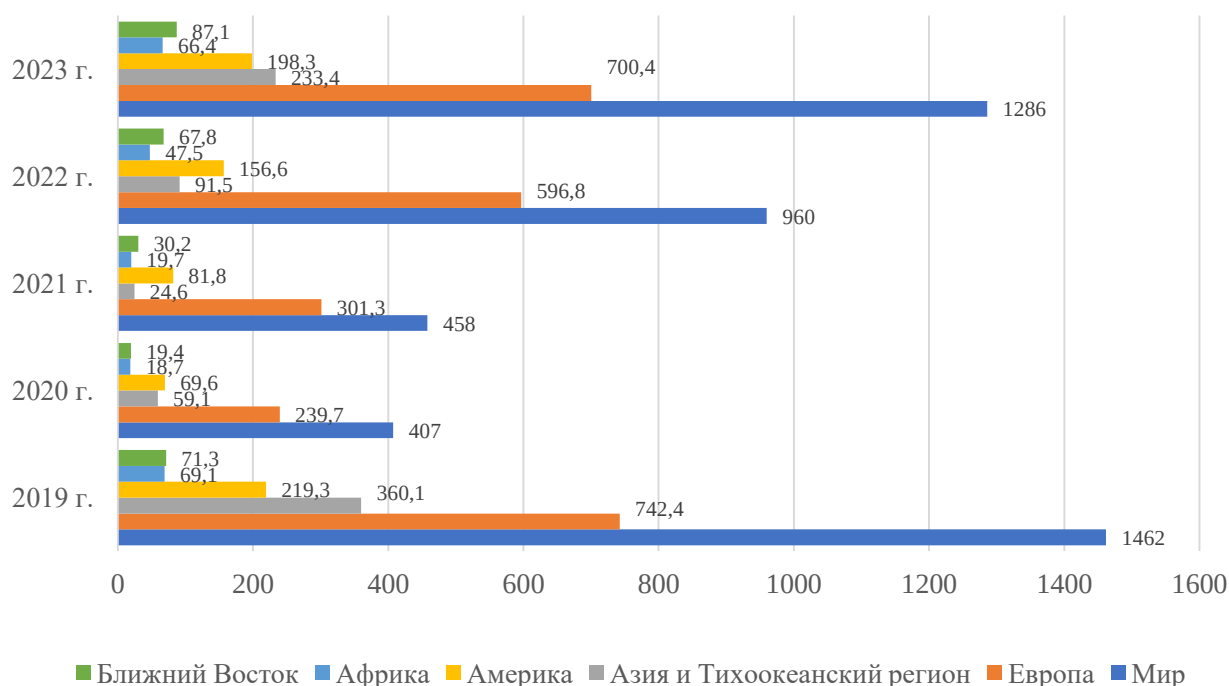


Рис. 1. Международные туристские прибытия по регионам мира, млн чел.
[World Tourism Organization, 2024]

Fig. 1. International tourist arrivals by region of the world, million people
[World Tourism Organization, 2024]

Сложная ситуация, распространившись в глобальном масштабе, существенно ограничила спрос, привела к убыткам и рыночным провалам, так как предприятия турбизнеса не смогли быстро приспособиться [WTTC, 2024]. Резкое падение спроса – по данным Всемирной туристической организации (UNWTO), в мае 2020 г. международные прибытия сократились на 98 % – стало причиной практически полного прекращения деятельности по выездным (въездным) направлениям. За первые пять месяцев 2020 г. количество туристических путешествий уменьшилось на 300 млн, по сравнению с аналогичным периодом 2019 г., что привело к упущенной выгоде компаний в размере 320 млрд долл. [World Tourism Organization, 2024].

Пандемия оказала существенное влияние на потоки туристов в Азиатско-Тихоокеанский регион из-за особо строгих ограничений на поездки. Количество международных туристских прибытий в данный регион в 2020 г. уменьшилось на 301 млн чел. или 83,5 % [World Tourism Organization, 2024].

Европейский рынок находился на втором месте (после азиатского) по спаду – всего за первое полугодие 2020 г. число прибытий сократилось на 66,5 %. В этот период наиболее пострадавшими от пандемии европейскими странами, в которых резко снизились два основных показателя (туристические прибытия и экспорт туристических услуг), стали Греция (соответственно 78,8 % и 87,5 %), Испания (72,4 % и 70,6 %), Италия (61,6 % и 67,7 %), Норвегия (75,2 % и 60,4 %) и т. д. [Овчарова, Малкина, 2021].

На Ближнем Востоке и в Африке число прибывших тоже существенно сократилось (72,8 % и 72,9 % соответственно). Сокращение туристских прибытий в Америку и Европу составило 151,87 млн и 52,67 млн соответственно. Основными факторами лидерства в привлечении туристских потоков являются специфические характеристики данных регионов. Согласно опубликованному ЮНВТО Всемирному туристическому отчету, к концу 2023 г.

международный туризм восстановился до 88 % от уровня, существовавшего до пандемии. По оценкам ЮНВТО, число международных туристов достигло 1,3 миллиарда человек.

Также следует отметить, что потребители туристских услуг отреагировали быстро и негативно на новости, связанные с пандемией, еще до того, как данная проблема была признана официальными властями.

Последующие тенденции развития мирового рынка туристических услуг позволили убедиться в высоком восстановительном потенциале. 2021 г. стал решающим для восстановления международного туризма. Широкое распространение вакцинации во всем мире создало базовые условия для международных поездок. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), к концу 2021 г. большинство стран мира добились значительного увеличения ее показателей. После того, как уровень вакцинации достиг определенного порога, многие страны постепенно ослабили свои ограничения на международные поездки, особенно на осуществление политики в отношении поездок, основанной на сертификатах о вакцинации или тестировании [OECD, 2024]. Эта политика заложила основу для возобновления международного туризма.

Согласно последнему отчету Всемирной туристской организации (ВТО) о мировом туризме, 2023 г. показал положительные тенденции в восстановлении туристического сектора. В целом мировые показатели туристического потока достигли 93 % от уровня 2019 года. Ближний Восток – это единственный регион, который не только восстановился, но и превзошел показатели 2019 г., демонстрируя прирост на 22 %. Многие регионы практически полностью восстановили объемы туристской деятельности по отношению к 2019 году: Европа (94 %), страны Африки (96 %), Северная и Южная Америка (90 %). Наиболее уязвимым оказался Азиатско-Тихоокеанский регион, так как его показатель составил 65 % от прежнего уровня после отмены ограничений. Определенные диспропорции сохраняются в территориально близких регионах – Южная Азия восстановилась на 87 %, в то время как Северо-Восточная Азия демонстрирует всего лишь 55 % (рис. 2).

Пандемия COVID-19 стала поворотным моментом в истории туристической индустрии. Она заставила туристические компании переосмыслить свои бизнес-модели, внедрить новые технологии и адаптироваться к изменениям потребительских предпочтений. 2023 год ознаменовался впечатляющим восстановлением туристической индустрии после пандемии. Данные Всемирной туристской организации подтверждают этот позитивный тренд. По предварительным оценкам, доходы от международного туризма в 2023 г. достигли 1,4 трлн долл., что составляет около 93 % от 1,5 трлн долл., полученных в 2019 г. Это означает, что туристическая индустрия практически вернулась к допандемийному уровню, демонстрируя впечатляющую устойчивость и способность к быстрому восстановлению.

Важно отметить, что сюда не входят доходы от экспорта туристических услуг, таких как пассажирские перевозки. С учетом этих дополнительных доходов общий доход за 2023 г. оценивается в 1,6 трлн долл., что составляет почти 95 % от 1,7 трлн долл., зафиксированных в 2019 г. По предварительным данным, прямой вклад туризма в мировой ВВП в 2023 г. составил 3,3 трлн долл., что составляет 3 % мирового ВВП. Это означает полное восстановление до уровня, существовавшего до пандемии, благодаря активной деятельности в сфере внутреннего и международного туризма [World Tourism Organization, 2024].

Туризм по-прежнему остается одним из самых быстрорастущих секторов международной торговли услугами, однако из-за пандемии COVID-19 ему пришлось тяжелее, чем любой другой отрасли. Закрытие границ, приостановление деятельности развлекательных заведений и посещения туристических достопримечательностей, а также отмена крупных мероприятий, фестивалей и выставок привели к остановке мирового туризма. По данным ЮНВТО [UNWTO, 2024], убытки международного туризма в 2020 г. достигли 320 млрд долл., что более чем в три раза превышает потери, понесенные во время экономического кризиса 2009 г.

Международный туризм, как и внешняя торговля, отражает глобальное разделение труда, в котором промышленно развитые страны играют доминирующую роль. Как правило,

около 10 % населения этих стран участвует в выездном туризме. Такие страны, как Соединенные Штаты, Германия, Франция, Великобритания, Италия, Австрия и Швейцария являются основными источниками и местами назначения для международных туристов.

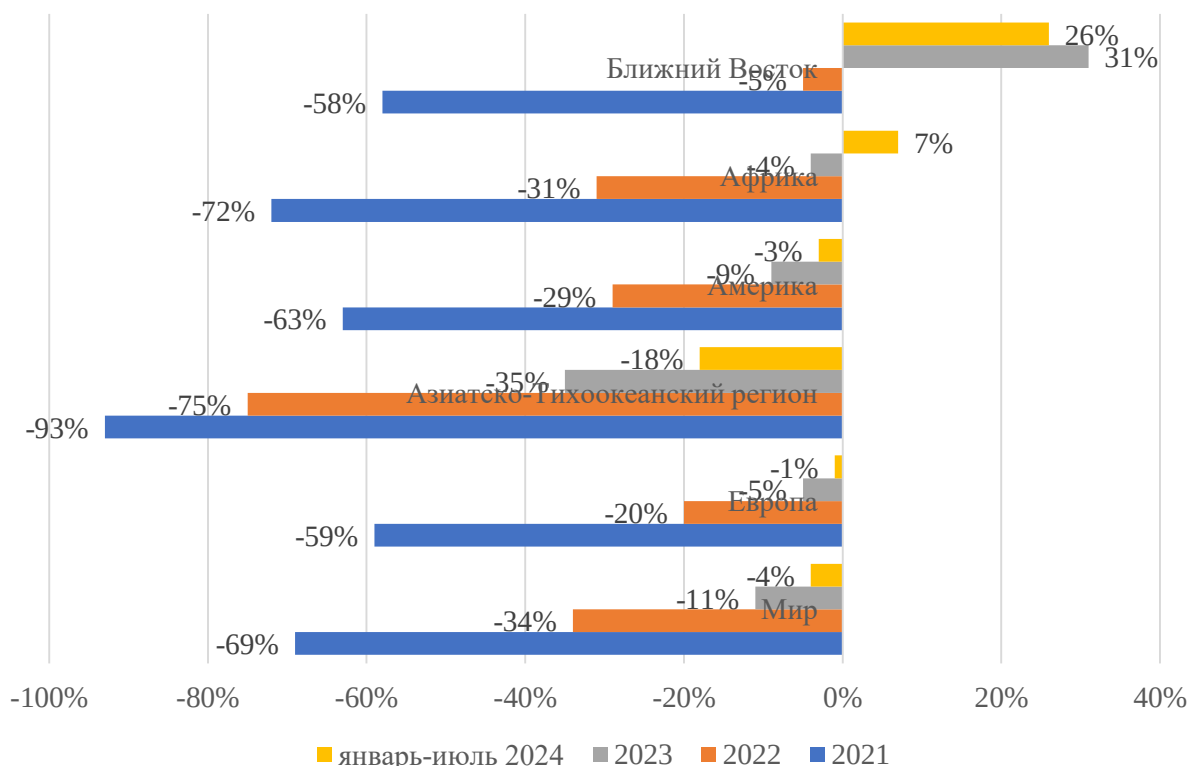


Рис. 2. Международные туристические прибытия, % изменения по сравнению с 2019 годом
[World Tourism Organization, 2024]

Fig. 2. International tourist arrivals, % change compared to 2019 [World Tourism Organization, 2024]

За последние шесть десятилетий туризм пережил не просто рост, а настоящую эволюцию, превратившись из узкоспециализированного вида отдыха в одну из ключевых отраслей мировой экономики. Его влияние распространяется на все сферы жизни, от инфраструктуры и транспортных коммуникаций до культуры и образования. Транснационализация международного туристического бизнеса лучше всего прослеживается на примере индустрии гостеприимства, где действуют крупные гостиничные сети, что способствует эффективному развитию сферы услуг.

Международный туризм характеризуется неравномерным распределением потоков туристов по миру. Страны можно четко разделить на экспортеров туристов и их импортеров. Лидерами в области выездного туризма традиционно являются высокоразвитые государства, такие как Германия, Великобритания, Бельгия, Дания, Нидерланды, США, Канада и Япония. Эта тенденция обусловлена множеством факторов. Основопологающим является уровень доходов населения, который определяет возможность путешествовать не только внутри страны, но и за её пределами.

Изучение международного опыта в применении мер по борьбе с кризисными явлениями в туристическом секторе имеет немаловажное значение, поскольку анализ этих подходов позволяет адаптировать и интегрировать их в национальные системы регулирования и поддержки туристической отрасли, что способствует более эффективному ее развитию (табл. 1).

Хотя туристический сектор был одним из самых пострадавших от пандемии, российские власти предприняли ряд антикризисных мер, направленных на его стабилизацию. Введены специальные налоговые режимы, облегчающие налоговую нагрузку на туристические компании.

Была предусмотрена отсрочка от уплаты налогов, что позволило туристическим компаниям пережить период финансовых трудностей и не сокращать штат сотрудников. Обеспечен доступ к кредитам по льготным ставкам для туристических компаний, что позволило им покрывать убытки и инвестировать в восстановление бизнеса. Банки предоставляли отсрочку по платежам по существующим кредитам, что позволяло туристическим компаниям высвободить денежные средства для покрытия текущих расходов. Было предусмотрено выделение субсидий для покрытия части заработной платы сотрудников туристических компаний, что помогло сохранить рабочие места и предотвратить массовые увольнения (табл. 2). Эти меры, безусловно, сыграли решающую роль в стабилизации туристической отрасли страны. Государство продолжает принимать меры для поддержки туризма и уже видны первые признаки оживления спроса на внутренние туристические услуги.

Таблица 1

Table 1

Основные направления поддержки туризма в различных странах
в период пандемии COVID-19

Main areas of support for tourism in different countries during the COVID-19 pandemic

Государство	Основные меры, предпринятые правительствами
Египет	Реализован план отсроченных платежей по всем задолженностям, надлежащим туристическим компаниям и отелям, а также предоставлено освобождение от арендных платежей.
Страны Балтии	Полностью открыты границы для неограниченных внутренних поездок между балтийскими странами.
Япония	Внедрена модифицированная потребительская модель, на поддержку которой было выделено более 10 млрд долл. Это финансирование включало бесплатные ваучеры и скидки, помощь транспортным и продовольственным компаниям, а также различные другие инициативы, направленные на развитие туристической отрасли.
Болгария	Оказана прямая финансовая поддержка туристическому бизнесу, кроме того, правительство обязалось покрывать страховые выплаты работодателям.
Италия	Временно приостановлены выплаты налогов и платежи социального страхования организациями туризма и культуры на время пандемии.
Израиль	Разработаны и внедрены виртуальные туры по значимым историко-культурным объектам для привлечения туристов в будущем.
Сербия, Словения и Словакия	Осуществлены прямые выплаты туристическим фирмам, которые были вынуждены закрыться из-за пандемии. В некоторых случаях была оказана прямая финансовая поддержка сотрудникам этих организаций.
Ямайка	В сотрудничестве с международными организациями и партнерами была оказана финансовая помощь малым и средним туристическим предприятиям, которая способствовала смягчению последствий пандемии и восстановлению отрасли.
Черногория	В течение нескольких месяцев предоставлялись субсидии для компенсации выплат заработной платы сотрудникам небольших туристических организаций, наиболее пострадавших от коронавируса.

Примечание: составлено авторами на основе [World Travel & Tourism Council, 2024]

Реалии рынка международного туризма свидетельствуют, что эта сфера продолжает трансформироваться и дальше. Стремительное распространение новых трендов в сфере туризма стало возможным благодаря непрерывному научно-техническому прогрессу и связано, прежде всего, с внедрением цифровых технологий. Цифровизация сыграла жизненно важную роль в восстановлении туризма. Во время пандемии многие туристические компании и платформы повысили свою операционную эффективность и удобство для пользователей с

помощью цифровых технологий. Например, искусственный интеллект и анализ больших данных помогают туристическим компаниям оптимизировать маршруты и персонализировать услуги, а бесконтактные технологии, например, электронная оплата и электронные билеты, получили широкое распространение именно в период пандемии.

Привлечение бесконтактных платежных систем, приложений, технологий искусственного интеллекта и виртуальной или дополненной реальности, использование технологии блокчейн – уже формируют обычную среду жизни человека, поэтому, их непосредственное влияние на сферу международного туризма проявляется посредством расширения возможностей предоставления туристических услуг. С появлением форумов, блогов, «Facebook», «Twitter», «YouTube» и других социальных сетей туристы сами стали создавать имидж и влиять на бренд компании благодаря своим сообщениям. Огромная роль в глобализации туризма отведена также электронной коммерции. По мере углубления применения технологий в сфере туризма цифровая трансформация будет продолжать способствовать восстановлению и росту индустрии туризма в ближайшие годы, особенно в области виртуального туризма и дополненной реальности.

Таблица 2

Table 2

Мероприятия по поддержке туристической отрасли в России
 Measures to support the tourism industry in Russia

Рекомендации ВТО	Меры, реализованные в России
Определение и минимизация экономических рисков и проблем в сфере занятости.	Для покрытия неотложных потребностей и оплаты коммунальных услуг предоставлялись субсидии на оплату труда. Малые и средние предприятия получали одну минимальную заработную плату (12 130 рублей) на каждого работника при условии сохранения не менее 90 % своей рабочей силы. Дополнительные возможности включали мораторий на банкротство и временные налоговые льготы, призванные защитить от штрафов за несвоевременную подачу документов. Также были предусмотрены отсрочки по арендным платежам, приостановление взыскания налоговой задолженности и продление сроков уплаты налогов для малых и средних туристических организаций.
Предоставление льгот и финансовой помощи, включая уменьшение или освобождение от уплаты взносов на социальное обеспечение и налогов организациям, которые сохраняют коллективы.	Туристическим организациям предоставлены субсидии для компенсации убытков, связанных с авиаперевозками. Кроме того, туроператорам предоставлен доступ к их фонду персональной ответственности, что позволило им использовать накопленные средства для возврата денег туристам.
Предоставление субсидий на выплату заработной платы частным лицам и туристическим организациям в качестве меры по борьбе с последствиями пандемии.	Предоставляется беспроцентный кредит на выплату заработной платы со ставкой 0 % в течение первых шести месяцев и 4 % в течение следующих шести месяцев. Также снижаются страховые взносы. Кроме того, для целей налогообложения при определении сроков в соответствии с налоговым законодательством учитываются не только выходные и праздничные дни, но и нерабочие дни, установленные Президентом Российской Федерации.

Примечание: составлено авторами

Еще одним трендом туризма последних лет становится то, что в дополнение к традиционным туристическим направлениям развивающиеся туристические рынки, такие как Юго-Восточная Азия, Латинская Америка и некоторые страны Африки становятся новым выбором для международных туристов [UNCTAD, 2024]. Эти рынки привлекают большое количество туристов благодаря своей уникальной культуре, природному ландшафту и относительно низким дорожным расходам. Ожидается, что азиатский рынок, в наибольшей степени представленный Китаем, с постепенным восстановлением выездного туризма внесет значительный вклад в рост мирового туризма в ближайшие годы.

Заключение

Активное развитие индустрии туризма осуществляется на макроэкономическом и региональных уровнях. Проблемы, с которыми столкнулась отрасль, послужили причиной внедрения новых продуктов и технологий для удовлетворения измененного потребительского спроса. Важной тенденцией является кооперация государственных органов, частных компаний по регулированию отрасли и решению неотложных задач. В то же время диверсификация форм туризма также придала импульс восстановлению. Особенностью постковидного восстановительного роста стала нарастающая популярность новых форм туризма. К их числу можно отнести экологический туризм, оздоровительный туризм, «устойчивый» туризм и др. Особый интерес в ряду этих новых форм представляет так называемый «трудовой» туризм. Повсеместное распространение такой формы занятости, как удаленная работа, способствовало тому, что для многих людей стало возможным совмещать туризм и трудовую деятельность. Это, в свою очередь, привело к появлению спроса на долгосрочные путешествия, когда, например, люди выезжают в теплые страны на зимний период, совмещая путешествия и работу. Необходимо учитывать совокупность различных факторов и условий, влияющих на трансформационные процессы в отрасли.

Список источников

- Ассоциация Туроператоров. 2024. Туризм в стиле agile. URL: <https://www.atorus.ru/node/50959> (дата обращения: 25.09.2024).
- UNWTO. (2024). International Tourism And Covid-19. URL: <https://www.unwto.org/international-tourismand-covid-19> (дата обращения: 25.09.2024).
- United Nations Conference on Trade and Development. 2024. Global Trade Update. URL: https://unctad.org/system/files/officialdocument/ditcinf2021d2_en.pdf (дата обращения: 25.09.2024).
- World Travel & Tourism Council. 2024. Economic Impact Reports. URL: <https://wtcc.org/Research/Economic-Impact> (дата обращения: 25.09.2024).
- World Tourism Organization. 2024. International tourism to reach pre-pandemic levels in 2024. URL: <https://www.unwto.org/news/internationaltourism-to-reach-pre-pandemic-levels-in-2024> (дата обращения: 25.09.2024).
- Organization for Economic Co-operation and Development. 2024. OECD Tourism Trends and Policies 2024. Tourism trends. Top policy priorities. Key policy messages. URL: https://www.oecd.org/zip/cfe-2020-39-sum_v2-ru.html (дата обращения: 25.09.2024).
- World Travel & Tourism Council. 2024. WTTC research reveals global Travel & Tourism sector suffered a loss of almost US\$4.5 trillion in 2020 due to the impact of COVID-19. URL: <https://wtcc.org/News-Article/Global-TandT-sectorexperienced-a-loss-of-almost-US4-trillion-in-2020> (дата обращения: 25.09.2024).

Список литературы

- Гафарова К.Э. 2024. Пространственная структура мирового туризма. Экономика и бизнес: теория и практика, 4-1(110): 123–127.
- Гуляев Д.А. 2024. Детерминанты развития международного туризма. Национальные экономические системы в контексте трансформации глобального экономического пространства. Сборник научных трудов. Симферополь: 198–201.

- Никулина О.В. 2024. Анализ практики управления новыми видами международного туризма в постпандемийный период. Современные подходы к трансформации концепций государственного регулирования и управления в социально-экономических системах. Сборник научных трудов 13-й Международной научно-практической конференции. Курск: 13–15.
- Овчарова О.В., Малкина М.Ю. 2021. Влияние экономической нестабильности на развитие европейского туристского рынка. Современная Европа, 2(102): 75–88.

References

- Gafarova K.E. 2024. Prostranstvennaya struktura mirovogo turizma [Spatial structure of world tourism]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 4-1(110): 123–127.
- Gulyaev D.A. 2024. Determinanty razvitiya mezhdunarodnogo turizma [Determinants of international tourism development]. *Natsionalnye ekonomicheskie sistemy v kontekste transformatsii globalnogo ekonomicheskogo prostranstva* [National economic systems in the context of the transformation of the global economic space]. *Sbornik nauchnykh trudov*. Simferopol: 198–201.
- Nikulina O.V. 2024. Analiz praktiki upravleniya novymi vidami mezhdunarodnogo turizma v postpandemichny period [Analysis of management practices of new types of international tourism in the post-pandemic period]. *Sovremennye podkhody k transformatsii kontseptsiy gosudarstvennogo regulirovaniya i upravleniya v sotsialno-ekonomicheskikh sistemakh* [Modern approaches to the transformation of concepts of state regulation and management in socio-economic systems]. *Sbornik nauchnykh trudov 13-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kursk: 13–15.
- Ovcharova O.V., Malkina M.Yu. 2021. The impact of economic instability on the development of the European tourism market. *Modern Europe*. 2(102): 75–88 (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 12.12.2024

Поступила после рецензирования 10.02.2025

Принята к публикации 24.02.2025

Received December 12, 2024

Revised February 10, 2025

Accepted February 24, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Оборин Матвей Сергеевич, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономического анализа и статистики, Пермский институт – филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова; профессор кафедры мировой и региональной экономики, экономической теории, Пермский государственный национальный исследовательский университет; профессор кафедры менеджмента, Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

Орлов Станислав Павлович, аспирант кафедры мировой и региональной экономики, экономической теории, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Matvey S. Oborin, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Economic Analysis and Statistics, Perm Institute (branch) "Russian Economic University named after G.V. Plekhanov"; Professor of the Department of World and Regional Economy, Economic Theory, Perm State National Research University; Professor of the Department of Management, Perm State Agrarian and Technological University named after ac. D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia

Stanislav P. Orlov, Postgraduate Student of the Department of World and Regional Economy, Economic Theory, Perm State National Research University, Perm, Russia

УДК 338.984

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-95-109

Институциональные модели промышленной политики: подходы к типологии

Чижова Е.Н., Медведев И.П., Балабанова Г.Г.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

chizhova_elena@mail.ru, i8976@yandex.ru, gulnara.balabanova@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена мерам государственной промышленной политики, которые менялись исторически, концептуально, исходя из доминирующего подхода в экономической теории, складывающихся условий экономического развития в мире и в отдельных регионах, понимания правительствами своей функциональной роли, регулятивных и финансовых возможностей. Исследования методологически опирались на положения макроэкономики, институциональной экономики, экономического инструментарий. Авторы связывают действия правительства с определенным типом промышленной политики, связанным с определенными отраслями промышленности, нуждающимися в государственной поддержке. В качестве критериев разделения промышленной политики на определенные виды авторы выделяют цели, масштабы и инструменты, что позволяет сформировать пять ее возможных форм и связать их с вариантами институциональных проектов, различающихся по содержанию, масштабам и срокам, своей эффективности.

Ключевые слова: промышленная политика, государственное вмешательство, государственный интервенционизм

Для цитирования: Чижова Е.Н., Медведев И.П., Балабанова Г.Г. 2025. Институциональные модели промышленной политики: подходы к типологии. *Экономика. Информатика*, 52(1): 95–109. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-95-109

Institutional Models of Industrial Policy: Approaches to Typology

Elena N. Chizhova, Igor P. Medvedev, Gulnara G. Balabanova

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

46 Kostyukov St, Belgorod 308012, Russia

chizhova_elena@mail.ru, i8976@yandex.ru, gulnara.balabanova@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the measures of state industrial policy that have changed historically, conceptually, based on the dominant approach in economic theory, the emerging conditions of economic development in the world and in individual regions, and the understanding by governments of their functional role, regulatory and financial capabilities. The research was methodologically based on the provisions of macroeconomics, institutional economics, and economic instruments. The authors associate government actions with a certain type of industrial policy connected with certain industries that require state support. As criteria for dividing industrial policy into certain types, the authors highlight goals, scales, and instruments, which allows for the formation of five possible forms and their association with variants of institutional projects that differ in content, scale, timing, and effectiveness.

Keywords: industrial policy, state intervention, state interventionism

For citation: Chizhova E.N., Medvedev I.P., Balabanova G.G. 2025. Institutional Models of Industrial Policy: Approaches to Typology. *Economics. Information technologies*, 52(1): 95–109 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-95-109

Введение

Доля промышленности в создании национального продукта в большинстве высокоразвитых индустриальных стран остается на прежнем уровне либо снижается в пользу сферы услуг, но, несмотря на это, происходящие структурные изменения в данном сегменте остаются триггером в развитии экономики, что заставляет говорить о необходимости проведения промышленной политики.

В экономической литературе промышленная политика западными экономистами рассматривалась как инструмент, деформирующий принципы рыночной экономики, а вмешательство государства в промышленное развитие допускалось исключительно в контексте конкурентной политики, адаптации производственных мощностей как к требованиям международной конкуренции, так и олигополистической модели между предприятиями разных стран [Айкхофф, 2011].

Промышленная политика как форма вмешательства государства в экономику была официально признана в годовом отчете ОЭСР только в 1975 году. Однако вмешательство государства в функционирование промышленности имеет давнюю историю. В высокоиндустриальных странах степень вмешательства в функционирование промышленности, используемые инструменты воздействия, темпы и пути развития разнятся. Так, в США вмешательство связывают с кризисом 1929 года. Япония была и остается на сегодняшний день примерным образцом промышленной политики (сотрудничество Министерства промышленности и торговли с японскими предприятиями). В Германии государственный интервенционизм существует на уровне как федеративного государства, так и отдельных земель. Во Франции развитие промышленности не остается без поддержки государственных органов [Маркова, Плужник, 2015; Розанова, 2006].

Реформы системы регулирования промышленности в высокоразвитых странах привели к снижению прямого участия государства в процессе промышленного производства (приватизации) и степени его вмешательства на многих рынках. В конце 1980-х годов произошли изменения в направленности промышленной политики. Особенно это выразилось в сокращении помощи и защиты отраслей, находившихся в застое, исчезающих и находящихся под угрозой конкуренции со стороны иностранного импорта. В их число входили сталелитейная, судостроительная, текстильная и швейная промышленность. Однако в отношении высокотехнологичных отраслей упор делался на содействие техническому прогрессу [Горячева, 2010].

В ходе дискуссии о роли современного государства в экономике был сделан следующий вывод: действенное регулирование в промышленности должно способствовать, во-первых, снижению прямых производственных затрат, барьеров для развития предпринимательства (например, сокращение количества процедур, необходимых при создании предприятия), устранению деформации ценообразования, приводящей к нерациональному размещению ресурсов, злоупотреблениям доминирующим положением на рынке со стороны ряда производителей; во-вторых, формированию склонности к технологическим нововведениям.

В связи с тем, что промышленная политика принимает разнообразные формы (благотворное влияние на внешнюю и внутреннюю хозяйственную среду предприятий, осуществление действий, адресованных непосредственно группе промышленных предприятий) ее трактуют как скоординированные действия правительства, направленные на формирование условий, предопределяющих реакции экономических субъектов, для достижения целей, которые считаются важными.

Таким образом, цель исследования – рассмотреть, исходя из реалий современной экономической обстановки, варианты государственной промышленной политики, условия и инструменты ее осуществления.

Материалы и методы исследования

Данное исследование опирается на методологическую основу, объединяющую в себе исторический, системный и критериальный подходы. Для достижения поставленных целей были использованы общенаучные методы, материалы из различных источников, в том числе работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные активным мерам государства в области промышленной политики. На основе выработанных критериев произведена типология форм и видов промышленной политики, обоснованы условия их применения.

Результаты и их обсуждение

Промышленная политика означает действия государства по вмешательству, осуществляемые в отношении промышленности и заключающиеся в изменении рыночной структуры размещения ресурсов. Следует подчеркнуть, что масштабы такого рода воздействий, предпринимаемых правительствами, могут сильно различаться. Они могут относиться ко всем ее отраслям, к группам отраслей, к отдельным предприятиям.

Можно выделить три типа действий правительства в области промышленной политики.

Первый тип – активные действия. Это инвестиции в предприятия, предложения достаточно квалифицированной рабочей силы, развитие хозяйственной инфраструктуры, поставка отдельных видов оборудования и комплектующих, реализация программ реструктуризации целых отраслей. Эти действия, называемые активным типом промышленной политики, призваны активизировать структурные изменения в промышленности, инновации, повышение эффективности и уровня международной конкурентоспособности промышленных предприятий.

Второй тип – защитные действия. Их целью является поддержание уровня занятости в приходящих в упадок отраслях, когда пространственная или профессиональная мобильность рабочей силы ограничена, либо речь идет о сохранении тех видов деятельности, которые важны стране, поскольку поддерживают сеть кооперативных связей с другими видами промышленности или обеспечивают экономическую безопасность страны за счет сохранения производственных мощностей, которые могут понадобиться в будущем или являются страховкой от риска нарушения дисциплины поставок из внешних источников [Рыбаков, 2012].

Третий тип – оборонительные действия. Это поддержка распространения технологического прогресса, ограничение монополистического поведения конкурентов и т. д.

Первая проблема, возникающая при планировании активной промышленной политики, касается отбора отраслей, производств, продукции и видов деятельности, заслуживающих особой поддержки или особой защиты. В экономической литературе можно встретить различные критерии отбора отраслей, заслуживающих поддержки со стороны правительств, проводящих активную промышленную политику. Перечень отраслей, нуждающихся в поддержке, приведен на рис. 1.

К наиболее типичным инструментам промышленной политики относятся налоговые льготы, субсидии, кредиты, займы, гарантии, ускоренная амортизация, таможенные пошлины, квоты и стандартизация [Горячева, 2010]. Выбор инструментов промышленной политики должен быть адаптирован к особенностям трех основных типов воздействия при ее осуществлении.

1. Стимулирующий тип воздействия. Наиболее часто используемыми стимулами являются субсидии, прямо или косвенно влияющие на цены. Субсидии могут принимать различные формы, например, налоговые льготы, таможенные льготы, доступ к дешевым кредитам, закупки госорганами по ценам ниже рыночных или же госзакупки по ценам выше рыночных, прямые государственные трансферты. Они могут направляться и продавцу, и покупателю, предоставляться как на реальном рынке, так и на рынке факторов производства, могут быть как универсальными, так и избирательными.

2. Регуляторный тип воздействия. Государственное регулирование предполагает наложение определенных ограничений на субъекты хозяйствования, установление правил поведения и контроль за их соблюдением.

3. Прямой тип воздействия. Третья группа средств воздействия государства на развитие промышленности связана с принятием органами государственной власти роли потребителя и роли собственника. Государственные закупки часто служат не только экономическим, но и социальным и политическим целям. Правительства являются важными потребителями продукции многих отраслей, особенно строительства, фармацевтики и оборонной промышленности. Основной причиной сохранения государственного контроля над промышленными предприятиями обычно является необходимость предотвращения их развала по социальным и экономическим причинам, а также стратегическое значение некоторых предприятий (например, работающих на оборону страны).

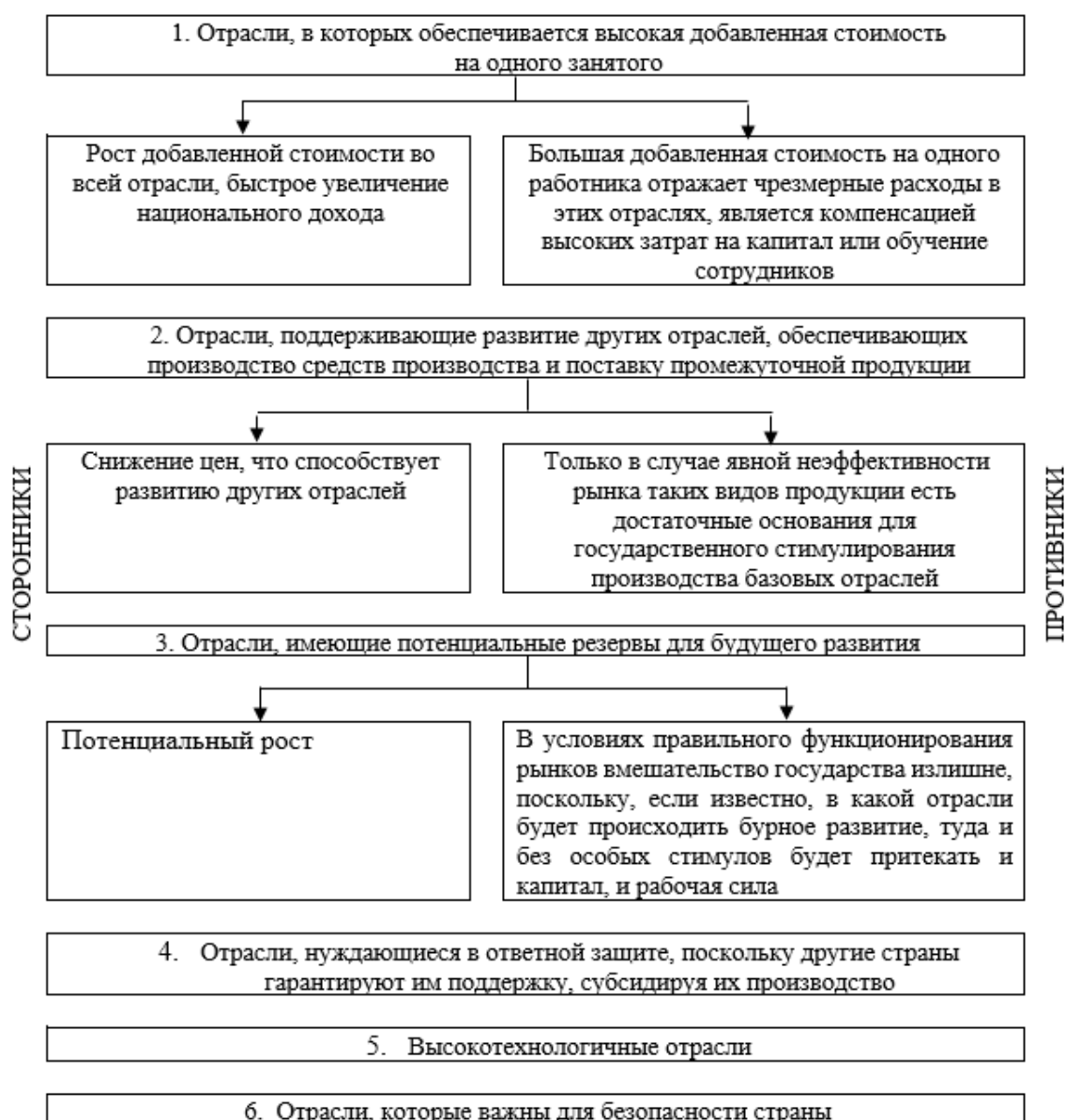


Рис. 1. Отрасли, нуждающиеся в государственной поддержке
(составлено авторами)

Fig. 1. Industries requiring government support (compiled by the authors)

Оценка эффективности инструментов, используемых в промышленной политике, является очень сложной задачей. Опыт многих стран, проводящих эту политику, показывает, что она приносила успехи, но были при этом и неудачи. В ее проведении обычно участвуют различные государственные органы: от центральных, региональных до местных. Все чаще конкретные цели промышленной политики достигаются в результате соглашений между частными предприятиями и государственными органами.

Во второй половине XX века научные дискуссии и действия, предпринимаемые в рамках промышленной политики, существенно изменились (см. таблицу).

Изменения в теории и практике в сфере промышленной политики Changes in theory and practice in the field of industrial policy

Направления	Ключевые идеи	Участники дискуссии
Активный государственный интервенционизм	1) индустриализация необходима для развития; 2) провалы рынка делают невозможной спонтанную индустриализацию; 3) провалы рынка широко распространены в развивающихся странах; 4) необходимы активная промышленная политика в форме защиты развивающихся отраслей, государственная собственность, координация со стороны правительства.	Розенштейн-Родан (1943) Хиршманн (1958) Пребиш (1959) Мюрдаль (1957)
Экономический неолиберализм	1) практические трудности применения промышленной политики как следствие превышения ошибок правительства над ошибками рынка, что приводит к поиску ренты и растрате ресурсов; 2) либерализация торговли, приватизация, привлечение прямых иностранных инвестиций наряду с макроэкономической стабилизацией необходимы для развития.	Болдуин (1969) Крюгер (1974, 1990) Пак (1993, 2000)
Пассивный государственный интервенционизм	1) провалы как рынка, так и государства неотделимы друг от друга; 2) промышленная политика необходима, но важен выбор ее институциональных правил; 3) практика требует, чтобы промышленная политика была гибкой, инновации и технологическая модернизация должны быть главной целью промышленной политики; 4) на первый план выходит продвижение национальных инновационных систем.	Амсен (1989) Нельсон (1993) Родрик (2004) Чанг (2003, 2009) Лалл (2004) Лин (2009) Робинсон (2009) Наде (2010) Пианта (2012)

Источник: Составлено авторами по [Amsden, 1989; Baldwin, 1969; Chang, 2003; Hodler, 2009; Lin, 2009; Nelson, 1993; North, 1990; Pack, 1993; Rodrik, 2009, Warwick, 2013].

Source: Compiled by the authors from [Amsden, 1989; Baldwin, 1969; Chang, 2003; Hodler, 2009; Lin, 2009; Nelson, 1993; North, 1990; Pack, 1993; Rodrik, 2009, Warwick, 2013].

Научный дискурс активизировался после окончания Второй мировой войны с восстановлением экономики Японии и Европы, которое сопровождалось независимостью многих колоний в Африке, Азии и Латинской Америке. В то время в центре внимания были такие проблемы, как несовершенство рынка в координации решений, эффект масштаба и дефицит совокупного спроса. Правительство многих стран предпринимало активное вмешательство, в частности в форме защиты развивающихся отраслей с помощью

таможенных пошлин и импортных квот, активная роль государственного управления и государственной собственности рассматривалось как необходимость устранения последствий провалов рынка.

Другим научным направлением в области промышленной политики стал экономический неолиберализм, который, однако, не был следствием линейного развития либерализма. Первое получило новое качество в ответ на вызовы третьей фазы глобализации. В результате возможность и необходимость промышленной политики были отвергнуты из-за появления серьезных ошибок правительства и опасности распространения повсеместно коррупции и погони за рентой. Государственное вмешательство (согласно Вашингтонскому консенсусу) должно было быть направлено на узкий круг рыночных сбоев (в том числе в области образования и инфраструктуры), денационализацию государственных предприятий, существенное снижение ограничений на импорт. В странах, следующих этим рекомендациям, промышленная политика становилась все менее избирательной и дискриминационной, проявляясь на практике (например, в Латинской Америке) в виде политики развития конкуренции или стратегии повышения производительности.

Неолиберальные идеи отчетливо доминировали в литературе по вопросам причин финансового кризиса, поразившего страны Восточной Азии в 1997–1998 гг. Например, существовало широко распространенное мнение, что существенный вклад в усиление кризисных явлений внесла проводившаяся прежде промышленная политика, в рамках которой льготные кредиты предоставлялись неэффективным предприятиям или даже целым отраслям. Возникло убеждение, что все разновидности селективной промышленной политики не только экономически вредны, но и не нужны.

Первым сигналом к отходу от этой парадигмы стал провал рекомендаций по реструктуризации, выдвинутых Вашингтонским консенсусом в отношении отдельных стран Африки. Вторым сигналом к отказу от убеждения во вреде промышленной политики стала глобальная турбулентность, принявшая форму рецессии после финансового кризиса 2007–2008 годов. С одной стороны, она привела к необходимости реализации селективной помощи со стороны некоторых правительств промышленному сектору, а с другой – заставила констатировать, что провалы рынка снова дали о себе знать. В результате была принята директива о повышении роли государства по активизации нефинансовых секторов, в том числе промышленности. В ЕС формальным выражением этого явилась Стратегия «Европа 2020», целью которой было вывести европейскую экономику на путь быстрого, но устойчивого роста. Новая промышленная политика была направлена на создание инноваций и развитие международной конкурентоспособности в условиях постепенной ликвидации устаревших производственных мощностей [Говорова, 2019; Циренчиков, 2020; Сидорова, 2024].

Современный дискурс фокусируется не столько на развенчании сомнений в необходимости промышленной политики, сколько на ответе на вопрос об институциональной ее форме. Прежние противники теперь обращают внимание на ее полезность в форме пассивного государственного интервенционизма: горизонтальная политика перспективна, поскольку она меньше вмешивается в распределение ресурсов, благодаря чему можно избежать ценовых деформаций. Промышленная политика приемлема, если она базируется на «малом бюджете», не поддерживает непроизводительные предприятия, даже имеющие большое значение для экономики страны.

Таким образом, проблема исследования сводится к разработке и выбору альтернативных институциональных решений-правил промышленной политики, которые способны обеспечить реализацию поставленных целей (например, реструктуризация промышленности). Речь идет о создании формальных институтов, которые на практике сталкиваются со многими факторами, в том числе с неформальными институтами, основанными на обычаях, интересах и системе ценностей менеджеров компаний, подверженных влиянию формальных институтов. Диссонанс, который может возникнуть между этими двумя типами институтов, ослабляет эффективность промышленной политики.

Существуют различные подходы к определению промышленной политики, в основе выделения которых могут быть следующие критерии:

- масштабы влияния промышленной политики на экономическое развитие;
- цели этой политики;
- инструменты достижения целей или инструменты промышленной политики, позволяющие государству прямо (административное вмешательство) или косвенно (изменение порядка финансирования) вмешиваться в отраслевую структуру производства на микроуровне (номенклатура и ассортимент товарных групп продукции), мезоуровне (подотрасли и отрасли) и макроуровне (межотраслевые комплексы).

Определение промышленной политики с точки зрения ее целей позволяет выделить пять возможных форм.

1. Комплексная промышленная политика, заключающаяся в изменении (увеличении или уменьшении) степени государственного контроля над рыночным размещением (перераспределением) ресурсов и структурными изменениями в промышленности. Речь идет об усилении или ослаблении регулирования со стороны правительства, причем само регулирование предполагает разработку определенной институциональной структуры, предназначенной для обеспечения государственного надзора и контроля над предприятиями в определенных отраслях. Из этого следует, что даже в случае институционально развитой экономики какой-либо страны мы можем иметь дело с вмешательством государства в процесс нормотворчества в сфере промышленности. Иными словами, проводя системную политику, государство проектирует и выбирает институциональную форму промышленной политики.

2. Промышленная политика сводится к макроэкономическим воздействиям органов государственной администрации, задачей деятельности которых является поддержка саморегулируемых структурных преобразований предприятиями в промышленности на микроуровне. При таком подходе предполагается, что при наличии подходящей макроэкономической среды государству нет необходимости проводить активную нефинансовую политику, оно сознательно отказывается от установления какого-либо перечня целей, относящихся к реальной сфере производства.

3. Неселективная (межсекторальная или горизонтальная) промышленная политика, фокусирующаяся на таких областях, как научные исследования и разработки, образование, профессиональное обучение и информационное обеспечение долгосрочного планирования деятельности для промышленных компаний, экоразвитие или экономическая инфраструктура. Такая форма промышленной политики включает цели развития материальной сферы производства, при которых она лишена избирательного подхода, ни один промышленный сектор не имеет специальных привилегий, а роль государства заключается в корректировке или (редко) замене рынка.

4. Политика ранжирования целей. На практике, когда макроэкономические воздействия недостаточны для обеспечения структурных изменений, тогда оправдано проведение нерыночных интервенций в конкретных отраслях. В рамках понимаемой таким образом промышленной политики правительство определяет существенные приоритеты, а сама политика принимает форму ранжированного перечня целей и активного вмешательства в распределение ресурсов. В этом случае можно говорить об отраслевой (секторальной) или вертикальной политике [Луцкая, 2016].

5. Селективная политика. Осуществляется в отношении промышленных групп или даже конкретных компаний. Вышеуказанная четвертая форма политики носила предметный характер, а эта – субъектный. Следует подчеркнуть, что и в четвертом, и в пятом вариантах перечень целей промышленной политики вытекает из установленных государством приоритетов, исходя из национальных интересов.

Структурные преобразования являются результатом стабилизации макроэкономической среды, которая запускает позитивные процессы корректировки и адаптации на горизонтальном уровне. В такой ситуации сложно утверждать, что у государства есть осознанные конкретные

ожидания относительно совокупной структуры производства. Иная ситуация, когда правительство формулирует четкие намерения относительно материальной структуры производства на краткосрочную или долгосрочную перспективу (варианты третий, четвертый и пятый). Основная цель такой политики – стремление к формированию всех или отдельных структур производства. Интерес правительства сосредоточен на функционировании промышленности с точки зрения ее материальной структуры производства, а не на формировании ресурсов и движении финансовых потоков.

Подведем итог: хотя во всех упомянутых вариантах определения промышленной политики мы имеем дело с эффектом структурных изменений, только три последних заслуживают названия форм собственно промышленной политики исходя из постановки целей. Применительно к первому и второму вариантам эта мысль может быть выражена еще более четко – даже осознанное решение государства отказаться от вмешательства не может быть отождествлено с принятием какой-либо цели (наряду с инструментами ее реализации) в материальной сфере; целью не может быть ее отсутствие.

Еще одним аспектом определения промышленной политики являются инструменты, используемые для достижения целей, сформулированных лицами, принимающими решения. Принимая меры в рамках осуществления этой политики, правительство должно выбрать эти инструменты. В общих чертах можно выделить две группы инструментов влияния государства на сферу промышленности. Это инструменты прямого вмешательства и косвенного воздействия.

Способы и последствия применения обоих типов инструментов на практике различны, хотя в подавляющем большинстве случаев мы все равно имеем дело с деформацией рыночного механизма распределения ресурсов.

Инструменты прямого вмешательства характеризуются тем, что государство эпизодически и авторитарно вмешивается в процесс распределения ресурсов. Классический пример – государственные закупки, осуществляемые (реже) на открытом рынке или (чаще) в результате ограниченного тендера между уже зарекомендовавшими себя компаниями. Разовый характер решения правительства о закупке означает, что общественный спрос на данный товар четко ограничен во времени и не возобновляется циклически, поэтому нет возможности продления контрактов. Однако авторитарный характер государственных закупок обусловлен преимущественным положением органов государственной власти в сравнении с любым субъектом рынка. Еще более выражено он проявляется в случае, например, запрета на производство конкретной продукции вследствие возникновения неблагоприятных внешних эффектов.

Инструменты косвенного воздействия отличаются от предыдущих тем, что принимают форму устойчивых правил финансирования отдельных отраслей или групп производителей. Авторитарная роль государства ограничивается установлением этих правил. К таким инструментам относятся различные виды субсидий, оказывающих деформирующее воздействие на рыночные цены. Поэтому, несмотря на то, что это лишь косвенное финансовое влияние государственных административных органов на положение в отрасли, мы имеем дело с явным вмешательством в распределение ресурсов посредством влияния на процедуру экономического расчета и выбор производителя [Горячева, 2010].

Возвращаясь к упомянутым в вышеприведенном анализе критериям выделения промышленной политики, их в основном можно свести к следующим трем параметрам, представленным на рис. 2.

Сформулированные критерии представляют собой лишь разные точки зрения на промышленную политику и в действительности они между собой взаимосвязаны, из них можно сформировать комбинации, которые позволяют выделять различные варианты институциональных проектов, называемые правилами промышленной политики [Тамбовцева, 2014].



Рис. 2. Критерии выделения промышленной политики (составлено авторами)
Fig.2. Criteria for identifying industrial policy (compiled by the authors)

Вариант первый (носит стратегический характер): выборочные административные решения с использованием инструментов прямого вмешательства, программная политика (ex ante). В данном случае мы имеем дело с долгосрочными решениями, определяющими, прежде всего, распределение инвестиционных ресурсов развития. Для нужд правительства необходимо разработать долгосрочное видение и определить основные проблемы, требующие стратегического структурного выбора. Иными словами, суть долгосрочной промышленной политики видится в активном предвидении будущих вызовов, которые также могут возникать во внешней среде. Администрация формулирует выборочные приоритеты (вертикальные решения) субъективного, объективного и регионального характера, а также в зависимости от направлений локализации производства (страна-зарубежье). Для их реализации в основном используются инструменты, которые непосредственно влияют на структурные изменения (например, целевые государственные закупки, концессии и разрешения), поскольку, в принципе, они лучше всего служат реализации видения структурных изменений. Поэтому этот вариант является политикой программирования.

Вариант второй (скорее среднесрочный по своему характеру): выборочные решения, предназначенные только для конкретных областей, в основном косвенные инструменты, доминирует корректирующая политика (ex post). В рассматриваемом случае, хотя правительство и не разрабатывает структурную стратегию, оно оставляет за собой право периодически определять приоритеты для избранных, немногих сфер промышленности (например, горнодобывающей или оборонной промышленности). Среднесрочный характер промышленной политики обусловлен тем, что разработанная экспертами программа необходимой реструктуризации отдельных направлений не выходит за рамки этого периода. При реализации этого варианта наиболее эффективными окажутся инструменты прямого государственного вмешательства, однако по отношению ко всем остальным сферам производства более перспективными являются косвенные инструменты (например, субсидии компаниям, инвестирующим в научные исследования и разработки). Таким образом, в основном это политика, которая корректирует рыночные процессы.

Вариант третий (носит краткосрочный характер): неизбирательные решения, косвенные инструменты, корректирующая политика (*expost*). В этом случае промышленная политика не носит ярко выраженный адресный характер, а это означает, что фактически инвестиционная помощь или экспортные льготы могут быть получены конкретным субъектом независимо от его профиля производства. Это является следствием отсутствия разработки стратегии (видения) структурных изменений в экономике, а промышленная политика представляет собой случайный, единовременный ответ на постоянно возникающие новые вызовы развития. Однако неизбирательный (горизонтальный) способ формулирования решений правительством не распространяется на особо важные для экономики сферы (например, оборонную или космическую промышленность), в которых используются инструменты прямого административного вмешательства. Другими словами, по отношению к этим отраслям степень регулирования гораздо выше, чем в других сферах промышленности, в которых промышленная политика играет второстепенную роль по отношению к рынку, который предоставляет компаниям информацию о ценах, необходимую для принятия решений о распределении ресурсов.

Оценка потенциальной эффективности правил промышленной политики, их способности обеспечить достижение поставленных целей, таких как структурные изменения, повышение конкурентоспособности и инноваций, различна для разных вариантов. Это зависит не только от возможных взаимодействий формальных и неформальных институтов, но и от того, каким образом происходят системные институциональные изменения, включая правила промышленной политики.

Вариант первый кажется наиболее перспективным. Экономика готовится к качественному скачку в сфере модернизации и социально-экономического развития. Но на разработчиках новых правил игры лежит бремя осуществления политики программирования, которая реализуется преимущественно с помощью прямых инструментов. Им же присуща собственная система ценностей, интересов, обычаев, образ мышления и т. д., т. е. те факторы, которые составляют основу неформальных институтов. Эти факторы могут и не соответствовать новому институциональному проекту, увеличивая транзакционные издержки его реализации (например, разработчики могут избегать смелых и рискованных решений, чтобы сохранить свою занятость и доход). Что еще хуже, если среди менеджеров компаний, на которые адресно направлена промышленная политика, доминируют оппортунистические или консервативные установки, то вариант первый будет отражать теорию обмена Солсбери: группы интересов будут формироваться под влиянием деятельности как менеджеров, так и государственных органов. Их цель – поиск общих выгод. В описываемом случае упомянутый скачок в виде революционного институционального изменения маловероятен.

Институциональный проект, определенный как вариант второй, особо заслуживает внимания, если речь идет о проведении умеренно-эволюционной реструктуризации отечественной промышленности под влиянием относительно постоянных изменений на мировых рынках (примером может служить последовательное сокращение производства отраслей, являющихся источником избыточного выброса углекислого газа, других отходов, загрязняющих окружающую среду). Однако, поскольку промышленная политика в первую очередь предназначена для корректировки рыночных изменений, условием ее эффективности является наличие определенной институциональной основы. В обсуждаемом контексте речь идет не столько о разработчиках формальных правил, сколько о руководителях компаний, которые руководствуются принципами инновационности, конкурентоспособности и стремления к успеху, сопровождаемыми открытостью и напористостью.

Короче говоря, речь идет об ориентации на рынок как основной источник экономической информации и вознаграждении за риск.

Вариант третий требует, чтобы экономика была институционально зрелой даже в большей степени, чем предыдущий. Если промышленная политика осуществляется на микроуровне и носит почти исключительно горизонтальный характер, то ее цели могут быть

достигнуты под влиянием адаптационной корректировки рынка снизу, которая возможна только в условиях развитого рыночного механизма. Более того, способ реализации формальных правил также имеет большое значение для эффективности промышленной политики. Если институциональные изменения носят революционный характер и люди воспринимают их как противоречащие их интересам (в том числе вопрос потери работы, приобретения новой квалификации), весьма вероятно, что возникнут социальные явления, увеличивающие трансакционные издержки изменений.

Во-первых, при отсутствии продуманной избирательной политики промышленные конфликты, возникающие стохастически и разрешаемые государством спорадически, могут представлять угрозу хаоса в сфере структурных преобразований. Более того, в некоторых случаях они даже способствуют «окаменению» традиционной структуры отрасли, когда правительство уступает давлению со стороны групп интересов, имеющих политическое значение (например, добыча каменного угля).

Во-вторых, в ситуации явного ослабления легитимности власти правительство может быть неспособно принимать решительные действия, направленные на постепенную (и финансово устойчивую) ликвидацию неразвитых и неэффективных отраслей или производств.

В-третьих, отсутствие централизованных административных решений относительно наиболее очевидных и оправданных структурных изменений (что соответствует конструкции формальных институтов) можно интерпретировать как пассивный дрейф, то есть отрицание необходимости революционных изменений. Можно также предположить, что с течением времени вера в автоматическую реструктуризацию рынка среди части властных элит рассеется под давлением постоянно «подталкиваемых вверх» конфликтов, зачастую дестабилизирующих политическую жизнь в стране.

Заключение

За длительный период времени практика промышленной политики и сопровождающий ее научный дискурс существенно изменились. Первоначально промышленная политика рассматривалась как элемент активного государственного интервенционизма, основанного на государственной собственности и координации со стороны правительства.

Сбои рынка, особенно широко наблюдавшиеся в развивающихся странах, препятствовали негосударственной индустриализации и развитию. 1980-е годы ознаменовались победой неолиберализма, и, как следствие, возможность и необходимость осуществления промышленной политики были отвергнуты из-за серьезных ошибок правительства, а также опасений усиления коррупции и поиска ренты.

Важным сигналом к отказу от убеждения о вреде промышленной политики стали глобальные потрясения, принявшие форму рецессии после финансового кризиса. Однако современный дискурс направлен не столько на развеивание сомнений в необходимости промышленной политики, сколько на ответ на вопрос об институциональной форме этой политики. Вообще говоря, такой дискурс идет в рамках концепции пассивного государственного интервенционизма.

Оценка гипотетической эффективности правил промышленной политики, их способности обеспечивать достижение поставленных целей, сделанная в статье, меняется в зависимости от проектируемых институциональных вариантов.

При прочих равных условиях было сделано предположение, что определяющими факторами этой эффективности являются: а) возможное взаимодействие между формальными и неформальными институтами; б) способ изменения формальных правил промышленной политики.

В каждом из представленных вариантов промышленной политики указанные детерминанты различны, и, хотя ранжировать эти варианты по эффективности достаточно сложно, но наибольшие сомнения и опасения вызывает вариант третий. Его осуществление предъявляет жесткие требования к уровню и качеству институционализации экономики.

Список литературы

- Айкхофф Н. 2011. Политика поддержки конкуренции или «Новая» промышленная политика. *Известия СПбГЭУ*, 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/politika-podderzhki-konkurentsii-ili-povaaya-promyshlennaya-politika-1> (дата обращения: 22.02.2024).
- Афанасьев А.А. 2021. Сущность и структура механизма реализации промышленной политики. *Финансовые рынки и банки*, 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-struktura-mehanizma-realizatsii-promyshlennoy-politiki> (дата обращения: 22.02.2024).
- Говорова Н.В. 2019. Промышленная политика в ЕС. *Научно-аналитический вестник Института Европы РАН*, 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-v-es> (дата обращения: 22.02.2024).
- Горячева Т.В. 2010. Инструменты реализации промышленной политики. *Вестник СГТУ*, 1 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-realizatsii-promyshlennoy-politiki> (дата обращения: 22.02.2024).
- Горячева Т.В. 2011. Субъекты промышленной политики государства. *Вестник ПГУ. Серия: Экономика*, 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/subekty-promyshlennoy-politiki-gosudarstva> (дата обращения: 22.02.2024).
- Григорьев К.Н. 2016. Инструменты промышленной политики. *Экономика и социум*, 8 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-promyshlennoy-politiki> (дата обращения: 22.02.2024).
- Гринберг Р.С. 2014. Реиндустриализация и промышленная политика. *Научные труды Вольного экономического общества России*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reindustrializatsiyai-promyshlennaya-politika> (дата обращения: 22.02.2024).
- Кушбоков А.А. 2015. Модели промышленной политики. *Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд*, 37-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-promyshlennoy-politiki-1> (дата обращения: 22.02.2024).
- Луцкая Е.Е. 2016. Ландесман М. Роль промышленной политики в европейской экономике. Landesmann M. industrial policy: its role in the European economy // *Intereconomics*. - 2015. - May/June. P. 133–138. Mode of access: <http://www.intereconomics.eu/archive/year/2015/3/which-industrial-policy-does-europe-need/>. *Социальные и гуманитарные науки: Отечественная и зарубежная литература. Сер. 2, Экономика: Реферативный журнал*, 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/2016-01-013-landesman-m-rol-promyshlennoy-politiki-v-evropeyskoy-ekonomike-landesmann-m-industrial-policy-its-role-in-the-european-economy> (дата обращения: 22.02.2024).
- Маркова В.Д., Плужник М.В. 2015. Индустриализация и промышленная политика. *Вестник ТГЭУ*, 4 (76). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industrializatsiya-i-promyshlennaya-politika> (дата обращения: 22.02.2024).
- Розанова Н.М. 2006. Политика поддержки конкуренции и промышленная политика в зарубежных странах. *Пространство экономики*, 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/politika-podderzhki-konkurentsii-i-promyshlennaya-politika-v-zarubezhnyh-stranah> (дата обращения: 22.02.2024).
- Рыбаков Ф.Ф. 2012. Промышленная политика и экономическая безопасность. *Инновации*, 7 (165). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-i-ekonomicheskaya-bezopasnost> (дата обращения: 22.02.2024).
- Сидорова Е.А. 2018. Промышленная политика и её финансирование в ЕС. *Научно-аналитический вестник Института Европы РАН*, 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-i-eyo-finansirovanie-v-es> (дата обращения: 22.02.2024).
- Тамбовцев В.Л. 2017. Промышленная политика: к новому пониманию. *Journal of new economy*, 5 (73). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-k-novomu-ponimaniyu> (дата обращения: 22.02.2024).
- Циренщиков В.С. 2020. Очередная версия промышленной политики ЕС. *Современная Европа*, 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ocherednaya-versiya-promyshlennoy-politiki-es> (дата обращения: 22.02.2024).
- Шестакова К.В. 2018. Концептуальные подходы к исследованию промышленной политики в контексте обеспечения промышленного и экономического развития страны. *Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление*, 2 (214). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-podhody-k-issledovaniyu-promyshlennoy-politiki-v-kontekste-obespecheniya-promyshlennogo-i-ekonomicheskogo-razvitiya> (дата обращения: 22.02.2024).

- Amsden A. 1989. *Asia's Next Giant: South Korea's Late Industrialization*. New York, Oxford University Press, 379 p.
- Baldwin R.E. 1969. The Case against Infant Industry Protection. *Journal of Political Economy*, Vol. 77, 3: 295–305.
- Chang H.-J. 2003. Kicking Away the Ladder: Infant Industry Promotion in Historical Perspective. *Journal of Oxford Development Studies*, Vol 31, 1: 21–35.
- Chavance B. 2008. Formal and Informal Institutional Change: The Experience of Postsocialist Transformation. *The European Journal of Comparative Economics*, Vol. 5, 1: 57–71.
- Hodler R. 2009. Industrial Policy in an Imperfect World. *Journal of Development Economics*, Vol. 90, 1: 85–93.
- Lin J. 2009. Should Industrial Policy in Developing Countries Conform to Comparative Advantage or Defy it? A Debate between Justin Lin and Ha-Joon Chang. *Journal of Development Policy Review*, Vol. 27, 5: 483–502.
- Nelson R.R. 1993. *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*. New York, Oxford University Press, 541 p.
- North D.C. 1990. *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge ; New York, Cambridge University Press, 152 p.
- Pack H. 1993. Productivity and Industrial Development in sub-Saharan Africa. *Journal of World Development*, Vol. 21 (1): 1–16.
- Pack H. 2000. Industrial Policy: Growth Elixir or Poison? *Journal of World Bank Research Observer*, Vol. 15, 1: 47–67.
- Pack H., Saggi K. 2006. The Case for Industrial Policy: a Critical Survey. *Journal of World Bank Working Paper Series*, Vol. 21, 2: 267–297.
- Rodrik D. 2004. Industrial Policy for the Twenty-First Century. URL: https://www.academia.edu/82969648/Industrial_Policy_for_the_Twenty_First_Century (data of access: 11.09.2024).
- Rodrik D. 2009. Industrial Policy: Don't Ask Why, Ask How. *Middle East Development Journal*, Vol.1, 1: 1–29.
- Warwick K. 2013. Beyond Industrial Policy: Emerging Issues and New Trends. OECD Science, Technology, and Industry Policy Papers, Vol. 2. URL: https://www.enterprise-development.org/wp-content/uploads/Beyond_Industrial_Policy.pdf (data of access: 11.09.2024).

References

- Eickhoff N. 2011. Competition Support Policy or the «New» Industrial Policy. *Izvestiya SPbGEU*, Vol. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/politika-podderzhki-konkurentsii-ili-novaya-promyshlennaya-politika-1> (accessed: 22.02.2024) (in Russian)
- Afanasyev A.A. 2021. The Essence and Structure of the Mechanism for Implementing Industrial Policy. *Financial Markets and Banks*, Vol. 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-struktura-mehanizma-realizatsii-promyshlennoy-politiki> (accessed: 22.02.2024) (in Russian).
- Govorova N.V. 2019. Industrial Policy in the EU. *Scientific and Analytical Bulletin of the Institute of Europe of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-v-es> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Goryacheva T.V. 2010. Instruments for the implementation of industrial policy. *Bulletin of SSTU*, Vol. 1, 44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-realizatsii-promyshlennoy-politiki> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Goryacheva T.V. 2011. Subjects of the state industrial policy. *Bulletin of PSU. Series: Economy*, Vol. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/subekty-promyshlennoy-politiki-gosudarstva> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Grigoriev K.N. 2016. Industrial Policy Instruments. *Economy and Society*, Vol. 8, 27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-promyshlennoy-politiki> (accessed: 22.02.2024) (in Russian).
- Grinberg R.S. 2014. Reindustrialization and Industrial Policy. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reindustrializatsiyai-promyshlennaya-politika> (accessed: 22.02.2024) (in Russian).

- Kushbokov A.A. 2015. Industrial Policy Models. *Modern Trends in Economics and Management: A New Look*, Vol. 37, 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-promyshlennoy-politiki-1> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Lutskaya E.E. 2016. Landesmann M. The role of industrial policy in the European economy. Landesmann M. Industrial policy: its role in the European economy // *Intereconomics*. - 2015. - May / June. - P. 133–138. - Mode of access: <http://www.intereconomics.eu/archive/year/2015/3/which-industrial-policy-does-europe-need/>. *Social Sciences and Humanities: Domestic and Foreign Literature. Series 2, Economics: Abstract Journal*, 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/2016-01-013-landesmann-m-rol-promyshlennoy-politiki-v-evropeyskoy-ekonomike-landesmann-m-industrial-policy-its-role-in-the-european-economy> (date of access: 22.02.2024).
- Markova V.D., Pluzhnik M. V. 2015. Industrialization and industrial policy. *Bulletin of TSUE*, Vol. 4, 76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/industrializatsiya-i-promyshlennaya-politika> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Rozanova N.M. 2006. Competition Support Policy and Industrial Policy in Foreign Countries. *Economic Space*, Vol. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/politika-podderzhki-konkurentsii-i-promyshlennaya-politika-v-zarubezhnyh-stranah> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Rybakov F.F. 2012. Industrial Policy and Economic Security. *Innovations*, Vol. 7, 165. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-i-ekonomicheskaya-bezopasnost> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Sidorova E.A. 2018. Industrial Policy and Its Financing in the EU. *Scientific and Analytical Bulletin of the Institute of Europe of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennaya-politika-i-eyo-finansirovanie-v-es> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Tambovtsev V.L. 2017. Industrial Policy: Towards a New Understanding. *Journal of new economy*, Vol. 5, 73. URL: <https://cyberleninka.ru/> (date of access: 22.02.2024).
- Tsirenschikov V.S. 2020. The Next Version of the EU Industrial Policy. *Modern Europe*, Vol. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ocherednaya-versiya-promyshlennoy-politiki-es> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Shestakova K.V. 2018. Conceptual Approaches to the Study of Industrial Policy in the Context of Ensuring Industrial and Economic Development of the Country. *Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management*, 2 (214). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-podhody-k-issledovaniyu-promyshlennoy-politiki-v-kontekste-obespecheniya-promyshlennogo-i-ekonomicheskogo-razvitiya> (date of access: 22.02.2024) (in Russian).
- Amsden A. 1989. *Asia's Next Giant: South Korea's Late Industrialization*. New York, Oxford University Press, 379 p.
- Baldwin R.E. 1969. The Case against Infant Industry Protection. *Journal of Political Economy*, Vol. 77, 3: 295–305.
- Chang H.-J. 2003. Kicking Away the Ladder: Infant Industry Promotion in Historical Perspective. *Journal of Oxford Development Studies*, Vol 31, 1: 21–35.
- Chavance B. 2008. Formal and Informal Institutional Change: The Experience of Postsocialist Transformation. *The European Journal of Comparative Economics*, Vol. 5, 1: 57–71.
- Hodler R. 2009. Industrial Policy in an Imperfect World. *Journal of Development Economics*, Vol. 90, 1: 85–93.
- Lin J. 2009. Should Industrial Policy in Developing Countries Conform to Comparative Advantage or Defy it? A Debate between Justin Lin and Ha-Joon Chang. *Journal of Development Policy Review*, Vol. 27, 5: 483–502.
- Nelson R.R. 1993. *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*. New York, Oxford University Press, 541 p.
- North D.C. 1990. *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge ; New York, Cambridge University Press, 152 p.
- Pack H. 1993. Productivity and Industrial Development in sub-Saharan Africa. *Journal of World Development*, Vol. 21 (1): 1–16.
- Pack H. 2000. Industrial Policy: Growth Elixir or Poison? *Journal of World Bank Research Observer*, Vol. 15, 1: 47–67.
- Pack H., Saggi K. 2006. The Case for Industrial Policy: a Critical Survey. *Journal of World Bank Working Paper Series*, Vol. 21, 2: 267–297.

- Rodrik D. 2004. Industrial Policy for the Twenty-First Century. URL: https://www.academia.edu/82969648/Industrial_Policy_for_the_Twenty_First_Century (data access: 11.09.2024).
- Rodrik D. 2009. Industrial Policy: Don't Ask Why, Ask How. *Middle East Development Journal*, Vol.1, 1: 1–29.
- Warwick K. 2013. Beyond Industrial Policy: Emerging Issues and New Trends. OECD Science, Technology, and Industry Policy Papers, Vol. 2. URL: https://www.enterprise-development.org/wp-content/uploads/Beyond_Industrial_Policy.pdf (data access: 11.09.2024).

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 24.12.2024

Поступила после рецензирования 24.01.2025

Принята к публикации 30.01.2025

Received December 24, 2024

Revised January 24, 2025

Accepted January 30, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чижова Елена Николаевна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой теории и методологии науки, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Медведев Игорь Петрович, кандидат экономических наук, доцент кафедры теории и методологии науки, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Балабанова Гульнара Гусейновна, кандидат экономических наук, доцент кафедры теории и методологии науки, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena N. Chizhova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Theory and Methodology of Science, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Igor P. Medvedev, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methodology of Science, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

Gulnara G. Balabanova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methodology of Science, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 336.7:004.8

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-110-124

Сравнительный анализ и возможности ИИ-технологий для предотвращения мошенничества в финансовом секторе

Бабанская А.С. , Ермольева Д.Р. , Ефименко Н.А. , Акулова С.А.

Финансовый университет при Правительстве РФ, Факультет экономики и бизнеса,

Кафедра экономической безопасности и управления рисками

Россия, 125993, г. Москва, Ленинградский проспект, 49

banasti@mail.ru, ermolyeva@gmail.com, nefima19@mail.ru, sophia0105@mail.ru

Аннотация. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) охватывают ключевые области обеспечения безопасности в финансовом секторе, включая противодействие отмыванию денег и мошенничеству, сбор данных о безопасности, мониторинг и предотвращение киберугроз. Несмотря на большое количество публикаций, практически отсутствуют исследования по внедрению и использованию ИИ, сравнению отдельных субтехнологий ИИ, что затрудняет оценку их эффективности, скорости и точности распознавания мошеннических схем, что обосновывает актуальность исследования. Цель – оценить возможности применения различных ИИ-технологий для выявления подозрительной активности и аномалий и провести сравнительный анализ их эффективности при противодействии мошенничеству в финансовом секторе. Методы: общенаучные методы теоретического познания – проведения аналогий, индукции и дедукции, сравнительный анализ, монографический анализ, кейс-стади. Особое внимание было уделено опыту финансового сектора США. В качестве эмпирической базы использовались статистические данные из исследований Центра Исследований и Разработок Аль-Кинди. В статье определены возможности ИИ-технологий: 1) на различных этапах предотвращения мошенничества согласно модели СИМА; 2) для различных типов финансового мошенничества. Согласно результатам исследования, показатели эффективности различных моделей колеблются в диапазоне 88–94 %, что говорит об их хорошей адаптивности к различным сценариям обнаружения мошенничества. Наибольшую полноту раскрытия демонстрируют субтехнологии машинного обучения (дерево решений) и модели глубокого изучения (нейронные сети и сверточные нейронные сети). Положительное влияние ИИ-технологий на процедуру выявления мошенничества заключается в повышении точности обнаружения мошенничества на 85 %, росте скорости выявления новых схем мошенничества на 78 %, росте обнаружения мошенничества на 70 %, снижении ложных срабатываний на 92 %. Предложены решения по развитию ИИ в целях предотвращения мошенничества в финансовом секторе, которые включают подготовку данных на этапе сбора, обоснованный выбор ИИ-моделей, проверку возможностей интеграции ИИ-моделей, сотрудничество с ИТ-компаниями.

Ключевые слова: искусственный интеллект, модели ИИ, финансовые данные, мошенничество, выявление аномалий, подозрительная активность

Для цитирования: Бабанская А.С., Ермольева Д.Р., Ефименко Н.А., Акулова С.А. 2025. Сравнительный анализ и возможности ИИ-технологий для предотвращения мошенничества в финансовом секторе. *Экономика. Информатика*, 52(1): 110–124. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-110-124

Benchmarking and Opportunities of AI Technologies for Fraud Prevention in the Financial Sector

Anastasia S. Babanskaya , Daria R. Ermoleva , Nadezhda A. Efimenko ,
Sofia A. Akulova 

Financial University under the Government of the Russian Federation, Faculty of Economics and
Business, Department of Economic Security and Risk Management
49 Leningradsky Ave, Moscow 125993, Russia
banasti@mail.ru, ermolyeva@gmail.com, nefima19@mail.ru, sophia0105@mail.ru

Abstract Artificial intelligence (AI) technologies cover key areas of financial sector security, including combating money laundering and fraud, collecting security data, monitoring and preventing cyber threats. The relevance of this study is explained by a lack of research on the implementation and use of AI and comparing individual AI subtechnologies, which makes it difficult to assess their effectiveness, speed and accuracy of recognizing fraudulent schemes. The goal of our research was to assess the possibilities of using various AI technologies to identify suspicious activity and anomalies and to conduct a comparative analysis of their effectiveness in combating fraud in the financial sector. The methods employed included general scientific methods of theoretical knowledge – drawing analogies, induction and deduction, comparative analysis, monographic analysis, and case study. We paid special attention to the experience of the US financial sector. As an empirical base, we used statistical data from AI-Kindi Research and Development Center. The article defines the capabilities of AI technologies: 1) at various stages of fraud prevention according to the CIMA model 2) for various types of financial fraud. According to the results of the study, the efficiency of various models ranges from 88 to 94 %, which indicates their good adaptability to various fraud detection scenarios. Machine learning subtechnologies (decision trees) and deep learning models (neural networks and convolutional neural networks) demonstrate the highest completeness of information disclosure. The positive impact of AI technologies on the fraud detection procedure is an increase in the accuracy of fraud detection by 85 %, an increase in the speed of identifying new fraud schemes by 78 %, an increase in fraud detection by 70 %, and a decrease in false positives by 92 %. We offered the following solutions for the development of AI and the prevention of fraud in the financial sector: data preparation at the collection stage, informed selection of AI models, testing the integration capabilities of AI models, and cooperation with IT companies.

Keywords: artificial intelligence, AI models, financial data, fraud, anomaly detection, suspicious activity

For citation: Babanskaya A.S., Ermoleva D.R., Efimenko N.A., Akulova S.A. 2025. Benchmarking and Opportunities of AI Technologies for Fraud Prevention in the Financial Sector. *Economics. Information technologies*, 52(1): 110–124 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-110-124

Введение

В условиях цифровой экономики технологии искусственного интеллекта (ИИ) все активнее используются для обеспечения кибербезопасности банковского сектора и затрагивают многие сферы, в том числе борьбу с отмыванием денег и мошенничеством, агрегирование данных безопасности, мониторинг и предотвращение киберугроз.

Многие исследователи затрагивают задачи анализа эффективности использования цифровых технологий в финансовой сфере. Так, в своих совместных исследованиях многие ученые [Bello et al., 2023; Bello et al., 2024; Daraojimba et al., 2023] утверждали, что обнаружение мошенничества на основе ИИ предлагает многочисленные преимущества для финансовых учреждений, однако также создает ряд проблем этического, правового, репутационного характера [Toth & Blut, 2024; Hasan, 2024], которые только предстоит решить. В исследованиях [Багреева и др., 2022; Pacific Data Integrators, 2024] приходят к выводу, что внедрение и использование ИИ значительно повышает скорость и эффективность распознавания мошеннических схем, однако ввиду разнообразия самих технических решений на основе ИИ и существенной дифференциации возможностей не проводится сравнение их эффективности между собой.

Как отмечают аналитики Business Insider Intelligence [Горян, 2019; Statista, 2023; Statista, 2024], около 80 % банковских учреждений с активами более 100 млрд долларов США и чуть менее половины банков с активами менее 100 млрд долларов США в настоящее время реализуют проекты с применением ИИ. Однако отдельные авторы [Беспалов, Богатырева, 2023] обращают внимание, что технологии ИИ для противодействия мошенничеству в финансовом секторе весьма разнообразны и реализуются с помощью различных ИИ-моделей, которые отличаются возможностями, сферой применения и уровнем эффективности. Это в свою очередь требует более тщательного выбора и обоснования тех или иных ИИ-технологий, наиболее подходящих для конкретных случаев защиты от мошенничества, что обуславливает *актуальность исследования*.

Цель – оценить возможности применения различных ИИ-технологий для выявления подозрительной активности и аномалий и провести сравнительный анализ их эффективности при противодействии мошенничеству в финансовом секторе.

Задачи: оценить уровень развития ИИ-технологий как средства безопасности в финансовом секторе. Определить ключевые возможности ИИ по предотвращению мошенничества в финансовом секторе. Оценить и сравнить эффективность использования различных ИИ-технологий при выявлении и предотвращении случаев мошенничества. Определить проблемы и предложить решения по развитию ИИ в финансовом секторе.

Объекты и методы исследования

Объектом данного исследования являются различные ИИ-технологии, которые используются для выявления аномалий в массивах финансовой информации, для противодействия мошенничеству в финансовом секторе.

Предмет исследования – социально-экономические возможности использования ИИ-технологий для предотвращения мошенничества в финансовом секторе и уровень эффективности различных моделей ИИ.

Методы, применяемые в рамках исследования: общенаучные методы теоретического познания – проведения аналогий, индукции и дедукции, а также сравнительный анализ, монографический анализ, кейс-стади. Источником информации послужили нормативно-правовые акты и программы развития, труды российских и зарубежных ученых по вопросам применения различных моделей ИИ для противодействия мошенничеству. Особое внимание было уделено опыту финансового сектора США. В качестве эмпирической базы исследования использовались статистические данные из исследований Центра Исследований и Разработок Аль-Кинди (Al-Kindi Center for Research and Development), Института статистических исследований и экономики знаний ВШЭ [ИСИЭЗ ВШЭ, 2024; Kamuang, 2024]. Под синтетическими данными мы понимаем данные, созданные искусственно с помощью алгоритмов на основе фактических данных и учитывающие их паттерны и распределение, но не раскрывающие их конфиденциальность.

В качестве параметров эффективности различных ИИ-технологий для выявления и предотвращения мошенничества использовались показатели, предложенные для этих целей в исследовании [Bello et al., 2023; Bello et al., 2024; Alooba, 2024]:

1. Accuracy (Точность) – показатель, отражающий долю правильных ответов модели среди всех предсказаний. Эта основополагающая метрика представляет не только правильность модели, но и ее надежность на практике.

2. Precision (Точность, меткость, аккуратность) – показатель, отражающий долю истинно положительных ответов среди всех положительных ответов модели, то есть количество фактических положительных примеров, которые модель правильно предсказала как положительные.

3. Recall (Полнота, отзывчивость) – показатель, отражающий долю истинно положительных ответов среди всех правильных ответов модели, показывает, насколько хорошо модель может их идентифицировать. Recall измеряет способность модели фиксировать все положительные примеры.

4. F1 Score – гармоническое среднее между Precision и Recall. Данный показатель полезен, когда необходимо найти баланс между Precision и Recall, особенно в случаях, когда классы не сбалансированы (например, когда положительных примеров значительно меньше, чем отрицательных). Чем выше данный показатель, тем лучше модель справляется с задачей классификации. F1 Score дает более полное представление о производительности модели, чем использование только одного из анализируемых показателей.

5. AUC-ROC (площадь (Area Under Curve) под кривой ошибок (Receiver Operating Characteristic curve)) – показатель, отражающий то, насколько хорошо модель различает положительные и отрицательные классы. Чем выше данный показатель, тем лучше справляется модель.

Результаты и их обсуждение

Уровень развития ИИ как средства безопасности в финансовом секторе

На сегодня технологии ИИ используются во всем мире не только в качестве научно-технического инструмента, но и для борьбы с коррупцией и мошенничеством в самых разных формах и сферах безопасности. В России набор технологических задач и субтехнологий, связанных с развитием цифровых технологий, четко представлен в Дорожной карте развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект» [Правительство Российской Федерации, 2020; Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 2019]. Согласно этому проекту, отмечается высокое разнообразие фактически применяемых средств информационной безопасности для предотвращения мошенничества, однако среди них крайне мала доля высокотехнологичных методов ИИ (рис. 1).

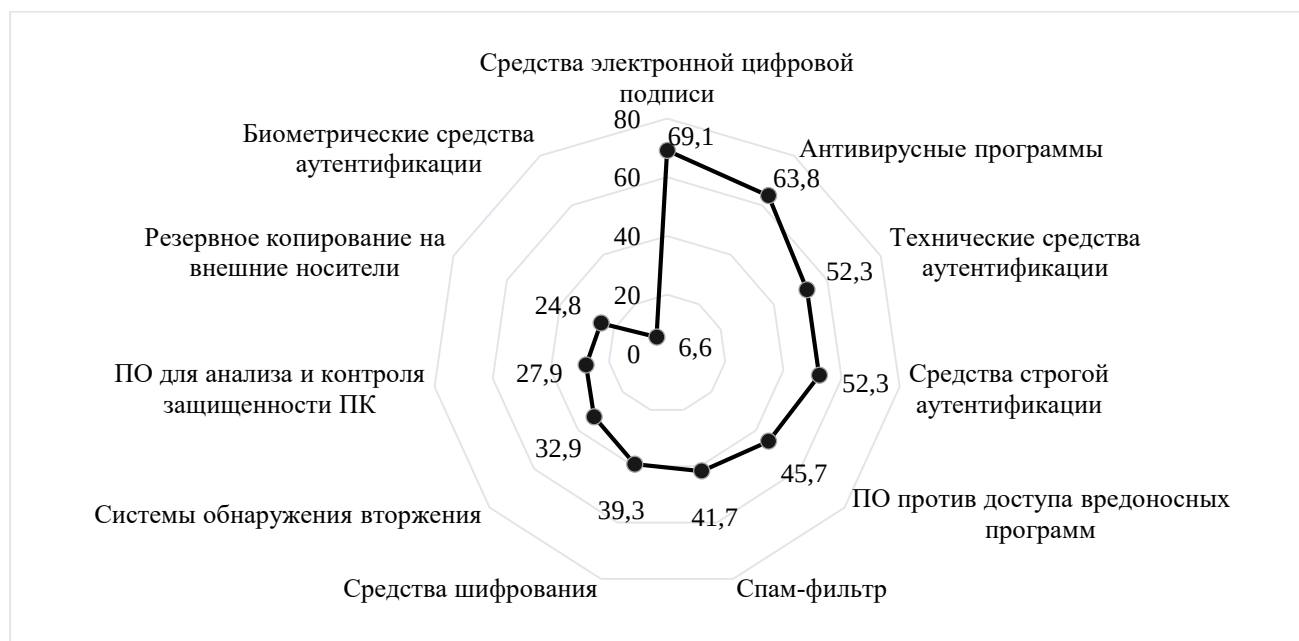


Рис. 1. Степень использования средств информационной безопасности российскими организациями в 2022 году (доля от общего числа организаций), %

Fig. 1. Degree of use of information security tools by Russian organizations in 2022 (share of the total number of organizations), %

Источник: составлено авторами на основе обзора [ИСИЭЗ ВШЭ, 2024]

В условиях цифровой экономики финансовые учреждения также опираются на решения ИИ для снижения финансовых рисков, проверки деловых партнеров и клиентов, улучшения своих возможностей по обнаружению мошенничества [Бабанская, Груднева, 2020; Хоружий и др., 2018]. Наблюдается ежегодный рост финансирования в данные технологии обеспечения безопасности. Согласно исследованиям Juniper Research

[Mayanard, 2022; Mayanard, 2023], в 2022 глобальные расходы бизнеса ведущих поставщиков ИИ в сфере обнаружения и предотвращения финансового мошенничества составили 6,5 млрд долл. США, а к 2027 году превысят 10 млрд долл. При этом мировые затраты финансового сектора на ИИ, по прогнозам аналитиков [V7 Labs, 2022], возрастут с 35 млрд долл. США в 2023 году до 97 млрд долл. США в 2027 году (рис. 2). Рост рынка решений для предотвращения мошенничества на базе ИИ увеличится за 6 лет в среднем на 54 % [Mayanard, 2022]. Самые существенные затраты (более 90 %) на внедрение ИИ-технологий для предотвращения мошенничества традиционно будут осуществлять страны Дальнего Востока и Китая, Западной Европы и Северной Америки (рис. 3) [Mayanard, 2023].

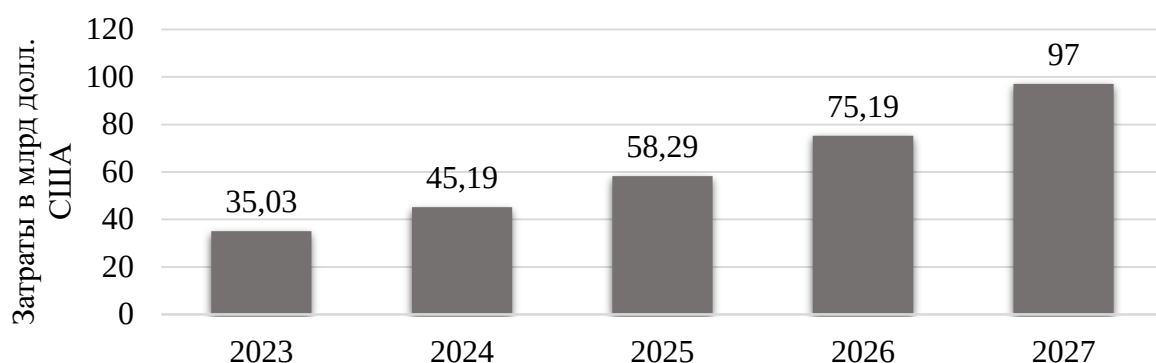


Рис. 2. Мировые затраты финансового сектора на ИИ в 2023–2027 гг. (прогнозные значения в 2024–2027 гг.), млрд долл. США

Fig. 2. Global financial sector spending on AI from 2023 to 2027 (forecast values in 2024–2027), billion USD

Источник: составлено авторами на основе обзора [Mayanard, 2022]

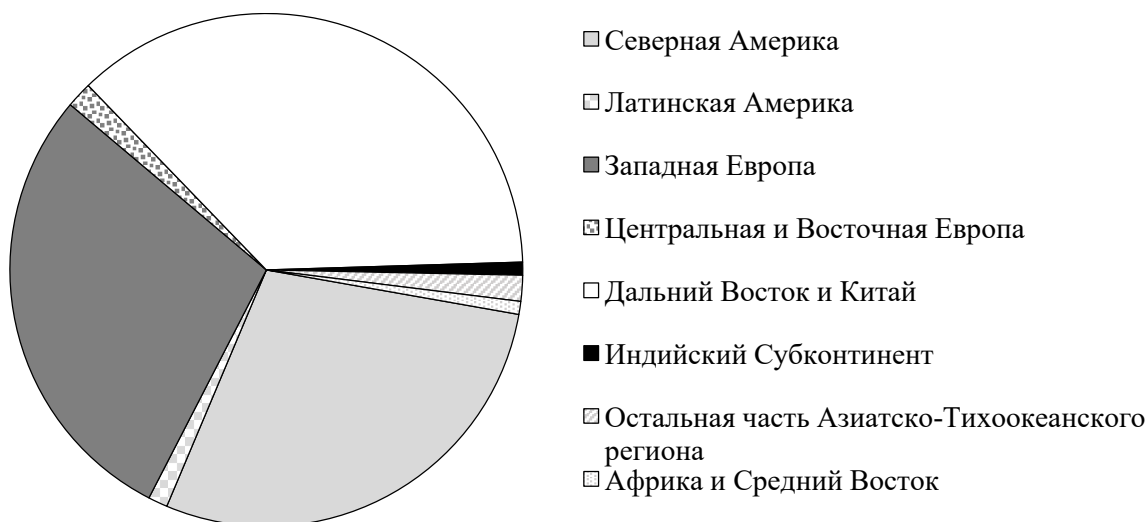


Рис. 3. Структура затрат по отдельным странам на платформы обнаружения финансового мошенничества с поддержкой ИИ в 2027 году (прогнозные значения), %

Fig. 3. Cost structure by individual countries for AI-enabled financial fraud detection platforms in 2027 (forecast values), %

Источник: составлено авторами на основе обзора [Mayanard, 2023]

Возможности ИИ по предотвращению мошенничества в финансовом секторе

По сравнению с традиционными подходами системы ИИ более динамичны и могут адаптироваться к меняющимся схемам мошенничества в режиме реального времени, а также их можно непрерывно обучать на новых данных, что позволяет им распознавать возникающие угрозы и корректировать свои стратегии обнаружения аномалий и подозрительностей.

Анализируя огромные объемы данных и выявляя сложные закономерности, технологии ИИ значительно сокращают количество ложных положительных и ложных отрицательных результатов. Эти системы могут обучаться как на исторических, так и на реальных данных, чтобы со временем повышать свою точность, могут обрабатывать и анализировать большие объемы транзакций в режиме реального времени [Udeh et al., 2024].

Именно эта возможность оперативной работы с большими объемами данных имеет решающее значение для финансовых учреждений, которые на ежедневной основе имеют дело с миллионами транзакций [Золотова и др., 2023]. Все эти преимущества позволяют выявлять подозрительные действия до того, как они приведут к значительным финансовым потерям. Разнообразие технических решений на основе ИИ позволяет использовать их в различных сферах предотвращения мошенничества (рис. 4). Наибольший эффект в финансовом секторе дает многоуровневый подход с комбинированием сразу нескольких ИИ-технологий, например, глубокого обучения и обнаружения аномалий.

Машинное обучение (МО)

- Автоматическое обучение и адаптация к переменам делает их устойчивее к новым способам мошенничества.
- Системы МО могут быть интегрированы в анализ нескольких источников информации, обеспечивая более глубокое представление о поведении пользователей и шаблонах их финансовых транзакций и выявляя аномалии действий. Сюда относятся модели логистической регрессии, дерева решений и др.

Методы обнаружения аномалий

- **Кластерный анализ** подразумевает группировку схожих по признакам транзакций, а также выделение тех, которые не вписываются ни в один кластер, что сигнализирует об их аномальности. Обнаружение аномалий основывается на плотности распределения данных и поиске выбросов вокруг кластеров, которые отклоняются от большинства точек данных, помогая выявлять потенциальное мошенничество.

Обработка естественного языка (NLP)

- **Анализ неструктурированных текстовых данных**, связанных с транзакциями (например, описания и сообщения клиентов).
- **Распознавание именованных сущностей (NER)**: идентифицирует и классифицирует данные в тексте, которые могут быть полезны для обнаружения мошенничества (например, имена, местоположения, даты).
- **Анализ настроений** (сентимент-анализ) оценивает эмоциональный тон текстовых данных для выявления подозрительного поведения, а также оценивает настроения сообщений клиентов.

Модели глубокого изучения

- Способны выявить сложные паттерны в больших объемах данных, моделировать сложные связи.
- **Базовые нейронные сети** могут моделировать нелинейные отношения в транзакционных данных, что подходит для простых задач обнаружения мошенничества.
- **Сверточные нейронные сети (CNN)** подходят для обработки данных транзакций как «изображения», где важны пространственные иерархии, так как они могут автоматически извлекать иерархические признаки из необработанных транзакционных данных (например, проверки оформления чеков (CSV-AI), автоматическая проверка подписей (ASV-AI)).
- **Рекуррентные нейронные сети (RNN)** и **Сети с долговременной краткосрочной памятью (LSTM)** упрощают обработку последовательных данных и исторический анализ транзакций.

Гибридные модели

- Объединение различных методов ИИ в гибридные модели повышает надежность и точность систем обнаружения мошенничества, объединяя прогнозы из нескольких моделей.

Рис. 4. Сфера применения разнообразных ИИ-технологий для предотвращения мошенничества в финансовом секторе

Fig. 4. Scope of application of various AI technologies to prevent fraud in the financial sector

Источник: составлено авторами на основе обзора литературы [Bello et al., 2024; Беспалов, Богатырева, 2023; Adalakun et al., 2024]

Все системы обнаружения мошенничества на основе ИИ значительно снижают уровень мошенничества за счет работы на всех этапах противодействия мошенничеству: обнаружения, предотвращения мошеннических действий в режиме реального времени и принятия ответных мер. Использование систем МО, глубокого обучения и других помогает финансовым учреждениям более эффективно выявлять мошенничество, минимизируя финансовые потери и защищая активы клиентов на разных этапах предотвращения мошенничества (рис. 5).

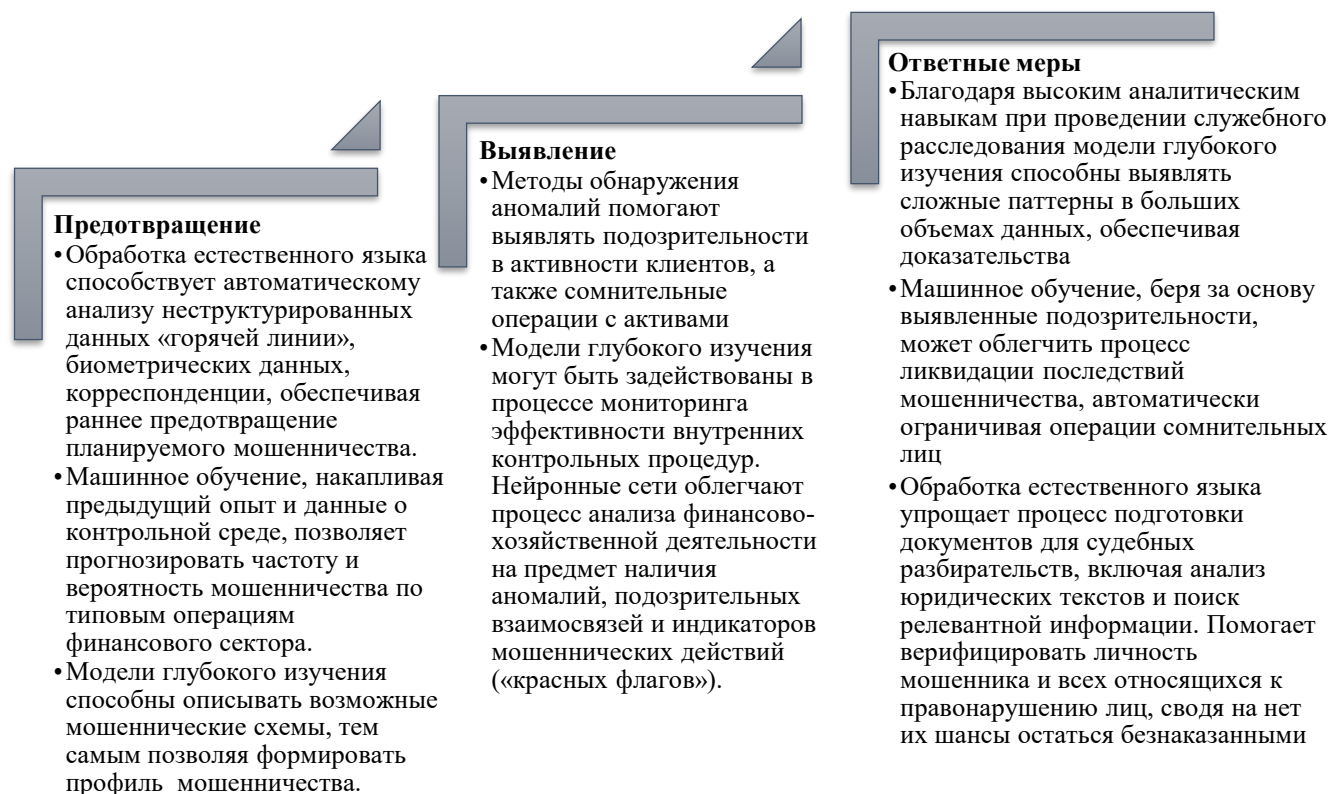


Рис. 5. Возможности ИИ-технологий на различных этапах предотвращения мошенничества по модели CIMA (Chartered Institute of Management Accountants)

Fig. 5. The capabilities of AI technologies at various stages of fraud prevention according to the CIMA (Chartered Institute of Management Accountants) model

Источник: составлено авторами.

Стоит отметить, что системы ИИ и решения на базе ИИ работают с разнообразными категориями мошенничества в финансовом секторе (табл. 1).

Сравнительный анализ эффективности использования ИИ-моделей

Исследование оценки эффективности является важной составляющей использования ИИ для обнаружения мошенничества. В исследованиях современных цифровых технологий [Bello et al., 2023; Bello et al., 2024; Alooba, 2024] используют большое количество различных показателей, рассматривают многие параметры, раскрывающие результаты производительности ИИ-моделей. За основу исследования были приняты следующие показатели: Accuracy (точность), Precision (точность, меткость, аккуратность), Recall (полнота, отзывчивость), F1 Score (гармоническое среднее между Precision и Recall), AUC-ROC (площадь под кривой ошибок (Receiver Operating Characteristic curve)).

Таблица 1
Table 1

Возможности ИИ для выявления различных типов финансового мошенничества
The power of AI to detect different types of financial fraud

Тип	Характеристика финансового мошенничества	Решения на основе МО и ИИ
Физические атаки	Традиционные виды мошенничества: подделка чеков, скимминг в банкоматах, кража кредитных карт. Хотя они самые простые, но сохраняются благодаря своей эффективности, особенно когда нацелены на более уязвимые категории граждан (подростки, пенсионеры и т. п.)	Видеоаналитика на базе ИИ может обнаруживать подозрительное поведение и предупреждать сотрудников службы безопасности в режиме реального времени. Алгоритмы МО могут анализировать огромные объемы данных транзакций в режиме реального времени, выявляя аномалии, которые отклоняются от типичного поведения клиента. Ускоряется процесс выявления и реагирования в случае подозрительной активности.
Нарушение принципа двойной авторизации	Это мера безопасности, когда важная или конфиденциальная транзакция согласовывается сразу несколькими сотрудниками компании. Это защищает от внутреннего мошенничества одного сотрудника, однако не работает в случае их сговора (когда два человека вместе совершают мошенничество) или по ошибке (если один из двоих одобряет мошенническую транзакцию, не осознавая этого).	Алгоритмы МО отслеживают действия сотрудников, выявляя необычные закономерности, которые могут указывать на сговор или неэтичные действия, обеспечивая соблюдение требований двойной авторизации. Например, если два сотрудника всегда быстро одобряют транзакции друг друга без надлежащих проверок, система может пометить это как подозрительное поведение. Так, компания может эффективней расследовать потенциальное мошенничество на ранних этапах.
Цифровое мошенничество	Мошенничество в цифровом банкинге: захват онлайн-аккаунтов, фишинг, мошеннические переводы. Скорость и анонимность Интернета делают их особенно трудными для обнаружения.	Системы ИИ эффективно обнаруживают онлайн-мошенничество (кража личных данных, фишинг), анализируя поведение пользователей и модели транзакций, отмечая аномалии для немедленного вмешательства.

Источник: составлено авторами

Согласно результатам исследования по оценке эффективности некоторых ИИ-технологий (табл. 2), все показатели эффективности превышают 80 %, что говорит об их хорошей адаптивности к различным сценариям обнаружения мошенничества. Среднее значение всех показателей эффективности колеблется в диапазоне 88–94 %, что означает неполноту раскрытия потенциала рассмотренных методов. Ученым только предстоит найти способы роста этих показателей и улучшить их результативность. Маленький размах вариации говорит о том, что все значения находятся достаточно близко к среднему, следовательно, среднее значение хорошо обобщает совокупность. Невысокий коэффициент вариации показывает, что степень изменчивости эффективности разных методов не так высока. Они все являются важными составляющими процесса выявления мошенничества, улучшая качество и скорость данного процесса.

Несмотря на достаточно высокие показатели всех моделей, пока что ни одна из моделей не достигает 100 % значения показателей. Это связано с множеством факторов, проблему влияния которых ученым только предстоит изучить. Оценка эффективности ИИ-технологий достаточно многогранна, поэтому стоит учитывать не только количественные показатели, но и практическую применимость, устойчивость к изменениям данных и возможность различной интерпретации результатов.

Таблица 2
 Table 2

Результаты оценки эффективности ИИ-технологий для целей выявления мошенничества
 Results of assessing the effectiveness of AI technologies for fraud detection purposes

Технология ИИ	Метод	Показатели эффективности				
		Accuracy	Precision	Recall	F1 Score	AUC-ROC
Машинное обучение	Логистическая регрессия	0,92	0,89	0,85	0,87	0,94
	Дерево решений	0,94	0,91	0,88	0,89	0,94
Методы обнаружения аномалий	Кластерный анализ	0,85	-	-	-	0,88
Модели глубокого изучения	Нейронные сети	0,94	0,91	0,88	0,89	0,96
	Сверточные нейронные сети (CNN)	0,95	0,92	0,90	0,91	0,97
	Рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети с долговременной краткосрочной памятью (LSTM)	0,93	0,89	0,87	0,88	0,95
Среднее значение		0,92	0,90	0,88	0,89	0,94
Размах вариации		0,10	0,03	0,05	0,04	0,09
Кoeff. вариации		0,04	0,01	0,02	0,02	0,03

Источник: составлено авторами с использованием данных Al-Kindi Center for Research and Development [Bello et al., 2024]

Постоянная гонка финансовых учреждений за усиленной безопасностью стимулирует мошенников постоянно адаптировать свои незаконные методы. Все это делает сложным предотвращение мошенничества, требуя непрерывности процесса адаптации и гибкости систем безопасности. Это подчеркивает необходимость развития систем обнаружения мошенничества на основе ИИ, которые могут выявлять развивающиеся схемы мошенничества.

Они облегчают процесс расследования случаев мошенничества, позволяя быстро и точно выявлять аномалии, отслеживать подозрительные транзакции и проводить более глубокий анализ кейсов на ранних стадиях, когда закономерности не очевидны широкому кругу заинтересованных лиц.

Согласно исследованию Международного журнала исследований в области прикладной науки и инженерных технологий (IJRASET) [Mohammad, 2024], технологии ИИ повышают эффективность выявления случаев мошенничества в среднем более чем на 70 % (табл. 3).

Как можно заметить, системы обнаружения мошенничества на основе ИИ весьма эффективны и способствуют снижению уровня мошенничества за счет обнаружения и предотвращения мошеннических действий в режиме реального времени. Использование на практике передовых ИИ-технологий помогает финансовым учреждениям более эффективно выявлять и сокращать число случаев мошенничества, минимизируя финансовые потери и защищая активы клиентов.

Проблемы и решения по развитию ИИ в финансовом секторе

Успешное внедрение цифровых технологий в финансовых учреждениях требует комплексного подхода. Хотя внедрение обещает значительное повышение эффективности

борьбы с мошенническими действиями, существует множество сложностей и проблем при интеграции ИИ-технологий в деятельность финансовых учреждений:

1. Совместимость систем. Многие банки используют в своей работе устаревшие системы, выбирая проверенную временем надежность. Это усложняет процесс интеграции ИИ в силу низкой совместимости передовых цифровых технологий со старыми системами. Например, 60 % банков испытывают трудности с интеграцией именно по этой причине [Mohammad, 2024]. Возможным решением данной проблемы может стать предшествующее обновление систем или интеграция на основе API – программного интерфейса для приложений, позволяющего разным программам взаимодействовать друг с другом, общаться между собой и обмениваться данными, следуя заданным правилам и способам.

2. Качество данных и стандартизация. Для лучшей работы ИИ-технологий им необходимо задавать высококачественную базу данных для улучшения точности и эффективности работы. В связи с этим около 40 % времени проекта интеграции ИИ уходит на подготовку и согласование данных, которые в будущем станут основой работы всей ИИ-технологии. Основными источниками данных являются: записи финансовых транзакций (включая суммы, временные метки, местоположения и данные о клиентах), дополнительные данные из внешних источников, которые могут предоставить дополнительный контекст для транзакций, записи известных мошеннических транзакций, которые имеют решающее значение для обучения моделей [Daraojimba et al., 2023]. Если повлиять на внешние источники данных сложнее, при работе с внутренней информацией оптимальным решением будет внедрение стандартизированных протоколов данных, которые преждевременно будут отбирать лишь необходимую информацию, автоматически очищая ненужные данные.

3. Необходимость обработки в реальном времени. Оптимальность многих ИИ-технологий достигается постоянной работой, направленной на анализ больших данных. Для этого требуются значительные вычислительные мощности, которых у финансовых учреждений может и не быть [Udeh et al., 2024]. Справиться с этой проблемой поможет использование облачных систем для производства необходимых вычислений.

4. Модель управления. Для управления цифровыми технологиями на основе ИИ необходимы эффективные модели управления внутри компаний, обеспечивающие надежность работы всех систем. Вариант решения данной проблемы – внедрение эффективной модели управления рисками.

5. Обучение персонала и недостаточные навыки. Для внедрения ИИ большие требования предъявляются к квалификации и компетентности персонала. Высокий разрыв знаний в области ИИ и науки о данных (Data Science) затрудняет работу и может привести к недостаточному использованию потенциала цифровых технологий. Решение – формирование комплексных программ обучения, затрагивающих как вопросы интеграции ИИ-технологий, так и цифровую аналитику.

6. Слабое сотрудничество финансовых учреждений и IT-фирм. Партнерства между финансовыми учреждениями и IT-фирмами способствуют облегчению обмена знаниями и передовой практикой, повышая эффективность использования цифровых технологий и ускоряя процесс внедрения ИИ-технологий для предотвращения мошенничества.

В результате проведенной работы были предложены решения для финансового сектора, которые помогут успешно внедрять и использовать технологии ИИ в своей практике для предотвращения мошенничества (рис. 6).

Таким образом, учет предлагаемых решений позволит финансовым учреждениям более эффективно внедрять и использовать ИИ для борьбы с мошенничеством и для защиты своих клиентов.

Таблица 3
Table 3

Анализ влияния ИИ-технологий на процедуру выявления мошенничества
Analysis of the impact of AI technologies on the fraud detection procedure

Технологии ИИ	Влияние на обнаружение мошенничества	Возникающие сложности
Машинное обучение	Повышение точности обнаружения мошенничества на 85 %	Для повышения эффективности требуются большие объемы данных с высоким качеством
Методы обнаружения аномалий	Рост скорости выявления новых схем мошенничества на 78 %	Изначально высокий уровень ложноположительных результатов в моделях
Обработка естественного языка	Рост обнаружения мошенничества на 70 %	Необходимость тщательно задавать контекст и детали для точности социальной инженерии
Модели глубокого изучения	Снижение ложных срабатываний на 92 %	Высокие вычислительные требования

Источник: составлено авторами на основе исследования IJRASET [Mohammad, 2024]

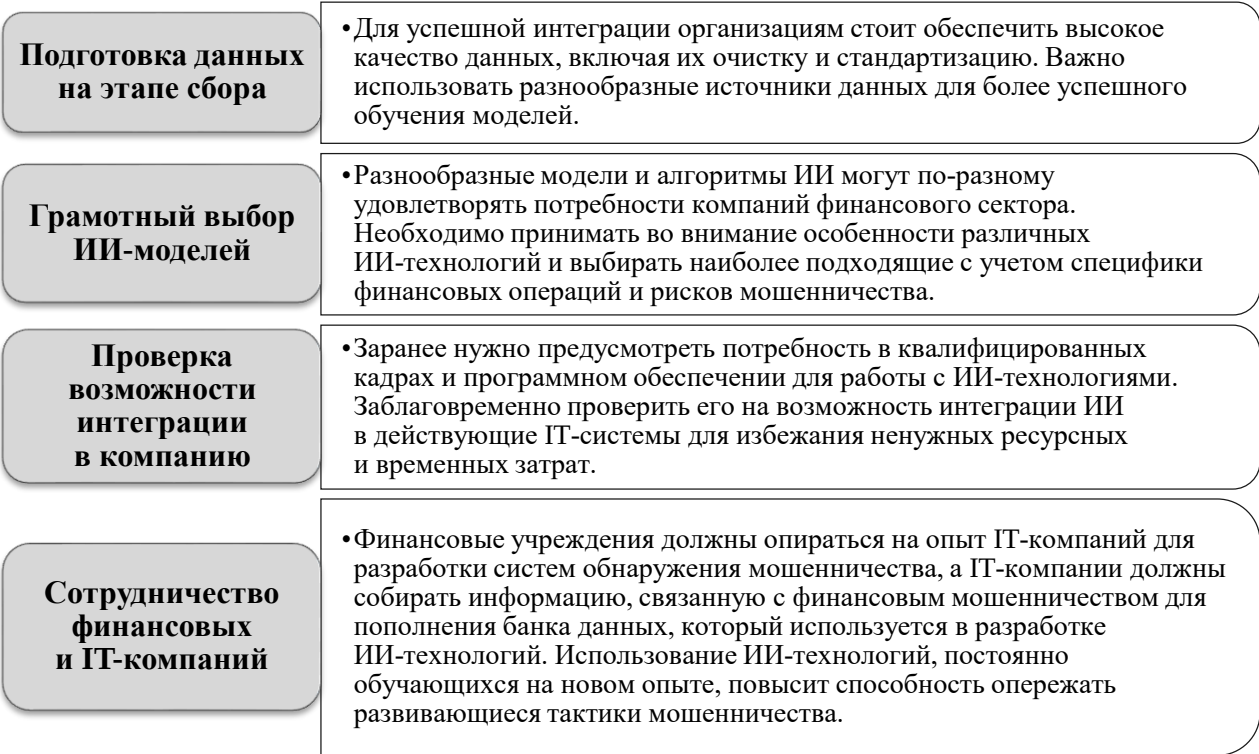


Рис. 6. Предлагаемые решения по развитию ИИ в целях предотвращения мошенничества в финансовом секторе

Fig. 6. Proposed solutions for the development of AI to prevent fraud in the financial sector
Источник: составлено авторами.

Заключение

В ходе проделанной работы мы пришли к тому, что использование цифровых технологий для обнаружения мошенничества в финансовой сфере обладает рядом преимуществ, делающих эти технологии приоритетными для изучения, развития и применения на практике. Несмотря на возникающие сложности в изучении данного вопроса, такие как постоянная изменчивость данных, сложность интеграции, соблюдение

правовых и этических аспектов, а также неполнота раскрытия конфиденциальной информации, стоит стремиться к повышению эффективности использования данных технологий, минуя существующие ограничения.

Изучение мирового опыта использования ИИ для предотвращения мошенничества позволяет осознать и сравнить, насколько эффективным является использование различных ИИ-технологий, а также насколько полезны данные технологии при борьбе с рисками мошенничества, в выявлении аномалий и идентификации подозрительных операций, проводимых финансовыми учреждениями. Использование ИИ-технологий при принятии решений гарантирует существенные возможности для моделирования схем мошенничества и адаптации к новым, постоянно меняющимся угрозам.

Однако использование ИИ не лишено проблем. Правовые и этические аспекты, проблемы конфиденциальности данных и потребность в объяснимости и рационализации решений ИИ являются критически важными вопросами, которые только предстоит решить.

Данное исследование может быть использовано в различных областях финансового сектора. Оно полезно для банковских и кредитных организаций, через которые регулярно проходит огромное количество денежных средств, подвергая их риску мошеннических действий, так и для страховых компаний, позволяя им преждевременно фиксировать потенциальную опасность среди своих клиентов и вовремя принимать меры реагирования против этих рисков. Сравнительный анализ различных ИИ-технологий поможет финансовым учреждениям выбрать наиболее эффективные алгоритмы, что снизит количество ложных срабатываний и улучшит общий пользовательский опыт.

Изученная тема может послужить поводом к дальнейшему изучению проблем интеграции ИИ-технологий в работу организаций, к анализу их фактического влияния на процесс выявления мошенничества. Также в условиях финансового сектора, где важна прозрачность принятия решений, будущие исследования могут сосредоточиться на разработке методов, позволяющих объяснять выводы ИИ. Нахождение ошибок в алгоритмах принятия решений и их исправление поможет повысить качество работы технологий. Наконец, важным аспектом будущих исследований будет изучение этических вопросов, связанных с использованием ИИ, что включает в себя вопросы конфиденциальности данных, предвзятости алгоритмов и потенциальных последствий для клиентов. Разработка этических стандартов и рекомендаций для использования ИИ в борьбе с мошенничеством станет важным шагом к безопасному и ответственному применению технологий.

Список источников

- Индикаторы цифровой экономики: 2024: статистический сборник. 2024. В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохберг и др. Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 276. ISBN 978-5-7598-3008-5. <https://doi.org/10.17323/978-5-7598-3008-5>
- Паспорт федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». 2020. Правительство Российской Федерации. URL: <https://spa.msu.ru/wp-content/uploads/5-1.pdf> (дата обращения 30.11.2024)
- Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект». 2019. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019ii.pdf> (дата обращения 30.11.2024)
- Estimated value of the financial sector's artificial intelligence (AI) spending worldwide in 2023, with forecasts from 2024 to 2027. 2024. Statista.com. URL: <https://www.statista.com/statistics/1446037/financial-sector-estimated-ai-spending-forecast/> (дата обращения: 30.11.2024).
- F1 Score in Machine Learning: Intro & Calculation. 2022. V7 Labs. URL: <https://www.v7labs.com/blog/f1-score-guide> (дата обращения: 30.11.2024).

- Financial sector AI spending worldwide 2023, with forecasts to 2027. 2023. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/1446037/financial-sector-estimated-ai-spending-forecast/>
- How LLMs in banking enhance fraud detection, risk assessment, and credit evaluation // Pacific Data Integrators. PDI Marketing Team. URL: <https://www.pacificdataintegrators.com/> (дат обращения: 30.11.2024).
- Mayanard N. 2022. AI in Financial Fraud Detection: Key Trends, Competitor Leaderboard & Market Forecasts 2022-2027. JUNIPER Research. URL: <https://www.juniperresearch.com/research/fintech-payments/fraud-identity/ai-financial-fraud-detection-trends-report/>
- Mayanard N. 2023. AI in Financial Fraud Detection Market Summary 2022-2027. JUNIPER Research URL: <https://www.juniperresearch.com/resources/infographics/ai-financial-fraud-detection-infographic/>
- What are evaluation metrics in natural language processing? Alooba. URL: <https://www.alooba.com/skills/concepts/natural-language-processing/evaluation-metrics/> (дата обращения: 30.11.2024).

Список литературы

- Бабанская А.С., Груднева А.А. 2020. Анализ и оценка финансовых рисков. *Бухучет в сельском хозяйстве*, 4: 66–75.
- Багреева Е.Г., Исмаилов Н.Э.О., Бобылева Л.М. 2022. Искусственный интеллект как противодействие мошенничеству в банковской сфере. *Евразийская адвокатура*, 2 (57): 90–95. https://doi.org/10.52068/2304-9839_2022_57_2_90
- Беспалов Д.А., Богатырева М.В. 2023. Роль искусственного интеллекта в финансовом секторе. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 7-1: 10–16. DOI <https://doi.org/10.17513/vaael.2892>
- Горян Э.В. 2019. Зарубежный опыт использования технологий искусственного интеллекта в обеспечении информационной безопасности банковского сектора. Территория новых возможностей. *Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*, 11, 4: 62–73. <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2019-4/062-073>
- Золотова Е.А., Калашникова Е.Ю., Чувилова О.Н., Гришанов С.М. 2023. Российская и зарубежная практика искусственного интеллекта в банковской деятельности и его значимость для бизнес-процессов. *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*, 1 (94): 21–31. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.1.3>
- Хоружий Л.И., Бабанская А.С., Трясцина Н.Ю. 2018. Мошенничество с финансовой информацией: анализ и оценка деловых партнеров. *Бухучет в сельском хозяйстве*, 5: 68–80.
- Adelakun B.O., Antwi B.O., Fatogun D.T., Olaiya O.P. 2024. Enhancing audit accuracy: The role of AI in detecting financial anomalies and fraud. *Finance & Accounting Research Journal (FARJ)*, 6, 6: 1049–1068. <https://doi.org/10.51594/farj.v6i6.1235>
- Bello O.A., Folorunso A., Onwuchekwa J., Ejiofor O.E., Budale F.Z., & Maryann Egwuonwu M.N. 2023. Analysing the impact of advanced analytics on fraud detection: a machine learning perspective. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 11 (6): 103–126. <https://doi.org/10.37745/ejcsit.2013/vol11n6103126>
- Bello O.A., Ogundipe A., Mohammed D., Folorunso A., & Alonge O.A. 2024. AI-Driven approaches for real-time fraud detection in US financial transactions: challenges and opportunities. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 121(6): 88–106. <https://doi.org/10.37745/ejcsit.2013/vol11n684102>
- Daraojimba R.E., Farayola O.A., Olatoye F.O., Mhlango N., Oke T.T. 2023. Forensic accounting in the digital age: a U.S. perspective: scrutinizing methods and challenges in digital financial fraud prevention. *Finance & Accounting Research Journal*, 5, 11: 342–360. <https://doi.org/10.51594/farj.v5i11.614>
- Hasan M.F., Amanah A.A., Fadhil A.H., & Fali A.J. 2024. Corporate political responsibility in the digital age: trends and challenges. International Conference on Science, Innovations and Global Solutions, July: 165–172. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13701910>
- Kamuangu P.K. 2024. A review on financial fraud detection using AI and Machine Learning. *Journal of Economics, Finance and Accounting Studies (JEFAS)*, 6(1): 67–77. <https://doi.org/10.32996/jefas.2024.6.1.7>

- Mohammad R. 2024. Generative AI in Fintech: advancing risk assessment and fraud detection in digital payment technologies. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 12, VIII: 1318–1326. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.64110>
- Toth Z., Blut M. 2024. Ethical compass: the need for corporate digital responsibility in the use of Artificial Intelligence in financial services. *Organizational Dynamics*, 53, 2: 101041. <https://doi.org/10.1016/j.orgdyn.2024.101041>
- Udeh E.O., Amajuoyi P., Adeusi K.B., Scott A.O. 2024. The role of big data in detecting and preventing financial fraud in digital transactions. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(02): 1746–1760. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.2.1575>

References

- Babanskaya A.S., Grudneva A.A. 2020. Analysis and assessment of financial risks. *Accounting in agriculture*, 4: 66–75.
- Bagreeva E.G., Ismailov N.E.O., Bobyleva L.M. 2022. Artificial intelligence as a means of counteracting fraud in the banking sector. *Eurasian Advocacy*, 2 (57): 90–95. https://doi.org/10.52068/2304-9839_2022_57_2_90
- Bespalov D.A., Bogatyreva M.V. 2023. The role of artificial intelligence in the financial sector. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 7-1: 10–16. DOI <https://doi.org/10.17513/vaael.2892>
- Goryan E.V. 2019. Foreign experience of using artificial intelligence technologies in ensuring information security of the banking sector. Territory of new opportunities. *Bulletin of Vladivostok State University of Economics and Service*, 11, 4: 62–73. <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2019-4/062-073>
- Zolotova E.A., Kalashnikova E.Yu., Chuvilova O.N., Grishanov S.M. 2023. Russian and foreign practice of artificial intelligence in banking and its significance for business processes. *Bulletin of the North Caucasian Federal University*, 1 (94): 21–31. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.1.3>
- Khoruzhy L.I., Babanskaya A.S., Tryascina N.Yu. 2018. Fraud with financial information: analysis and assessment of business partners. *Accounting in agriculture*, 5: 68–80.
- Adelakun B.O., Antwi B.O., Fatogun D.T., Olaiya O.P. 2024. Enhancing audit accuracy: The role of AI in detecting financial anomalies and fraud. *Finance & Accounting Research Journal (FARJ)*, 6, 6: 1049–1068. <https://doi.org/10.51594/farj.v6i6.1235>
- Bello O.A., Folorunso A., Onwuchekwa J., Ejiofor O.E., Budale F.Z., & Maryann Egwuonwu M.N. 2023. Analysing the impact of advanced analytics on fraud detection: a machine learning perspective. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 11 (6): 103–126. <https://doi.org/10.37745/ejcsit.2013/vol11n6103126>
- Bello O.A., Ogundipe A., Mohammed D., Folorunso A., & Alonge O.A. 2024. AI-Driven approaches for real-time fraud detection in US financial transactions: challenges and opportunities. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 121(6): 88–106. <https://doi.org/10.37745/ejcsit.2013/vol11n684102>
- Daraojimba R.E., Farayola O.A., Olatoye F.O., Mhlongo N., Oke T.T. 2023. Forensic accounting in the digital age: a U.S. perspective: scrutinizing methods and challenges in digital financial fraud prevention. *Finance & Accounting Research Journal*, 5, 11: 342–360. <https://doi.org/10.51594/farj.v5i11.614>
- Hasan M.F., Amanah A.A., Fadhil A.H., & Falihi A.J. 2024. Corporate political responsibility in the digital age: trends and challenges. International Conference on Science, Innovations and Global Solutions, July: 165–172. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13701910>
- Kamuangu P.K. 2024. A review on financial fraud detection using AI and Machine Learning. *Journal of Economics, Finance and Accounting Studies (JEFAS)*, 6(1): 67–77. <https://doi.org/10.32996/jefas.2024.6.1.7>
- Mohammad R. 2024. Generative AI in Fintech: advancing risk assessment and fraud detection in digital payment technologies. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 12, VIII: 1318–1326. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.64110>
- Toth Z., Blut M. 2024. Ethical compass: the need for corporate digital responsibility in the use of Artificial Intelligence in financial services. *Organizational Dynamics*, 53, 2: 101041. <https://doi.org/10.1016/j.orgdyn.2024.101041>

Udeh E.O., Amajuoyi P., Adeusi K.B., Scott A.O. 2024. The role of big data in detecting and preventing financial fraud in digital transactions. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(02): 1746–1760. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.2.1575>

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 03.12.2024

Поступила после рецензирования 24.01.2025

Принята к публикации 31.01.2025

Received December 03, 2024

Revised January 24, 2025

Accepted January 31, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бабанская Анастасия Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности и управления рисками, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

 ORCID: 0000-0002-4695-1587

Ермольева Дарья Романовна, студентка 4 курса, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

 ORCID: 0009-0009-5911-3425

Ефименко Надежда Александровна, студентка 4 курса, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

 ORCID: 0009-0006-9843-4000

Акулова Софья Алексеевна, студентка 4 курса, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

 ORCID: 0009-0009-2222-0518

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasia S. Babanskaya, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Security and Risk Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

 ORCID: 0000-0002-4695-1587

Daria R. Ermoleva, 4th year student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

 ORCID: 0009-0009-5911-3425

Nadezhda A. Efimenko, 4th year student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

 ORCID: 0009-0006-9843-4000

Sofia A. Akulova, 4th year student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

 ORCID: 0009-0009-2222-0518

УДК 336.71

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-125-136

Технологическая трансформация банковской индустрии России

Науменко И.А., Быканова Н.И.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
bykanova@bsuedu.ru, 1666724@bsuedu.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению технологической трансформации банковской индустрии и поиску направлений ее оптимизации. В условиях цифровизации банковская индустрия России сталкивается с необходимостью технологической трансформации для повышения конкурентоспособности и эффективности. Несмотря на многочисленность исследований, посвященных данной тематике, изучение технологической трансформации банковской индустрии с точки зрения сферы охвата не имеет достаточной обоснованности. Помимо этого, практически отсутствуют исследования по разработке механизма внедрения и оценки инновационных цифровых технологий, адаптированного для банковской индустрии России. Целью данного исследования является разработка подходов к технологической трансформации банковской индустрии России путем интеграции передовых цифровых решений. Основные результаты включают выявление ключевых направлений цифровой трансформации, анализ барьеров внедрения инновационных технологий и разработку механизма оптимизации банковской индустрии России путем внедрения инновационных технологий и оценки их эффективности. Полученные выводы вносят вклад в развитие теории цифровизации банковской сферы, предлагая универсальный механизм технологической трансформации, учитывающий российские реалии и мировые тенденции.

Ключевые слова: цифровая трансформация, Open Banking, искусственный интеллект, цифровые технологии, банковская индустрия, цифровизация

Для цитирования: Науменко И.А., Быканова Н.И. 2025. Технологическая трансформация банковской индустрии России. *Экономика. Информатика*, 52(1): 125–136. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-125-136

Technological Transformation of the Russian Banking Industry

Irina A. Naumenko, Natalya I. Bykanova
Belgorod State National Research University
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
bykanova@bsuedu.ru, 1666724@bsuedu.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the technological transformation of the banking industry and the search for ways to optimize it. In the context of digitalization, the Russian banking industry is facing the need for technological transformation to increase competitiveness and efficiency. Despite numerous papers devoted to this topic, the study of the technological transformation of the banking industry in terms of scope has not been sufficiently validated. In addition, there is practically no research on the development of a mechanism for the implementation and evaluation of innovative digital technologies adapted for the Russian banking industry. The purpose of this research is to develop approaches to the technological transformation of the Russian banking industry by integrating advanced digital solutions. The main results include the identification of key areas of digital transformation, the analysis of barriers to the introduction of innovative technologies and the development of a mechanism for optimizing the Russian banking industry through the introduction of innovative technologies and evaluating their effectiveness. The findings contribute to the development of the theory of digitalization of

© Науменко И.А., Быканова Н.И., 2025

the banking sector, offering a universal mechanism for technological transformation that takes into account Russian realities and global trends.

Keywords: digital transformation, Open Banking, artificial intelligence, digital technologies, banking industry, digitalization

For citation: Naumenko I.A., Bykanova N.I. 2025. Technological Transformation of the Russian Banking Industry. *Economics. Information technologies*, 52(1): 125–136 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-125-136

Введение

В современном мире банки становятся не только финансовыми учреждениями, но и технологическими лидерами, активно внедряющими инновационные подходы для повышения своей конкурентоспособности. Цифровизация оказывает значительное влияние на развитие банковской индустрии, открывая перед банками новые возможности и одновременно создавая вызовы, требующие адаптации. Цифровая трансформация банковской индустрии России является необходимостью, обусловленной рядом факторов, включая экономические вызовы, рост конкуренции и требования к повышению операционной эффективности. Устаревшие информационные системы и неэффективные традиционные процессы ограничивают способность банков адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, повышая операционные издержки и снижая конкурентоспособность.

Теоретические аспекты технологической трансформации и цифровизации в своих работах изучали такие ученые-экономисты, как И.А. Филиппова [Филиппова, 2021], Г.И. Абрахманова, К.О. Вишневский, Л.М. Гохбер [Абрахманова, Вишневский, Гохбер 2022], А.А. Волкова [Волкова, 2019], Т.Ю. Кудрявцева [Кудрявцева, Кожина, 2021], И.Е. Рузина [Рузина, 2022], Л.А. Петрова [Петрова, Кузнецова, 2022].

Изучению банковской системы различных сфер охвата, ее теоретических основ и понятий посвятили свои исследования такие ученые, как С. Дробышевский, С. Пашенко [Дробышевский, Пашенко, 2020], О.С. Крылова [Крылова, 2018], А.Л. Амичба [Амичба, 2024], Л. Заволокина [Заволокина, Долата, Швабе, 2016], Е.И. Кириллова [Кириллова, 2021].

Однако исследования технологической трансформации, цифровых технологий, их эффективности и адаптации к отечественному рынку все еще остаются фрагментарными, что ограничивает возможности проведения комплексного и сравнительного анализа на разных уровнях функционирования банковской индустрии. В связи с этим понятие цифровых технологий в банковской индустрии приобретает не только практическую, но и стратегическую значимость, требуя детального изучения.

Объекты и методы исследования

Для достижения цели в работе использованы общенаучные и специальные методы исследования: метод обобщения и группировки (для анализа опыта ведущих российских и зарубежных банков по внедрению цифровых технологий); экономико-статистический метод (для исследования динамики цифровизации банковского сектора, оценки уровня внедрения цифровых решений и их влияния на финансовые показатели банков); метод динамического и логического анализа (для выявления тенденций цифровой трансформации банковской индустрии, анализа развития цифровых сервисов и стратегий их адаптации к российским реалиям); метод экспертных оценок (позволил определить ключевые барьеры внедрения инновационных технологий); табличный и графический методы (применялись для визуализации результатов исследования, представления аналитических данных и структурирования информации); метод системного анализа (использовался для выявления взаимосвязей между цифровыми технологиями, регуляторной средой и рыночными процессами в банковской индустрии России).

Результаты и их обсуждение

Проведем сравнительный анализ понятий банковской системы по различным критериям, результаты представим в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Сравнительная характеристика ключевых понятий банковской системы
Comparative characteristics of key concepts of the banking system

Критерий	«Банковский сектор»	«Банковская деятельность»	«Банковский рынок»	«Банковская индустрия»
Сфера охвата	Финансовые организации и их внутренние процессы	Конкретные операции и процедуры банков	Конкурентная среда и участники рынка	Макроуровень: вся система и экосистема
Уровень анализа	Средний (внутри банковской системы)	Локальный (фокус на операциях)	Рыночный (конкуренция и тенденции)	Стратегический (глобальные процессы)
Цель исследования	Цифровизация отдельных банков и процессов	Оптимизация и улучшение деятельности	Исследование трендов и динамики рынка	Глобальные инновации и их влияние на отрасль
Научная значимость	Практическая, прикладная	Техническая, операционная	Экономическая, аналитическая	Инновационная, междисциплинарная
Использование в научных работах	Наиболее популярно	Употребляется в узком контексте	Часто в экономическом анализе	Менее популярно, перспективно
Интерпретация	Сектор = совокупность всех банков	Деятельность = процессы внутри банка	Рынок = взаимодействие и динамика	Индустрия = глобальная экосистема

Примечание. Составлено авторами

Отсюда мы можем выделить преимущества изучения цифровых технологий относительно банковской индустрии, среди которых: широкий охват и комплексный подход; индустриальные тренды и стратегические инновации; влияние на экономику и рынок; междисциплинарный характер исследования; высокий уровень актуальности.

На рис. 1 представим параметры понятия банковской индустрии.

Таким образом, по мнению авторов, банковская индустрия – это комплексная система, включающая совокупность банков и финансовых учреждений, их взаимодействие с клиентами, партнёрами и регулирующими органами, а также экосистема цифровых и традиционных финансовых услуг, охватывающая не только отдельные банки и их внутренние процессы, но и взаимосвязь различных финансовых институтов на глобальном уровне, влияя на макроэкономические процессы и поддерживая устойчивость экономической системы в целом.

С появлением цифровых технологий перед организациями открылись возможности оптимизации банковской индустрии России, которая может быть достигнута путем внедрения передовых технологий, улучшения регуляторной базы, повышения операционной эффективности и ориентированности на потребности клиентов. Ниже, на рис. 2, приведены ключевые направления.

Рассмотрим процесс технологической трансформации, который включает фундаментальное обновление банковской инфраструктуры, бизнес-процессов и моделей управления на основе передовых цифровых решений [Быканова, 2022]. Для углубленного анализа технологической трансформации необходимо изучить ключевые тенденции

цифрового развития банковской индустрии как в России, так и в мире. Он позволяет определить перспективные направления развития, адаптировать лучшие мировые практики и выявить факторы, влияющие на успешность технологической трансформации банков. Результаты представим в виде рис. 3.



Рис. 1. Параметры понятия «банковская индустрия»

Fig. 1. Parameters of the concept of "banking industry"

Примечание. Составлено авторами

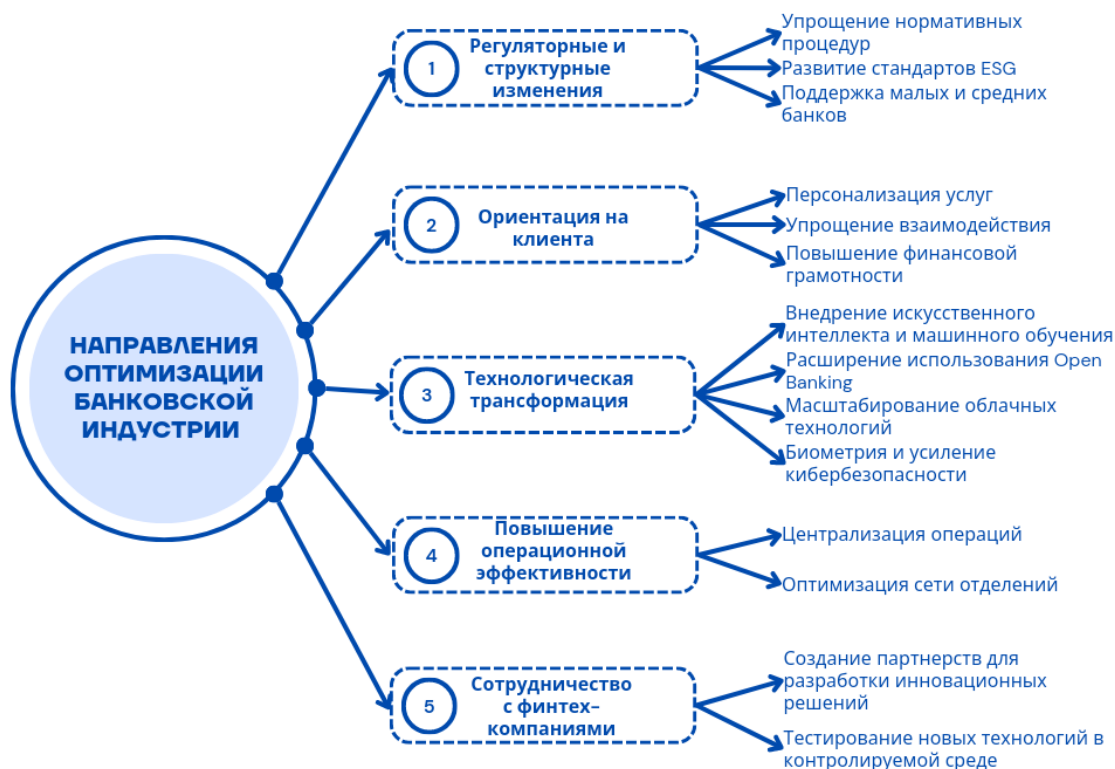


Рис. 2. Ключевые направления оптимизации банковской индустрии России

Fig. 2. Key areas of optimization of the Russian banking industry

Примечание. Составлено авторами

Искусственный интеллект стал одним из ключевых инструментов в банковской индустрии, значительно расширив возможности автоматизации и персонализации. Современные технологии ИИ включают обработку естественного языка (NLP), глубокое обучение (Deep Learning) и алгоритмы машинного обучения (ML), применяемые для анализа больших данных. На основании статистических данных известно, что более 85 % банков в мире используют искусственный интеллект в какой-либо форме [Науменко, 2021]. Объем рынка ИИ в финансовом секторе составляет около 10 млрд долл. по состоянию на 2023 год и прогнозируется рост до 35 млрд долл. к 2030 году.



Рис. 3. Ключевые тренды цифровых технологий банковской индустрии в России и мире

Fig. 3. Key trends of digital technologies of the banking industry in Russia and the world

Примечание. Составлено авторами

Передовыми технологиями ИИ сегодня являются: использование NLP в чат-ботах и голосовых помощниках для взаимодействия с клиентами, например, Erica от Bank of America; прогностическое моделирование для выявления потенциальных финансовых рисков и возможностей, так компания JPMorgan Chase использует ИИ под названием COIN (Contract Intelligence), которая анализирует юридические документы, например, кредитные соглашения, что сокращает время обработки на 360 000 часов в год; системы выявления мошенничества на основе аномалий в данных, HSBC применяет ИИ для предотвращения финансовых преступлений, анализируя до 1 миллиона транзакций ежедневно [Быканова, 2024].

Биометрия сегодня является неким стандартом безопасности в банковской индустрии, вытесняя собой устаревающие пароли и PIN-коды. Биометрические системы основываются на уникальных характеристиках человека: отпечатках пальцев, сканировании лица и голоса. К передовым технологиям биометрии относят: многомодальную биометрию, сочетающую несколько методов аутентификации для повышения точности; технологии бесконтактного распознавания лица, использующие инфракрасные датчики.

Технология блокчейн неизменно входит в топ самых востребованных технологий цифровизации финансового сектора. Она обеспечивает безопасность и простоту обработки банковских транзакций. Актуальными направлениями работы данной технологии

являются: платформы для кросс-границных платежей; смарт-контракты для автоматизации договорных обязательств.

Технология Open Banking меняет подход к созданию банковских услуг, открывая доступ к данным через API и поддерживая интеграцию с финтех-компаниями. Такой вид связей способствует созданию и развитию банковских экосистем. Наиболее актуально сейчас направление использования API для персонализации банковских предложений и платформы для управления личными финансами, интегрирующие данные из нескольких банков. Главной проблемой остается защита данных. Европейские банки, такие как BBVA, успешно реализуют данные технологии в соответствии с директивой безопасности PSD2 [Tilson, Lyytinen, Sorensen, 2021].

Облачные технологии также плотно закрепились в рейтинге наиболее востребованных и перспективных технологий в мире. Они обеспечивают гибкость, масштабируемость и снижение затрат для банковской инфраструктуры. Дальнейшие перспективы развития данной технологии заключаются в применении квантовых вычислений в облачной среде для повышения производительности аналитики и поиске решений для обработки конфиденциальных данных с учетом регуляторных требований.

На этапе тестирования и разработки остаются такие технологии, как квантовые вычисления, виртуальная и дополненная реальность, интернет вещей [Чумак, 2023].

Российская банковская индустрия активно внедряет цифровые технологии, обеспечивая конкурентоспособность на международной арене. Однако развитие некоторых технологий в России ограничено нормативными барьерами и необходимостью модернизации инфраструктуры. Внедрение смарт-контрактов затруднено отсутствием законодательных норм и высокими инвестиционными затратами. Искусственный интеллект широко применяется только крупнейшими банками, способными выделять значительные ресурсы.

Open Banking, несмотря на его высокий потенциал, развивается медленно из-за отсутствия обязательного регулирования, недостатка стандартизации API и опасений по поводу безопасности данных. Кроме того, технологическая база многих банков пока не позволяет реализовать полноценную экосистему открытых финансовых сервисов.

Несмотря на текущие барьеры, перспективы внедрения Open Banking в России весьма высоки. Крупнейшие банки страны уже запустили пилотные проекты частичной концепции Open Banking, они представлены на рис. 4.



Рис. 4. Пилотные проекты Open Banking в России
 Fig. 4. Pilot projects of Open Banking in Russia

Примечание. Составлено авторами

Данные инициативы являются частью общей стратегии по созданию среды открытых API в России, координируемой ЦБ РФ и Ассоциацией ФинТех. Внедрение Open Banking открывает новые возможности для клиентов, позволяя им управлять своими финансами более эффективно, а также способствует развитию инновационных финансовых сервисов и повышению конкуренции на рынке.

Темпы внедрения некоторых передовых технологий в России ниже мировых из-за нормативных ограничений и потребности в модернизации существующей инфраструктуры. Отечественные банки работают в более строгих условиях регулирования, особенно в отношении защиты персональных данных и кибербезопасности, что замедляет внедрение новых технологий, однако способствует созданию надежной и безопасной финансовой системы [Мельникова, Быканова, 2022].

Для оптимизации банковской индустрии России путем внедрения инновационных цифровых технологий в деятельность отечественных банков требуется разработка универсального механизма, представим его на рис. 5.



Рис. 5. Механизм внедрения инновационных цифровых технологий для российских банков

Fig. 5. The mechanism of introducing innovative digital technologies for Russian banks

Примечание. Составлено авторами по материалам

Преимущества предложенного механизма внедрения инновационных технологий для российских банков заключаются в следующих аспектах:

1) механизм учитывает последовательные этапы внедрения технологий, начиная с анализа текущего состояния цифровизации и заканчивая постпроектной оценкой, что позволяет минимизировать риски и повысить управляемость процесса;

2) предложено активное сотрудничество банков с финтех-компаниями, научными институтами, государственными органами и стартапами. Такой подход позволяет использовать передовые разработки и ускорить процесс внедрения инноваций;

3) механизм сочетает элементы классического проектного подхода и Agile-методов управления, что позволяет повысить адаптивность банков к изменениям внешней среды и ускорить разработку решений;

4) разработан этап адаптации зарубежного опыта под специфику российского законодательства, клиентских предпочтений и инфраструктуры. Это снижает вероятность ошибок при копировании зарубежных решений;

5) механизм включает инструменты для регулярной оценки экономического эффекта от внедрения технологий и отслеживания их влияния на ключевые показатели банковской деятельности;

6) включение анализа рисков на всех этапах внедрения, от разработки до эксплуатации, обеспечивает проактивное управление и минимизацию потенциальных угроз, например, кибератак или ошибок интеграции;

7) предложенный механизм рассчитан как на крупные банки, так и на региональные, что делает его универсальным и перспективным для широкого применения.

Последним этапом механизма внедрения инновационных цифровых технологий для российских банков является оценка экономического эффекта. На рис. 6 представлена методология его оценки.



Рис. 6. Методология оценки экономического эффекта от внедрения инновационных цифровых технологий для коммерческих банков России

Fig. 6. Methodology for assessing the economic impact of the introduction of innovative digital technologies for commercial banks in Russia

Примечание. Составлено авторами по материалам

На первом этапе определяются цели оценки и формулируются ее критерии. В нашем случае целью является оценка экономического эффекта внедрения инновационной технологии для банка (например, увеличение доходов, снижение издержек, привлечение клиентов).

Критериями оценки в данном случае выступают:

- финансовые показатели: прирост доходов, снижение издержек, рентабельность инвестиций (ROI);

- нефинансовые показатели: увеличение клиентской базы, улучшение клиентского опыта (NPS), инновационность.

На следующем этапе происходит сбор данных. К ним относятся:

- финансовые данные: затраты на разработку и внедрение, расходы на обучение сотрудников, стоимость ИТ-инфраструктуры;

- операционные данные: уровень автоматизации процессов, количество транзакций;
- рыночные данные: прогноз роста технологии, сравнение с конкурентами.

Далее рассчитываются прямые (доходы и издержки) и косвенные (улучшение клиентского опыта, расширение экосистемы партнеров и создание новых продуктов, повышение конкурентоспособности и снижение оттока клиентов) экономические эффекты.

На этапе оценки сроков окупаемости происходит расчет по заранее выбранным критериям оценки. После чего необходимо построить несколько сценариев (оптимистичного, пессимистичного, базового) развития, а также оценить влияние макроэкономических и рыночных факторов.

Следующий этап – анализ рисков. Здесь необходимо выявить риски регуляторных ограничений, низкой готовности инфраструктуры и недостаточной квалификации сотрудников, для оценки вероятности их реализации и экономических последствий.

На последнем этапе необходимо представление результатов. Происходит сбор информации, ее визуализация, подведение ключевых выводов и разработка рекомендаций.

Эта методология позволяет детально проанализировать как финансовые, так и нефинансовые аспекты внедрения инновационных технологий, формируя основу для принятия стратегических решений.

Заключение

Таким образом, нами систематизированы подходы ученых-экономистов к определению понятия цифровых технологий в банковской индустрии с точки зрения различных сфер охвата. Предложено понятие банковской индустрии, которое предполагает рассмотрение с точки зрения комплексной системы, а также дополнено и расширено понятие цифровых технологий в банковской индустрии. Обоснованы и предложены направления оптимизации банковской индустрии России, среди которых наиболее перспективной мы считаем направление технологической трансформации. Проведенный анализ трендов цифровых технологий выявил сильные и слабые стороны отечественной банковской индустрии. Большие перспективы при этом имеют технологии Open banking, искусственный интеллект и блокчейн. Для внедрения таких технологий нами разработан и предложен универсальный механизм, адаптированный для российской банковской индустрии, а также методология оценки экономического эффекта. Целесообразность разработанного механизма и его оценки заключается в системности, гибкости и адаптивности к условиям российской банковской индустрии, что способствует успешной цифровой трансформации отрасли. Дальнейшая цифровизация банковской индустрии России требует комплексного подхода, включающего совершенствование нормативной базы, стимулирование инновационной активности и модернизацию технологической инфраструктуры. Реализация данных мер обеспечит банкам устойчивое развитие и позволит повысить их конкурентные позиции как на национальном, так и на международном уровне.

Список литературы

- Абдрахманова Г.И. и др. 2022. Цифровая трансформация: ожидания и реальность: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. Рук. авт. кол. П.Б. Рудник; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». Москва, Изд. дом Высшей школы экономики: 221 с.
- Абдрахманова Г.И. и др. 2019. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение: доклад к XX Международной научно-практической конференции по проблемам развития экономики и общества. Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». Москва, Изд. дом Высшей школы экономики: 82 с.
- Амичба А.Л. 2024. Современный рынок банковских услуг: содержание его инфраструктуры. *Теория и практика общественного развития*, 6: 282–284.
- Быканова Н.И. и др. 2024. Перспективные банковские технологии в экономике: уровень развития и приращение маркетинговой функциональности. *KANT*, 2(51): 35–40.

- Быканова Н.И. и др. 2022. Тенденции развития Digital-маркетинга на рынке банковских услуг. *Научный результат. Экономические исследования*, 4: 88–97.
- Вершинина А.В., Орлова Е.Р. 2021. Стратегия цифровизации и реальная российская экономика. *Экономическая наука современной России*, 4: 16–19.
- Волкова А.А. 2019. Цифровая экономика: сущность явления, проблемы и риски формирования и развития. *Управленческое консультирование*, 4: 38–39.
- Дробышевский С., Пашенко С. 2020. Анализ конкуренции в российском банковском секторе. Научные труды Фонда «Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара», 103: 305.
- Крылова О.С. 2018. Понятие банковской деятельности и ее содержание. *Научный журнал*, 34: 54–56.
- Кудрявцева Т.Ю., Кожина, К.С. 2021. Основные понятия цифровизации. *Вестник академии знаний*, 44: 149–150
- Мельникова Н.С., Быканова Н.И. 2022. Реализация продуктов и услуг отечественными государственными банками и проблемы их выбора. Актуальные проблемы развития экономических, финансовых и кредитных систем: сборник материалов X Международной научно-практической конференции (г. Белгород, 15 сентября 2022 года). под науч. ред. О.В. Вагановой, Н.Е. Соловьевой. Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ»: 98–104.
- Науменко И.А. 2021. Цифровизация банков и ее влияние на трансформацию банковской системы России. Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 5569–5571.
- Петрова Л.А., Кузнецова Т.Е. 2022. Цифровизация банковской системы: цифровая трансформация среды и бизнес-процессов. *Финансовый журнал*, 3: 91–101
- Рузина Е.И. 2022. Цифровизация: об определении понятия, о выгодах и рисках цифровой трансформации. *Горизонты экономики*, 5: 96–99.
- Филипова И.А. 2021 Влияние цифровых технологий на труд: ориентиры для трудового права: монография – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского: 106 с.
- Чумак А.Е. 2023. Основные проблемы и перспективы цифровой трансформации российской банковской системы. *Финансовые рынки и банки*, 6: 136–139.
- Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Antunes Marante C. 2021. A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of management studies*, 58(5): 1159–1197.
- Kirillova E.A., Bogdan V.V., Blinkova E.V., Zulfugarzade T., Yunusova K.V. 2021. The Main Features of the Use of Digital Technologies in the Financial and Banking Sector. *WEBOLOGY. Special Issue*: 1326–1341.
- Tilson D., Lyytinen K, Sorensen C. 2021. Research commentary: Digital infrastructures: The missing IS research agenda. *Information Systems Research*, 21: 748–59.
- Zavolokina L., Dolata M., Schwabe G. 2016 The FinTech phenomenon: antecedents of financial innovation perceived by the popular press. *Financial Innovation*, 1: 1–16.

References

- Abdrakhmanova G.I. i dr. 2022. Tsifrovaya transformatsiya: ozhidaniya i real'nost' [Digital transformation: expectations and reality]: dokl. k XXIII Yasinskoy (Aprel'skoy) mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. Ruk. avt. kol. P.B. Rudnik; Nats. issled. un-t "Vysshaya shkola ekonomiki". Moskva, Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki: 221 s.
- Abdrakhmanova G.I. i dr. 2019. Chto takoe tsifrovaya ekonomika? Trendy, kompetentsii, izmerenie [What is the digital economy? Trends, competencies, measurement]: доклад k XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. Nats. issled. un-t "Vysshaya shkola ekonomiki". Moskva, Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki: 82 s.
- Amichba A.L. 2024. Sovremennyy rynek bankovskikh uslug: sodержanie ego infrastruktury [The modern banking services market: the maintenance of its infrastructure]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*, 6: 282–284.
- Bykanova N.I. i dr. 2024 Perspektivnye bankovskie tekhnologii v ekonomike: uroven' razvitiya i prirashchenie marketingovoy funktsional'nosti [Promising banking technologies in the economy: the level of development and increment of marketing functionality]. *KANT*, 2(51): 35–40.
- Bykanova N.I. i dr. 2022. Tendentsii razvitiya Digital-marketinga na rynke bankovskikh uslug [Trends in the development of Digital marketing in the banking services market]. *Nauchnyy rezul'tat. Ekonomicheskie issledovaniya*, 4: 88–97.

- Vershinina A.V., Orlova E.R. 2021. Strategiya tsifrovizatsii i real'naya rossiyskaya ekonomika [Digitalization strategy and the real Russian economy]. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii*, 4: 16–19.
- Volkova A.A. 2019. Tsifrovaya ekonomika: sushchnost' yavleniya, problemy i riski formirovaniya i razvitiya [Digital economy: the essence of the phenomenon, problems and risks of formation and development]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*, 4: 38–39.
- Drobyshevskiy S., Pashchenko S. 2020. Analiz konkurentsii v rossiyskom bankovskom sektore [Analysis of competition in the Russian banking sector]. Nauchnye trudy Fonda "Institut ekonomicheskoy politiki im. E. T. Gaydara" [Scientific works of the E. T. Gaidar Institute of Economic Policy Foundation], 103: 305.
- Krylova O.S. 2018. Ponyatie bankovskoy deyatel'nosti i ee sodержание [The concept of banking and its content]. *Nauchnyy zhurnal*, 34: 54–56.
- Kudryavtseva T.Yu., Kozhina, K.S. 2021. Osnovnye ponyatiya tsifrovizatsii [Basic concepts of digitalization]. *Vestnik akademii znaniy*, 44: 149–150.
- Mel'nikova N.S., Bykanova N.I. 2022. Realizatsiya produktov i uslug otechestvennymi gosudarstvennymi bankami i problemy ikh vybora [Sales of products and services by domestic state-owned banks and the problems of their choice]. Aktual'nye problemy razvitiya ekonomicheskikh, finansovykh i kreditnykh sistem: sbornik materialov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Belgorod, 15 sentyabrya 2022 goda). pod nauch. red. O.V. Vaganovoy, N.E. Solov'evoy. Belgorod: ID "BelGU" NIU "BelGU": 98–104.
- Naumenko I.A. 2021. Tsifrovizatsiya bankov i ee vliyanie na transformatsiyu bankovskoy sistemy Rossii [Digitalization of banks and its impact on the transformation of the Russian banking system]. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova. Belgorod, 5569–5571.
- Petrova L.A., Kuznetsova T.E. 2022. Tsifrovizatsiya bankovskoy sistemy: tsifrovaya transformatsiya sredy i biznes-protsessov [Digitalization of the banking system: digital transformation of the environment and business processes]. *Finansovyy zhurnal*, 3: 91–101
- Ruzina E.I. 2022. Tsifrovizatsiya: ob opredelenii ponyatiya, o vygodakh i riskakh tsifrovoy transformatsii [Digitalization: the definition of the concept, the benefits and risks of digital transformation]. *Gorizonty ekonomiki*, 5: 96–99.
- Filipova I.A. 2021. Vliyanie tsifrovyykh tekhnologiy na trud: orientiry dlya trudovogo prava [The impact of digital technologies on labor: guidelines for labor law]: monografiya – Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy universitet im. N.I. Lobachevskogo: 106 s.
- Chumak, A.E. 2023. Osnovnye problemy i perspektivy tsifrovoy transformatsii rossiyskoy bankovskoy sistemy [The main problems and prospects of digital transformation of the Russian banking system]. *Finansovye rynki i banki*, 6: 136–139.
- Hanelt A., Bohnsack R., Marz D., Antunes Marante C. 2021. A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of management studies*, 58(5): 1159–1197.
- Kirillova E.A., Bogdan V.V., Blinkova E.V., Zulfugarzade T., Yunusova K.V. 2021. The Main Features of the Use of Digital Technologies in the Financial and Banking Sector. *WEBLOGY. Special Issue*: 1326–1341.19.
- Tilson D., Lyytinen K, Sorensen C. 2021. Research commentary: Digital infrastructures: The missing IS research agenda. *Information Systems Research*, 21: 748–59.
- Zavolokina L., Dolata M., Schwabe G. 2016 The FinTech phenomenon: antecedents of financial innovation perceived by the popular press. *Financial Innovation*, 1: 1–16.

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 27.12.2024
Поступила после рецензирования 20.01.2025
Принята к публикации 31.01.2025

Received December 27, 2024
Revised January 20, 2025
Accepted January 31, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Наumenko Ирина Александровна, магистрант кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina A. Naumenko, Master's student of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК: 004.31

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-137-144

Построение геометрической модели изделия на основе мультимодальной обработки бумажной конструкторской документации

Басов О.О., Носков Д.А.

Акционерное общество «АСТ», пер. Капранова, 3, стр. 2, Москва, 123242, Россия
o.basov@acti.ru

Аннотация. В работе предложено решение задачи построения геометрической (3D) модели изделия на основе его чертежа, представленного в виде конструкторской документации на бумажном носителе. Для выделения проекций изделия (детали) использован ранее разработанный нейросетевой подход. В настоящем исследовании геометрическая модель детали формируется из облака точек, построенных в рамках масок проекций, генерируемых с использованием нейронной сети. Для определения масок использовалась модель YOLOv8, а достигаемая ею точность составила более 90 % по метрике mAP. Особенности примененного подхода к построению геометрической модели детали являются использование информации об элементах вращения (в частности, радиусов округлых частей детали), а также применение алгоритма корректировки центра вращения. Рассмотрен сквозной пример, демонстрирующий перспективность выбранного подхода к построению геометрических моделей на основе скалярных изображений чертежей деталей и изделий.

Ключевые слова: конструкторская документация, чертеж, изделие, цифровой двойник, аннотированная геометрическая модель

Для цитирования: Басов О.О., Носков Д.А. 2025. Построение геометрической модели изделия на основе мультимодальной обработки бумажной конструкторской документации. *Экономика. Информатика*, 52(1): 137–144. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-137-144

Construction of a Geometric Model of a Product Based on Multimodal Processing of Paper Design Documentation

Oleg O. Basov, Dmitry A. Noskov

Joint Stock Company «AST», building 2, 3 Kapranov Ln, Moscow 123242, Russia
o.basov@acti.ru

Abstract. The paper proposes a solution to the problem of constructing a geometric (3D) model of a product based on its drawing, presented in the form of design documentation on paper. A previously developed neural network approach was used to highlight the projections of the product (part). In this study, the geometric model of the part is formed from a point cloud constructed within the projection masks generated using a neural network. The YOLOv8 model was used to determine the masks, and the accuracy it achieved was more than 90 % according to the mAP metric. The features of the applied approach to constructing the geometric model of the part include the use of information about the elements of rotation (in particular, the radii of the rounded parts of the part), as well as the application of an algorithm for adjusting the center of

© Басов О.О., Носков Д.А., 2025

rotation. An end-to-end example is considered, demonstrating the prospects of the chosen approach to constructing geometric models based on scalar images of drawings of parts and products. The authors suggest the following areas of further research that ensure increased accuracy of detailing of geometric models: (1) additional training of the model for constructing part masks with the addition of new classes; (2) accumulation and use of information on frequently used elements of drawings; (3) combination of an approach to geometric modeling of a part/product based on the application of generative neural networks to the obtained parameters of simple and complex primitives.

Keywords: design documentation, drawing, product, digital twin, annotated geometric model

For citation: Basov O.O., Noskov D.A. 2025. Construction of a Geometric Model of a Product Based on Multimodal Processing of Paper Design Documentation. *Economics. Information technologies*, 52(1): 137–144 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-137-144

Введение

В условиях интенсификации цифровизации промышленности особую актуальность приобретает процесс создания и развития цифровых моделей деталей и изделий. Требуется разработка цифровых двойников деталей и изделий для различных отраслей и областей применений.

Под цифровым двойником, как правило, понимают виртуальную модель, которая на различных уровнях описывает реально существующий объект (изделие, деталь и т. д.) и при тестировании (использовании) которой получается информация, которая получалась бы при физическом взаимодействии с реальным объектом [Анализ размера и доли рынка...].

Конструкторская документация, поступающая к технологу, может иметь различные недостатки и ошибки, и если они выявляются только на стадии производства, то это приводит к тому, что затраты на ее исправления возрастают на порядок. Переход от двухмерного проектирования к моделированию цифровых двойников открывает для любого производства уникальные возможности для совершенствования конструкторской и технологической подготовки производства, прежде всего заключающиеся в многократном улучшении точности обработки поверхностей и сокращении времени создания управляющих программ для инструментов производства (например, станков ЧПУ), а также позволяет повысить технологичность производства, выявляя неэффективную обработку или целые операции с помощью визуализации [Басов, Демин, Носков, 2024].

В качестве исходной информации для генерации траекторий движения инструментов используется геометрическая модель изделия, которая может быть синтезирована в CAD (CAM, CAE) системе или импортирована из других систем геометрического моделирования. Все это применимо, если производство работает в едином продукте CAD/CAM/CAE, который обеспечивает взаимодействие с различными форматами и расширениями файлов, а изделия «с нуля» проектируются в нём. Между тем предприятия различных отраслей имеют значительные объёмы бумажных архивов конструкторской документации на выпускаемую номенклатуру продукции. Простое сканирование чертежей изделий, элементов деталей и сборочных единиц не даёт «цифровым копиям» всех преимуществ цифровых двойников [Прохоров, Лысачев, 2020].

Несмотря на значительное число решений, обеспечивающих возможность преобразования отсканированных изображений чертежей в векторные изображения в ручном или полуавтоматическом режиме, вопрос автоматического (или хотя бы автоматизированного) построения геометрических (3D) моделей до сих пор остаётся открытым. До сих пор этот процесс осуществляется в ручном режиме собственными силами подразделений предприятия (с использованием высококвалифицированных инженеров-конструкторов) или специализированными компаниями (через аутсорсинг).

Однако и такие геометрические модели не являются цифровыми двойниками, даже типа DTI (Digital Twin Instance), поскольку не содержат аннотации, сведений о материалах

и компонентах изделия, информации о рабочих процессах, итогов тестов и пр. [Demchenko, Bagramshina, Gromov, 2020]

Обогащение цифровых двойников типа DTI указанными данными возможно на основе спецификаций изделий и их описаний, содержащихся в конструкторской документации на бумажном носителе [Макарова, Лагереv, 2022]. Такие данные в основном являются слабоструктурированными (исключение – спецификации), что значительно усложняет процесс построения цифровых моделей.

Очевидно, что в описанных условиях своевременной и злободневной является задача разработки платформы построения цифровых двойников на основе мультимодальной обработки бумажной конструкторской документации. Обработка изображений чертежей, полученных в различных спектральных диапазонах, и их итерационная структурированная параметризация (векторизация) обеспечат создание высокоточных геометрических моделей изделий, а совместная обработка полученных векторных представлений изделий и их описания, содержащегося в конструкторской документации, обогатят модели необходимыми данными для моделирования цифровых двойников. Разработка изделий и продукции на основе технологии цифрового двойника в сравнении с традиционными подходами позволяет обеспечивать снижение временных, финансовых затрат в разы, в некоторых случаях – в 10 и более раз ¹.

Разработка платформы построения цифровых двойников на основе мультимодальной обработки бумажной конструкторской документации

Для построения цифровых двойников DTI по конструкторской документации, представленной на бумажном носителе, предполагается итерационная обработка отсканированных изображений конструкторской документации, включающая следующие шаги:

1) предобработка, включающая в себя улучшение качества изображения, ухудшение которого вызвано как старением бумажного носителя (ветхость, потертости, изменение цветности резкости/четкости, читаемости надписей, пограничные переходы в местах сгиба чертежей и др.) в процессе хранения и использования конструкторской документации, так и артефактами, возникшими при сканировании (засветка/затемнение отдельных областей, наличие полос и т. д.);

2) определение вида документа конструкторской документации (графический или текстовый);

3) детектирование элементов на графическом документе (рамка, основная надпись, спецификация, основные элементы чертежа детали/изделия) и определение его вида (чертеж детали, сборочный чертёж, габаритный чертеж и т. д.);

4) поиск и распознавание текста на чертежах, разделение его на размерные числа и надписи;

5) поиск размерных и выносных линий;

6) векторизация размерных чисел, размерных и выносных линий;

7) параметризация надписей;

8) итерационный поиск и параметризация простых (линии, кривые, окружности) и сложных (часто используемые элементы чертежей отверстия, фаски, зубья, шлицы, шестерни и т. д.) примитивов, описывающих чертеж детали/изделия;

9) геометрическое моделирование детали/изделия на основе двух подходов к геометрическому моделированию: граничного-кусочно-аналитического описания объекта на основе параметров простых примитивов [Климентьев, Свирский, 2006] и конструктивной геометрии, осуществляющего построение модели с помощью регуляризованных булевых операций на базе сложных примитивов;

10) распознавание (OCR) текстовых документов конструкторской документации;

¹ https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/28/cifrovoy_dvoynik.pdf

11) сопоставление надписей на чертежах и информации текстовых документов, аннотирование геометрической модели;

12) обработка текстовой документации и обогащение цифрового двойника DTI.

Указанная последовательность шагов обеспечивает полную автоматизацию всего процесса создания цифрового двойника, что не обеспечивается имеющимися решениями даже при их последовательном применении.

Реализация шагов 2–8 описана в предыдущей работе авторов [Басов, Демин, Носков, 2024], ниже рассмотрен подход к построению геометрической модели детали на основе сквозного примера (рис. 1).

Геометрическое моделирование детали

Процесс геометрического моделирования детали на основе её проекций (рис. 1), полученных в результате работы модели детектирования элементов на графическом документе, представлен на рисунке 2.

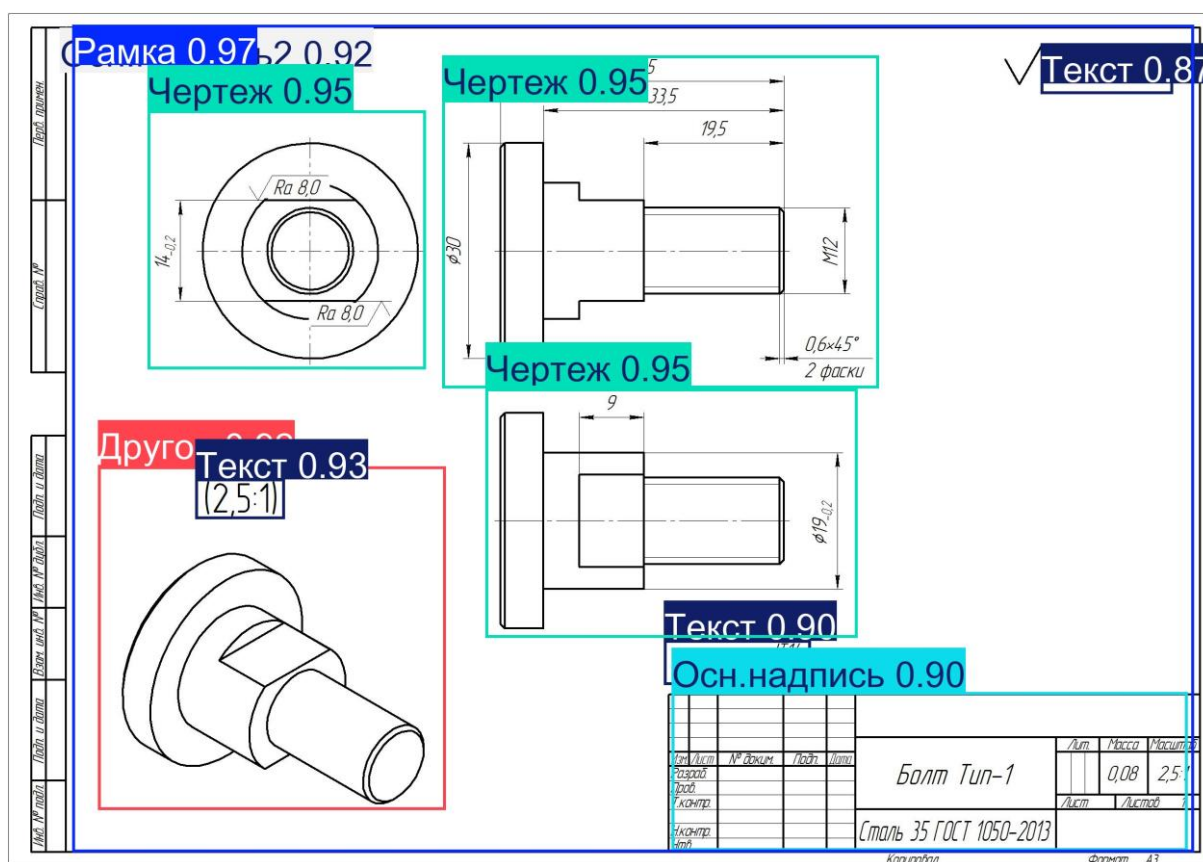


Рис. 1. Исходное, разделенное на элементы изображение чертежей детали

Fig. 1. Part drawing: original image divided into elements

Выделенный фрагмент отличается тем, что на каждой части чертежа сама деталь выделена более жирными линиями, а размерные – более тонкие. По границам детали выделяется маска, которая дает возможность убирать ненужные для построения 3D модели детали, такие как размерные линии, надписи и другие части чертежей.

Определение масок производилось моделью YOLOv8 с задачей сегментации изображения. Модель отличается более высокой восприимчивостью на малых датасетах на несложных задачах с малым количеством классов, чем не могут похвастаться другие модели для сегментации, которые требуют больших наборов данных для обучения. Из выделенных частей чертежа был сформирован датасет, где на вход подавалось изображение, а на выходе получалась маска из двух классов: фон и деталь. Общая точность

после завершения обучения получилась более 90 % (рис. 3) по метрике mAP. Результатом будут маски, копирующие часть чертежа, но уже в бинарном виде, где 0 – пустое пространство, а 1 – присутствие детали (рис. 4), но они содержат поля, которые не содержат активные пиксели, и эти поля нужно удалить (рис. 5).

Посредством выделения маски детали (совокупности пикселей изображения проекции, принадлежащих детали) из частей чертежа, относящихся к изображениям детали, определяются её проекции (рис. 6), а на основе них строятся множества точек, соответствующие силуэтам [Мсаллам, Сырямкин, 2023].

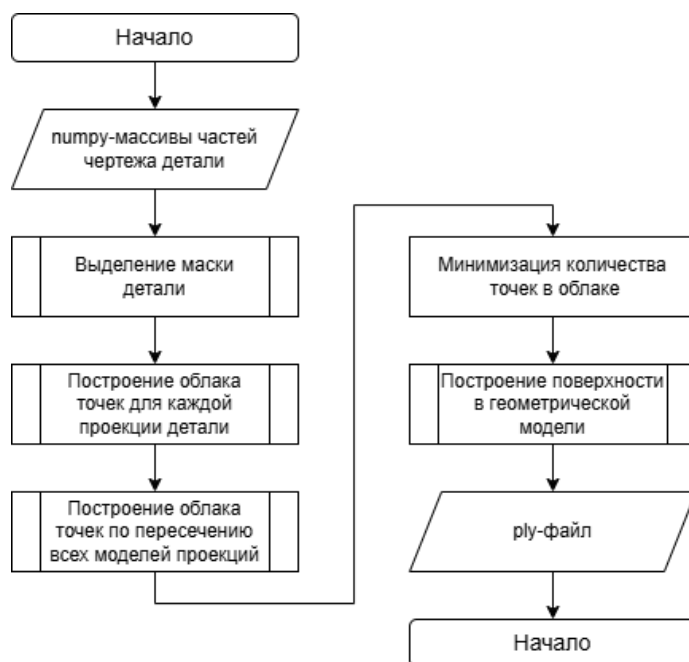


Рис. 2. Обобщенный алгоритм построения геометрической модели детали на основе ее проекций

Fig. 2. Generalized algorithm for constructing a geometric model of a part based on its projections

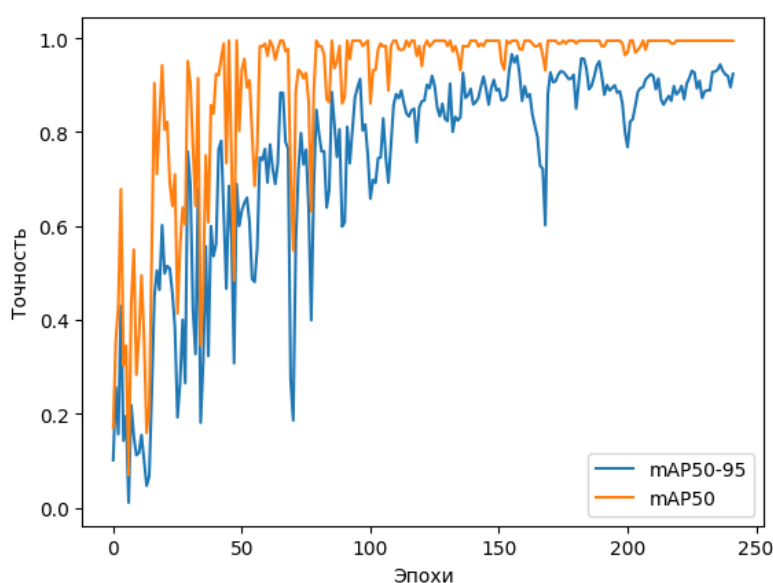


Рис. 3. График обучения модели

Fig. 3. Learning model graph

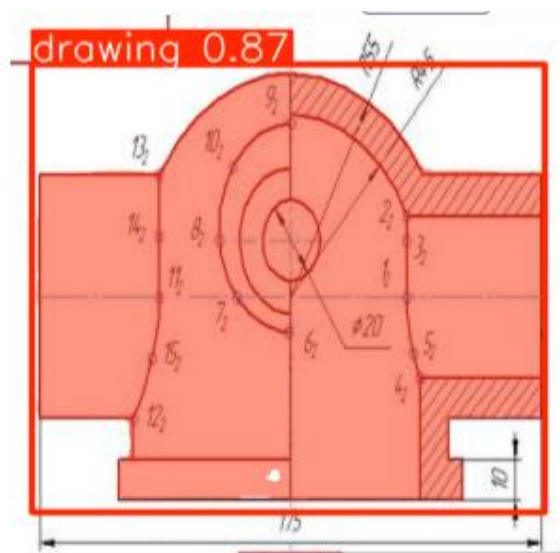


Рис. 4. Результат работы модели
Fig. 4. Result model



Рис. 5. Полученные маски
Fig. 5. Result masks



Рис. 6. Маски детали
Fig. 6. Masks details

На пересечении всех множеств точек, построенных по силуэтам, образуется геометрическая модель детали, представленная облаком точек (рис. 7, а). Затем путем оставления только минимальных и максимальных значений по каждой оси удаляются все внутренние точки облака. По оставшимся точкам на основе фигур строится поверхность (рис. 7, б).

Особенностями применённого подхода к построению геометрической модели детали являются использование информации об элементах вращения (в частности, радиусов округлых частей детали), а также применение алгоритма корректировки центра вращения.

Маски, получаемые с помощью нейронной сети, могут получиться немного сдвинутыми относительно центра вращения детали. Из-за неточности определения масок возможно несовпадение их центров, в результате чего появляется «подрезание» детали (незавершение построения её частей). Для компенсации данного недостатка разработан алгоритм корректировки, сдвигающий все координаты точек радиуса на несколько пикселей влево, вправо, вверх и вниз, подсчитывающий совпадающие точки между тремя геометрическими моделями с получением коэффициента IoU и выбирающий те координаты, у которых полученный коэффициент максимальный.

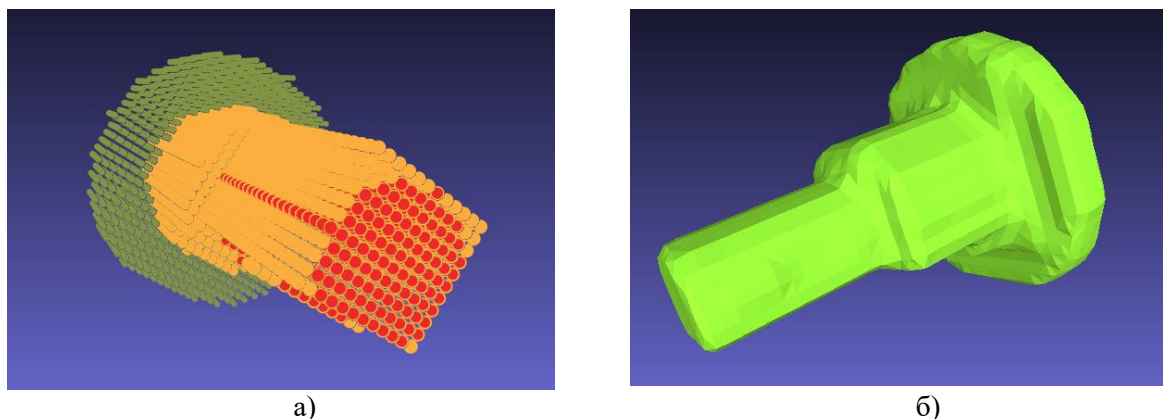


Рис. 7. Результаты построения геометрической модели с использованием сгенерированных масок и значений размеров детали
Fig. 7. Results of constructing a geometric model using generated masks and part size values

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности выбранного подхода к построению геометрических моделей на основе скалярных изображений чертежей деталей и изделий.

В качестве направлений дальнейшего исследования, обеспечивающих повышение точности детализации геометрических моделей, рассматриваются:

- 1) дообучение модели построения масок деталей с добавлением новых классов;
- 2) накопление и использование информации о часто используемых элементах чертежей;
- 3) комбинирование подхода к геометрическому моделированию детали/изделия, основанному на применении генеративных нейронных сетей к полученным параметрам простых и сложных примитивов.

Список литературы

- Анализ размера и доли рынка цифровых двойников – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/digital-twin-market> (дата обращения: 15.01.2025 г.)
- Басов О.О., Демин О.Д., Носков Д.А. 2024. Подход к векторизации чертежей конструкторской документации на бумажном носителе. *Научный результат. Информационные технологии*. 9(3): 55–62. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-3-0-6, URL: <https://rriinformation.ru/journal/annotation/3560/>.
- Климентьев А.Л., Свирский Д.Н. 2006. Дискретное моделирование формообразования фасонных деталей. *Вестник ВГТУ*, 11: 74–78.
- Макарова Е.А., Лагерева Д.Г. 2022. Модель обработки слабоструктурированных текстовых данных на русском языке для интеллектуальной поддержки информационного управления в динамических организационных системах. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 3: 104–125. doi:10.21685/2227-8486-2022-3-7
- Модели семейства YOLO [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.ultralytics.com/> (дата обращения: 15.01.2025 г.)
- Мсаллам М., Сырякин В.И. 2023. Методика регистрации 3D облаков точек с использованием коррекции плоскостей и корреляции гистограмм. *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 1(61): 73–89.
- Прохоров А., Лысачев М. 2020. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. М.: ООО «АльянсПринт», 401 с.



- YOLO Показатели производительности [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/guides/yolo-performance-metrics/#engage-with-the-broader-community> (дата обращения: 15.01.2025 г.)
- Demchenko D., Bagramshina V., Gromov A. 2020. Digital Twin Technology. 10.13140/RG.2.2.11556.30087.
- Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // arxiv.org [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1506.02640> (дата обращения: 15.01.2025 г.)

References

- Analysis of the size and market share of digital twins — growth trends and forecasts (2024-2029) [electronic resource]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/digital-twin-market>. (date accessed: 15.01.2025)
- Basov O.O., Demin O.D., Noskov D.A. 2024. Approach to vectorization of design documentation drawings on paper. *Research Result. Information Technologies*. 9(3): 55–62 (in Russian). DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-3-0-6, URL: <https://rrinformation.ru/journal/annotation/3560/>.
- Klimentyev A.L., Svirsky D.N. 2006. Discrete modeling of the shaping of shaped parts. *Vestnik VSTU*, 11: 74–78 (in Russian).
- Makarova E.A., Lagerev D.G. 2022. Model for processing weakly structured text data in Russian for intelligent support of information management in dynamic organizational systems. *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 3: 104–125 (in Russian). doi:10.21685/2227-8486-2022-3-7
- YOLO's models [electronic resource]. URL: <https://docs.ultralytics.com/> (date accessed: 15.01.2025)
- Msallam M., Syryamkin V.I. 2023. Methodology for registering 3D point clouds using plane correction and histogram correlation. *Caspian Journal: Management and High Technologies*, 1(61): 73–89 (in Russian).
- Prokhorov A., Lysachev M. 2020. Digital twin. Analysis, trends, world experience. First edition, corrected and expanded. – M.: AlliancePrint LLC, 401 pp.
- YOLO Performance Metrics [electronic resource]. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/guides/yolo-performance-metrics/#engage-with-the-broader-community> (date accessed: 15.01.2025 г.)
- Demchenko D., Bagramshina V., Gromov A. 2020. Digital Twin Technology. 10.13140/RG.2.2.11556.30087.
- Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // arxiv.org [electronic resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1506.02640> (date accessed: 15.01.2025)

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 15.01.2025

Received January 15, 2025

Поступила после рецензирования 28.02.2025

Revised February 28, 2025

Принята к публикации 04.03.2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Басов Олег Олегович, доктор технических наук, доцент, руководитель центра искусственного интеллекта, Акционерное общество «АСТ», г. Москва, Россия

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Artificial Intelligence Center, Joint Stock Company «AST», Moscow, Russia

Носков Дмитрий Александрович, разработчик направления информационно-аналитических систем, Акционерное общество «АСТ», г. Москва, Россия

Dmitry A. Noskov, Developer of Information and Analytical Systems, Joint Stock Company «AST», Moscow, Russia

УДК: 004.942

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-145-155

Основы обработки сигналов в рамках субполосных представлений

¹Бабаринов С.Л., ²Жиляков Е.Г., ²Прохоренко Е.И., ²Чурсин Д.С.

¹ООО Энтрап, Группа Компаний «Русская Энергия», управление ИТ инфраструктуры
Россия, 119270, Москва, Лужнецкая набережная, 2/4 стр. 4

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
s.babarinov@rusenergygroup.ru, zhilyakov@bsuedu.ru

Аннотация. В рамках данной работы расширен арсенал математического аппарата цифровой обработки сигналов на основе субполосных представлений, на основе понятия части энергии сигнала, попадающей в заданную субполосу. Субполосные представления имеют существенное значение в задачах разработки цифровых методов частотной фильтрации, сжатия с потерями звуковых сигналов и изображений, процедур анализа и синтеза сигналов при передаче информации. Сформулированы критерии оптимизации решений ряда задач субполосной обработки сигналов и получены соответствующие вычислительные соотношения. Показано, что многие содержательные задачи обработки сигналов могут быть эффективно решены на основе субполосных представлений. Для решения многих содержательных задач обработки сигналов предлагается применять математический аппарат, в основе которого используются ортонормальные базисы собственных векторов субполосных матриц. Рассмотрены примеры конкретных задач обработки сигналов на основе субполосных представлений, таких как оптимальная линейная субполосная фильтрация сигналов, субполосное сжатие сигналов с потерями, оценивание субполосной близости двух сигналов на основе субполосной меры, сопоставление сигналов на основе меры субполосного подобия.

Ключевые слова: обработка сигналов, субполосные представления, математические основы, цифровая фильтрация, сжатие с потерями

Для цитирования: Бабаринов С.Л., Жиляков Е.Г., Прохоренко Е.И., Чурсин Д.С. 2025. Основы обработки сигналов в рамках субполосных представлений. *Экономика. Информатика*, 52(1): 145–155. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-145-155

Fundamentals of Signal Processing within the Framework of Subband Representations

¹Sergey L. Babarinov, ²Evgeniy G. Zhilyakov, ²Ekaterina I. Prokhorenko,
²Dmitry S. Chursin

¹Entrar LLC, Russian Energy Group of Companies, IT infrastructure management
building 4, 2/4 Luzhnetskaya Qy, Moscow 119270, Russia

²Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
s.babarinov@rusenergygroup.ru, zhilyakov@bsuedu.ru

Abstract. In this work, the arsenal of mathematical apparatus of digital signal processing based on subband representations is expanded, established on the concept of a part of the signal energy falling into a given subband. Subband representations are of significant importance in the problems of developing digital methods of frequency filtering, lossy compression of audio signals and images, procedures for analyzing and synthesizing signals during information transmission. The authors formulate criteria for optimizing solutions to a number of subband signal processing problems and obtain corresponding computational relationships.

It is shown that a number of meaningful signal processing problems can be effectively solved based on subband representations. To solve many meaningful signal processing problems, it is proposed to use a mathematical apparatus based on orthonormal bases of eigenvectors of subband matrices. Examples of specific problems of signal processing based on subband representations are considered, such as optimal linear subband filtering of signals, subband compression of signals with losses, estimation of subband proximity of two signals based on a subband measure, and matching of signals based on a subband similarity measure.

Keywords: signal processing, subband representations, mathematical foundations, digital filtering, lossy compression

For citation: Babarinov S.L., Zhilyakov E.G., Prokhorenko E.I., Chursin D.S. 2025. Fundamentals of Signal Processing within the Framework of Subband Representations. *Economics. Information technologies*, 52(1): 145–155 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-145-155

Введение

Сигналами будем называть вещественные функции некоторого аргумента, например, времени, $x(t)$, количественные значения которых отражают поведение определенного параметра регистрируемого процесса, представляющего интерес с позиций исследования свойств генерирующего сигнал объекта. Иными словами, рассматриваемые в данной работе сигналы являются эмпирическими данными с априори (за некоторым исключением) неизвестными характеристиками, соответствующими условиям физической реализуемости процедур генерации и регистрации их значений, прежде всего, непрерывности, ограниченности интервала времени регистрации T и квадрата евклидовой нормы, в дальнейшем называемой энергией

$$\|x\|^2 = \int_0^T x^2(t) dt < \infty. \quad (1)$$

Кроме того, современная количественная регистрация эмпирических данных предполагает использование аналого-цифровых преобразователей (АЦП), что приводит к дискретизации аргумента и квантованию по уровню амплитуды. Искажения амплитуды за счет квантования по уровню принято называть шумами квантования, влиянием которых при использовании многоразрядных АЦП можно пренебречь.

В большинстве случаев используется эквидистантная дискретизация, что приводит к необходимости анализа свойств исследуемых процессов на основе обработки векторов (последовательности) отсчетов

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)', \quad (2)$$

где штрих означает транспонирование и имеются в виду обозначения

$$x_k = x((k-1)\Delta t), k = 1, \dots, N; N\Delta t \leq T; \quad (3)$$

Δt – интервал (шаг) дискретизации по времени.

Легко понять, что следствием свойства (1) является ограниченность энергии (квадрата евклидовой нормы) вектора отсчетов

$$\|\vec{x}\|^2 = \sum_{k=1}^N x_k^2 < \infty.$$

Ясно, однако, что для адекватных выводов при обработке отсчетов необходимо обеспечить сохранение соответствующей информативности о свойствах непрерывных сигналов в последовательности их дискретных отсчетов (3). Ввиду того, что эквидистантная дискретизация по времени представляет собой периодический процесс, адекватной основой исследования этой проблемы служат частотные представления как самих сигналов, так и их дискретных отсчетов. Центральными понятиями частотных представлений являются трансформанты Фурье (спектры) непрерывных сигналов [Хургин, Яковлев, 1971]

$$X(z) = \int_0^T x(t) \exp(-jzt) dt$$

и его соответствующих отсчетов [Рабинер, Голд, 1978]

$$X_o(z) = \sum_{k=1}^N x_k \exp(-jz(k-1)\Delta t), \quad (4)$$

где $j = (-1)^{1/2}$; $z = 2\pi\nu$ – круговая частота; ν – частота в герцах.

Так как справедливы однозначные обратные преобразования Фурье

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(z) \exp(jzt) dz / 2\pi, \quad (5)$$

$$x_k = \Delta t \int_{-\pi/\Delta t}^{\pi/\Delta t} X_o(z) \exp(jz(k-1)\Delta t) dz / 2\pi, \quad (6)$$

то для описания искажений информации о непрерывном сигнале за счет дискретизации можно воспользоваться соотношением между соответствующими спектрами [Рабинер, Голд, 1978]

$$X_o(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(z + 2\pi / \Delta t). \quad (7)$$

Отсюда следует условие отсутствия отличий в спектрах непрерывного сигнала и последовательности его эквидистантных отсчетов

$$X(z) \equiv 0, z \notin [-\pi / \Delta t, \pi / \Delta t]. \quad (8)$$

Это условие может быть выполнено только при неограниченном времени регистрации отсчетов сигнала, о чем говорит так называемое соотношение неопределенности [Хургин, Яковлев, 1971].

Следствием справедливости условия (8) из соотношения (5) нетрудно получить точную интерполяционную формулу (2)

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k \sin(\pi / \Delta t(t - k\Delta t)) / \pi. \quad (9)$$

Таким образом, соотношение (8) является необходимым и достаточным условием сохранения в дискретной последовательности отсчетов полной информации о непрерывном сигнале.

Легко видеть, что условие (8) делит всю область определения спектров на две части, которые естественно называть субполосами. Поэтому соотношения (7)–(9) естественно считать элементами математического аппарата обработки сигналов на основе субполосных представлений, то есть с позиций разбиения полосы частот на некоторые субполосы.

В качестве другого важного примера использования субполосных представлений при обработке сигналов можно привести применение интерполяционной формулы вида (9) в случае конечного числа отсчетов, которую принято [Басараб и др., 2004] называть формулой Уиттекера – Котельникова – Шеннона

$$\hat{x}(t) = \Delta t \sum_{k=1}^N x_k \sin(\pi(t - (k-1)\Delta t) / \Delta t) / (\pi(t - (k-1)\Delta t)). \quad (10)$$

Легко показать, что спектр правой части интерполяционной функции (10) удовлетворяет неравенству (8), то есть является полосовым.

Ясно, что при этом информация о непрерывном сигнале сохраняется только частично, но для многих решаемых задач этого бывает достаточно.

Субполосные представления имеют также существенное значение в задачах разработки математического аппарата цифровых методов частотной фильтрации, сжатия с потерями звуковых сигналов и изображений, процедур анализа и синтеза сигналов при передаче информации и т. д. [Витязев, 2023].

В рамках данной работы на основе понятия части энергии сигнала, попадающей в заданную субполосу, расширен арсенал математического аппарата цифровой обработки сигналов на основе субполосных представлений.

Существенное значение имеет то обстоятельство, что применение предлагаемого математического аппарата реализуется на основе использования полученного ортонормального базиса, позволяющего адекватно отразить субполосные свойства векторов без вычисления трансформант Фурье.

Субполосные базисы линейного пространства векторов

В дальнейшем без нарушения общности выводов предполагается, что в рамках соответствующей размерности аргумента интервал дискретизации равен единице, а круговая частота является соответствующим образом нормированной. При этом индекс при обозначении спектра дискретизированного сигнала опущен.

Одним из основных соотношений теории фурье-анализа сигналов является равенство Парсеваля [Хургин, Яковлев, 1971], которое для дискретных последовательностей при оговоренных выше условиях можно представить в следующем виде

$$\|\vec{x}\|^2 = \sum_{r=1}^R P_r(\vec{x}), \quad (11)$$

где

$$P_r(\vec{x}) = \int_{z \in Z_r} |X_\phi(z)|^2 dz / 2\pi; \quad (12)$$

$$Z_r = [-Z_{2r}, -Z_{1r}] \cup [Z_{1r}, Z_{2r}], r = 1, \dots, R; \quad (13)$$

$$Z_{11} = 0; Z_{2R} = \pi; Z_{1,i+1} = Z_{2i}, i = 1, \dots, R-1. \quad (14)$$

Представляется естественным характеристики вида (12) называть частями энергии, попадающими в симметричные относительно начала координат субполосы вида (13).

При подстановке в (12) представления (4) получаем квадратичную форму

$$P_r(\vec{x}) = \vec{x}' A_r \vec{x},$$

где $A_r = \{a_{ik}^r\}, i, k = 1, \dots, k$ – субполосная матрица с элементами следующего вида

$$a_{ik}^r = \int_{z \in Z_r} \exp(-jz(i-k)) dz / 2\pi = (\sin(Z_{2r}(i-k)) - \sin(Z_{1r}(i-k))) / \pi(i-k), \quad (15)$$

$$a_{ii}^r = (Z_{2r} - Z_{1r}) / \pi. \quad (16)$$

Непосредственно из определения (12) следует, что субполосные матрицы являются неотрицательно определенными, а симметрия позволяет получить представление [Васюков и др., 2021]

$$A_r = Q_r L_r Q_r', \quad (17)$$

где $Q_r = \{\vec{q}_1^r \dots \vec{q}_N^r\}$ – матрица собственных векторов, а $L_r = \text{diag}(\lambda_1^r, \dots, \lambda_N^r)$ – диагональная матрица неотрицательных собственных чисел, упорядоченных по убыванию

$$\lambda_k^r \geq \lambda_{k+1}^r \geq 0, k = 1, \dots, N-1.$$

Так как матрицы собственных векторов являются ортогональными

$$Q_r Q_r' = Q_r' Q_r = \text{diag}(1, \dots, 1),$$

то совокупность собственных векторов может служить полным базисом для линейного пространства вещественных векторов соответствующей размерности, то есть справедливы представления

$$\vec{x} = \sum_{k=1}^N \alpha_k^r \vec{q}_k^r,$$

где имеются в виду соответствующие проекции (скалярные произведения)

$$\alpha_k^r = (\vec{x}, \vec{q}_k^r) = \sum_{i=1}^N x_i q_{ik}^r. \quad (18)$$

Непосредственно из определения собственных векторов и чисел

$$\lambda_k^r q_{ik}^r = \sum_{n=1}^N a_{in}^r q_{nk}^r,$$

определения (15), ортонормальности собственных векторов и равенства Парсеваля для них следует важное для субполосной обработки неравенство для собственных чисел

$$\lambda_k^r = \int_{z \in Z_r} |G_k^r(z)|^2 dz / 2\pi \leq 1,$$

где имеются в виду спектры собственных векторов

$$G_k^r(z) = \sum_{i=1}^N q_{ik}^r \exp(-jz(i-1)).$$

Таким образом по значению собственного числа можно определять долю энергии соответствующего собственного вектора, попадающей в заданную субполосу (норма равна единице).

Так как следы подобных матриц равны, то из соотношения (17) с учетом определения (16) получаем равенства для сумм собственных чисел

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k^r = N(Z_{2r} - Z_{1r}) / \pi = N\Delta Z_r / \pi.$$

Для обработки сигналов представляют также интерес некоторые другие свойства субполосных матриц и их собственных чисел.

Легко понять, что при выборе субполос вида (14) будут иметь место равенства

$$\sum_{r=1}^R A_r = I = \text{diag}(1, \dots, 1);$$

$$A_r = I - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq r}}^R A_n.$$

Вычислительные эксперименты с субполосными матрицами показали, что если размерность удовлетворяет неравенству

$$N > J_r, \quad (19)$$

где (квадратные скобки означают целую часть их содержимого)

$$J_r = [N\Delta Z_r / \pi] + 6, \quad (20)$$

то выполняются неравенства

$$0 < \lambda_{J_r+k}^r < \varepsilon \approx 0, k = 1, \dots, N - J_r, \quad (21)$$

то есть собственные числа становятся близкими к нулю.

Отметим, что соотношение (20) позволяет достаточно точно вычислить правую часть (19) при выборе в правой части (21) следующего значения

$$\varepsilon = 0.0001.$$

Одним из следствий свойства (21) является легко получаемое при использовании обозначений (18) и подстановке представления (17) в квадратичные формы (12) соотношение для их вычисления

$$P_r(\vec{x}) = \sum_{k=1}^{J_r} \lambda_k^r \alpha_k^{r^2}. \quad (22)$$

Из соотношения (20) нетрудно получить неравенство

$$d_r = J_r / N \leq \Delta Z_r / \pi + 6 / N, \quad (23)$$

которое показывает, что при заранее вычисленных собственных векторах и числах использование (22) может дать ощутимое уменьшение вычислительной трудоемкости. Этот результат имеет особое значение при многократном вычислении частей энергий, когда

собственные числа и векторы можно вычислить заранее.

Очевидно, что правые и левые части (19) имеют одинаковый набор собственных векторов, а для собственных чисел выполняются равенства

$$\lambda_k^r = 1 - \mu_k^r,$$

где μ_k^r – собственные числа суммарной матрицы в правой части (19).

Ясно, что если μ_k^r будут близки к нулю, то λ_k^r будут близки к единице

$$\lambda_k^r \geq 1 - \varepsilon, k = 1, \dots, E_r,$$

где в соответствии с (20) имеет место

$$E_r = N - [N(1 - \Delta Z_r / \pi)] - 6, E_r \geq 0. \quad (24)$$

То есть последнее соотношение применимо, когда правая его часть неотрицательна. В противном случае полагаем

$$E_r = 0.$$

Обработка сигналов с использованием субполосных базисов

В настоящее время получили развитие приемы обработки сигналов, концепция которых явно или неявно основывается на субполосных представлениях. Широко известными примерами могут служить частотная фильтрация или уменьшение объемов двоичных представлений (сжатие) данных.

Ниже на основе использования понятия части попадающей в субполосу энергии сигнала (12) сформулированы критерии оптимизации решений ряда задач субполосной обработки сигналов и получены соответствующие вычислительные соотношения. Это служит подтверждением адекватности разработанных элементов математического аппарата задачам обработки сигналов.

Оптимальная линейная субполосная фильтрация сигналов

Фильтрацией принято называть выделение из исходной последовательности отсчетов (вектора) некоторой компоненты

$$\vec{y} = (y_1, \dots, y_N)', \quad (25)$$

которая должна соответствовать определенным требованиям.

При субполосной фильтрации в качестве идеального требования широко используется условие

$$Y(z) \equiv X(z), z \in Z_r; Y(z) \equiv 0, z \notin Z_r, \quad (26)$$

которому должен удовлетворять вектор вида (25).

Построение современных цифровых фильтров основано на понятии их амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) $H(z)$, которая должна наилучшим образом аппроксимировать идеальную АЧХ

$$H(z) \equiv 1, z \in Z_r; H(z) \equiv 0, z \notin Z_r. \quad (27)$$

Не вдаваясь в подробности, отметим, что для векторов конечной размерности условия (26) и (27) не могут быть выполнены. При этом точность выполнения условия (26) затруднительно оценить по точности выполнения (27). Поэтому представляется целесообразным процедуру фильтрации оптимизировать, непосредственно исходя из требования (26). Для этого предлагается использовать квадратичный функционал

$$F(\vec{x}, \vec{y}) = \int_{z \in Z_r} |X(z) - Y(z)|^2 dz / 2\pi + \|\vec{y}\|^2 - \int_{z \in Z_r} |Y(z)|^2 dz / 2\pi. \quad (28)$$

Легко понять, что в соответствии с равенством Парсеваля последние два слагаемых в правой части (28) определяют меру близости к нулю спектра искомого вектора вне субполосы.

Очевидно, что функционал (28) может служить критерием точности выполнения условия (26). Его можно преобразовать к удобному для минимизации виду

$$F(\vec{x}, \vec{y}) = (\vec{x} - \vec{y})' A_r (\vec{x} - \vec{y}) + \|\vec{y}\|^2 - \vec{y}' A_r \vec{y}.$$

Легко убедиться, что правая часть (29) достигает минимума на следующем оптимальном векторе:

$$\vec{y}_r = A_r \vec{x}. \quad (29)$$

При этом минимальное значение критерия (28) определяется соотношением

$$F(\vec{x}, \vec{y}_r) = \sum_{k=E_r+1}^{J_r-E_r} (1 - \lambda_k^r)^2 \lambda_k^r \alpha_k^{r2}. \quad (30)$$

Очевидно, что чем больше правая часть (24), тем меньше по сравнению с (22) правая часть (30).

Используя определение элементов субполосных матриц (15), для компонент результата оптимальной фильтрации (30) можно получить следующее представление:

$$y_{kr} = \int_{z \in Z_r} X(z) \exp(jz(k-1)) dz / 2\pi, k = 1, \dots, N. \quad (31)$$

Таким образом, компоненты вектора (29) полностью определяются только отрезком спектра исходного вектора из заданной субполосы. Это свойство является важным, особенно для передачи информации в режиме частотного уплотнения.

Очевидно, что следствием соотношения (19) является свойство точной аддитивности результатов оптимальной фильтрации при использовании разбиения на субполосы вида (14)

$$\sum_{r=1}^r \vec{y}_r = \vec{x}. \quad (32)$$

Отметим, что соотношения (31) и (32) определяют существенные отличия результатов фильтрации согласно (30) от известных способов цифровой фильтрации [Гантмахер, 1967].

Если исходный вектор состоит из аддитивной смеси флуктуационного шума и сигнала, то наличие в нем квазипериодических компонент будет проявляться в повышенной концентрации энергии в некоторых необязательно смежных субполосах оси частот. Для адекватного учета этого целесообразно использовать фильтрацию на основе соотношения

$$\vec{y}_s = A_s \vec{x}. \quad (33)$$

где A_s – сумма множества H матриц

$$A_s = \sum_{k \in H} A_k;$$

элементы которого удовлетворяют следующим неравенствам

$$P_k(\vec{x}) \geq \Delta Z_k \|\vec{x}\|^2 / \pi. \quad (34)$$

Отметим, что правая часть здесь равна части энергии, которая бы приходилась на субполосу при равномерном её распределении по полосе частот (модель белого шума).

Представляется естественным удовлетворяющие условиям (34) субполосы называть информационными, то есть определяющими основную долю энергии вектора.

Обобщением представления (31) для левой части (33) является соотношение

$$y_{is} = \sum_{k \in H} \int_{z \in Z_k} X(z) \exp(jz(i-1)) dz / 2\pi,$$

то есть имеет место зависимость только от отрезков спектра исходного вектора из множества информационных субполос.

В режиме многократной фильтрации наличие у субполосной матрицы близких к нулю собственных чисел позволяет использовать более эффективное в смысле вычислительных затрат чем (30) соотношение в виде линейной комбинации векторов субполосного базиса

$$\vec{y}_r = \sum_{k=1}^{J_r} \lambda_k^r \alpha_k^r \vec{q}_k^r.$$

Субполосное сжатие сигналов с потерями

Отметим, что сжатие данных с потерями предполагает их перекодирование таким образом, чтобы получаемые битовые представления кодов были меньше, чем у исходных. Основным ограничением при этом служит требование сохранения нужной для целей использования данных информации, например, качества звучания речи или музыки.

Отметим, что в основе применяемых в настоящее время методов сжатия не используются количественные критерии качества сохраняемой информации. Использование введенных выше понятий позволяет ввести адекватные критерии.

Соотношения (6) и (11) показывают, что при сжатии целесообразно обеспечивать точность восстановления отрезков спектров исходных последовательностей данных в тех субполосах, которые могут быть определены из априорных соображений. Количественный критерий имеет вид квадратичного функционала (мера погрешности отклонений)

$$\rho(\vec{x}, \hat{\vec{x}}_r) = \int_{z \in Z_r} |X(z) - \hat{X}_r(z)|^2 / 2\pi, \quad (35)$$

где крышкой отмечены восстанавливаемый вектор и его спектр.

Естественным требованием является условие

$$0 \leq \rho(\vec{x}, \hat{\vec{x}}_r) \leq \gamma P_r(\vec{x}), \hat{\vec{x}}_r \in R^N, \quad (36)$$

где

$$0 \leq \gamma < 1.$$

Если воспользоваться представлением искомого вектора в виде

$$\hat{\vec{x}}_r = \sum_{k=1}^M \alpha_k^r \vec{q}_k^r, M < N. \quad (37)$$

При этом (35) дает

$$\rho(\vec{x}, \hat{\vec{x}}_r) = \sum_{k=M+1}^N \lambda_k^r \alpha_k^{r^2}.$$

Таким образом, в соответствии с (36) для M должно выполняться условие

$$\sum_{k=M+1}^N \lambda_k^r \alpha_k^{r^2} \leq \gamma P_r(\vec{x}),$$

где неотрицательный параметр $0 \leq \gamma < 1$ определяется заранее.

Перекодирование данных осуществляется заменой исходных векторов на векторы проекций

$$\vec{\alpha}_r = (\alpha_1^r, \dots, \alpha_M^r)'. \quad (38)$$

Отметим, что если выполняется условие (22), то выбор в (37) и (38)

$$M = J_r$$

с высокой точностью обеспечивает равенство

$$\rho(\vec{x}, \hat{\vec{x}}_r) \approx 0.$$

Таким образом, в этом случае отрезок спектра в субполосе полностью воспроизводится, а степень сжатия данных при одной и той же разрядности представления кодов определяется соотношением (23).

Оценивание субполосной близости двух сигналов на основе субполосной меры

В качестве основной меры субполосной близости двух векторов представляется естественным использовать следующую квадратичную форму:

$$\rho_r(\vec{x}, \vec{y}) = \int_{z \in Z_r} |X(z) - Y(z)|^2 dz / 2\pi = P_r(\vec{x} - \vec{y}).$$

Таким образом, в общем случае вычисления реализуются на основе соотношения

$$\rho_r(\vec{x}, \vec{y}) = (\vec{x} - \vec{y})' A_r (\vec{x} - \vec{y}).$$

Если выполняется (21) по аналогии с выражением (22), нетрудно получить представление

$$\rho_r(\vec{x}, \vec{y}) = \sum_{k=1}^{J_r} \lambda_k^r (\alpha_k^r - \beta_k^r)^2, \beta_k^r = (\vec{y}, \vec{q}_k^r).$$

Очевидно, что при достижении равенств

$$\beta_k^r = \alpha_k^r, k = 1, \dots, J_r$$

имеет место

$$\rho_r(\vec{x}, \vec{y}) = 0.$$

Таким образом, в выбранной субполосе отрезки спектров исходного вектора и сопоставляемого с высокой точностью будут совпадать.

Этот результат свидетельствует в пользу применения предлагаемой меры субполосной близости.

Сопоставление сигналов на основе меры субполосного подобия

В качестве меры субполосного подобия двух векторов естественно использовать коэффициент субполосной корреляции соответствующих отрезков их спектров (звездочка означает комплексное сопряжение)

$$\text{cov}_r(\vec{x}, \vec{y}) = \int_{z \in Z_r} X(z) Y^*(z) dz / 2\pi / (P_r(\vec{x}) P_r(\vec{y}))^{1/2}.$$

При подстановке в него определений спектров нетрудно получить вычислительное соотношение

$$\text{cov}_r(\vec{x}, \vec{y}) = \vec{y}' A_r \vec{x} / (P_r(\vec{x}) P_r(\vec{y}))^{1/2}.$$

Легко убедиться в справедливости неравенства

$$|\text{cov}_r(\vec{x}, \vec{y})| \leq 1,$$

где равенство достигается, когда с точностью до знака отрезки спектров сопоставляемых векторов совпадают.

Заключение

В работе показано, что, основываясь на принципе использования понятия части энергии сигналов, попадающих в заданную субполосу области определения их трансформант Фурье, можно получить субполосные матрицы, собственные векторы которых служат базисом векторного пространства, который позволяет решать различные задачи обработки сигналов. При этом без перехода в частотную область реализуется субполосный анализ, когда свойства сигналов описываются с позиций разбиения частотной области на субполосы.

Список литературы

- Басараб М.А., Зелкин Е.Г., Кравченко В.Ф., Яковлев В.П. 2004. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера-Котельникова-Шеннона. М.: Радиотехника. 74 с.
- Белов С.П., Белов А.С., Прохоренко Е.И., Балабанова Т.Н. 2022. Субполосная идентификация словных фрагментов речевых сигналов по заданному образцу. *Экономика. Информатика*, 49(3): 589–596.
- Васюков В.Н., Зима Д.Н., Мурасев А.А. 2021. Цифровая обработка сигналов и её применение. Новосибирск: Издательство НГТУ. 122 с.
- Витязев В.В. 2023. Многоскоростная обработка сигналов. М.: Горячая линия-Телеком. 325 с.
- Гантмахер Ф.Р. 1967. Теория матриц. М.: Наука. 574 с.
- Го Л., Чжоу П. 2021. Применение быстрого преобразования Фурье в микропроцессорных устройствах РЗА. *Инновации и инвестиции*, 8: 97–99.
- Двойрис Л.И., Крюков И.Н., Толмачёв А.Н. 2024. Имитационная модель сжатия сигнала на основе метода Compressive Sensing. *Радиотехника*, 88(2): 19–24.

- Заливин А.Н., Черноморец А.А., Жилияков Е.Г., Белов С.П. 2020. Анализ изображений на основе субполосных представлений в области пространственных частот. *Инфокоммуникационные технологии*, 18(1): 7–12.
- Попов О.Б., Чернышева Т.В., Абрамов В.А., Борисов А.А. 2023. Искажения звукового сигнала в канале передачи. *Электромагнитные волны и электронные системы*, 28(6): 13–25.
- Рабинер Л., Голд В. 1978. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир. 848 с.
- Хургин Я.И., Яковлев В.П. 1971. Финитные функции в физике и технике. М.: Наука. 408 с.
- Черноморец А.А., Болгова Е.В., Коваленко А.Н. 2020. Об оптимальной модификации проекций изображений на базисные векторы при скрытном внедрении информации. *Инфокоммуникационные технологии*, 18(4): 437–442.
- Borawake P.Dr.M.P. 2022. Audio signal processing. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(6): 1495–1496.
- Grumiaux P.A., Lagrange M. 2023. Efficient bandwidth extension of musical signals using a differentiable harmonic plus noise model. *Eurasip Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2023(1): 51.
- Hao Zh., Liu Ch., Ouyang Sh. 2024. Study on the optimization process and application of fir digital filter. *Applied and Computational Engineering*, 72(1): 107–113.
- Konyakhin I.A. 2023. Digital signal processing. Basic procedures. St. Petersburg: ITMO University. 61 p.
- Mao H. 2024. Advancements in filter technology: evolution and applications. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 97: 112–116.
- Rajesh Kumar Upadhyay. 2023. Digital signal processing: from theory to practical applications. *Tuijin Jishu*. 44(4): 2311–2317.
- Yakimov V., Lange P., Yaroslavkina E. 2022. Formant frequencies estimation based on correlogram method of spectral analysis and binary-sign stochastic quantization. *Cyber-Physical Systems: Modelling and Industrial Application*. Cham. 137–146.
- Yenuchenko M.S. 2024. Basics of digital signal processing: work-book. St. Petersburg: Polytech-Press. 101 p.

References

- Basarab M.A., Zelkin E.G., Kravchenko V.F., Yakovlev V. P. 2004. Cifrovaya obrabotka signalov na osnove teoremy Uittekera-Kotelnikova-Shennona [Digital signal processing based on the Whittaker-Kotelnikov-Shannon theorem]. Moscow: Radio Engineering. 74 p.
- Belov S.P., Belov A.S., Prokhorenko E.I., Balabanova T.N. 2022. Subband identification of word fragments of speech signal word segments precedent. *Economics. Information technologies*, 49(3): 589–596 (in Russian).
- Vasyukov V.N., Zima D.N., Murasev A.A. 2021. Cifrovaya obrabotka signalov i eyo primeneniye [Digital signal processing and its application]. Novosibirsk: NSTU Publishing House. 122 p.
- Vityazev V.V. 2023. Mnogoskorostnaya obrabotka signalov [Multi-speed signal processing]. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom. 325 p.
- Gantmakher F.R. 1967. Teoriya matric [Theory of matrices]. Moscow: Nauka. 574 p.
- Guo L., Zhou P. 2021. Application of fast fourier transform in microprocessor relay devices. *Innovation and Investment*, 8: 97–99 (in Russian).
- Dvoiris L.I., Kryukov I.N., Tolmachev A.N. 2024. Simulation model of compression of a signal on the basis of the Compressive Sensing method. *Radio engineering*, 88(2): 19–24 (in Russian).
- Zalivin A.N., Chernomorets A.A., Zhilyakov E.G., Belov S.P. 2020. Sub-band representation image analysis in the field of spatial frequencies. *Infocommunication technologies*, 18(1): 7–12 (in Russian).
- Popov O.B., Chernysheva T.V., Abramov V.A., Borisov A.A. 2023. Distortion of the audio signal in the transmission channel. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*, 28(6): 13–25 (in Russian).
- Rabiner L., Gold V. 1978. Theory and Application of Digital Signal Processing. Moscow: Mir. 848 p.
- Khurgin Ya.I., Yakovlev V.P. 1971. Finitnye funktsii v fizike i tekhnike. [Finite functions in physics and technology]. M.: Science. 408 p.
- Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Kovalenko A.N. 2020. On the optimal modification of images projections onto basic vectors within the information hidden embedding. *Infocommunication technologies*, 18(4): 437–442 (in Russian).
- Borawake P.Dr.M.P. 2022. Audio signal processing. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(6): 1495–1496.
- Grumiaux P.A., Lagrange M. 2023. Efficient bandwidth extension of musical signals using a differentiable harmonic plus noise model. *Eurasip Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2023(1): 51.

- Hao Zh., Liu Ch., Ouyang Sh. 2024. Study on the optimization process and application of fir digital filter. *Applied and Computational Engineering*, 72(1): 107–113.
- Konyakhin I.A. 2023. Digital signal processing. Basic procedures. St. Petersburg: ITMO University. 61 p.
- Mao H. 2024. Advancements in filter technology: evolution and applications. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 97: 112–116.
- Rajesh Kumar Upadhyay. 2023. Digital signal processing: from theory to practical applications. *Tuijin Jishu*, 44(4): 2311–2317.
- Yakimov V., Lange P., Yaroslavkina E. 2022. Formant frequencies estimation based on correlogram method of spectral analysis and binary-sign stochastic quantization. *Cyber-Physical Systems: Modelling and Industrial Application*. Cham. 137–146.
- Yenuchenko M. S. 2024. Basics of digital signal processing: work-book. St. Petersburg: Polytech-Press. 101 p.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 11.01.2025

Received January 11, 2025

Поступила после рецензирования 23.02.2025

Revised February 23, 2025

Принята к публикации 04.03.2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бабаринов Сергей Леонидович, кандидат технических наук, архитектор сетевой инфраструктуры ООО Энтрап, Группа Компаний «Русская Энергия», г. Москва, Россия

Sergey L. Babarinov, Candidate of Technical Sciences, Architect of Network Infrastructure of Entrap LLC, Russian Energy Group of Companies, Moscow, Russia

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

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

Прохоренко Екатерина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Ekaterina I. Prokhorenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Чурсин Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Dmitry S. Chursin, Postgraduate Student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.93.12

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-156-167

Использование алгоритмов машинного обучения для оценки степени повреждений объектов жилой инфраструктуры

Головко Я.Ю., Ильинская Е.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
mariopwnz1337@gmail.com

Аннотация. В современном мире применение алгоритмов машинного обучения приобретает ключевое значение для оценки повреждений объектов жилой инфраструктуры после чрезвычайных ситуаций, включая природные катастрофы, военные конфликты и техногенные аварии. В исследовании рассматривается использование свёрточных нейронных сетей (CNN), рекуррентных нейронных сетей (RNN) и гибридных архитектур (CNN-RNN) для автоматизации анализа степени разрушений. На примере аэрофотоснимков, спутниковых данных и изображений из социальных сетей продемонстрирована эффективность моделей ResNet50, ResNet101, YOLOv5 и VGG19 в обнаружении структурных дефектов, классификации тяжести повреждений и оптимизации восстановительных работ. Эксперименты на наборах данных (после взрыва в Бейруте, землетрясения в Вэнчуане) показали, что модифицированная архитектура YOLOv5 с механизмами внимания (Ghost bottleneck, CBAM) достигает средней точности (mAP) 93,43 % в режиме реального времени, а ResNet50 демонстрирует точность 95,92 % при многоклассовой классификации ущерба. Однако сохраняются проблемы с распознаванием мелких дефектов (трещины, сколы) из-за ограничений разрешения и помех (деревья, строительные леса). Для повышения устойчивости моделей применены методы аугментации данных (повороты, цветокоррекция) и расширены обучающие выборки (до 8192 изображений). Сравнение с традиционными методами (визуальный осмотр, картографирование) подтвердило преимущества машинного обучения: скорость обработки, минимизация человеческого фактора и точное распределение ресурсов.

Ключевые слова: машинное обучение, оценка повреждений инфраструктурных объектов, свёрточные нейронные сети (CNN), YOLOv5, ResNet

Для цитирования: Головко Я.Ю., Ильинская Е.В. 2025. Использование алгоритмов машинного обучения для оценки степени повреждений объектов жилой инфраструктуры. *Экономика. Информатика*, 52(1): 156–167. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-156-167

Use of Machine Learning Algorithms for Assessing the Degree of Damage to Residential Infrastructure

Yaroslav Yu. Golovko, Elena V. Ilyinskaya

Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
mariopwnz1337@gmail.com

Abstract. In the modern world, the application of machine learning (ML) algorithms has become increasingly critical across various domains, particularly in assessing damage to residential infrastructure

© Головко Я.Ю., Ильинская Е.В., 2025

following emergencies such as natural disasters, military conflicts, or human-induced incidents. This study explores the integration of convolutional neural networks (CNNs), recurrent neural networks (RNNs), and hybrid architectures (CNN-RNN) to automate damage evaluation, enabling rapid and precise crisis response. By analyzing aerial imagery, satellite data, and crowdsourced visual content, ML models like ResNet50, ResNet101, YOLOv5, and VGG19 demonstrate significant potential in detecting structural damage, classifying severity levels, and prioritizing recovery efforts. Experimental results from benchmark datasets (e.g., post-explosion imagery from Beirut, earthquake-damaged buildings in Wenchuan) reveal that YOLOv5-based architectures achieve up to 93.43 % mean average precision (mAP) in real-time object detection, while ResNet50 attains 95.92 % accuracy in multi-class damage classification. However, challenges persist in recognizing fine-grained defects (e.g., cracks, spalls) due to resolution limitations and occlusions. The study highlights the advantages of attention mechanisms (e.g., CBAM, Ghost bottlenecks) and data augmentation techniques in improving model robustness. Comparative analysis of traditional manual inspections versus ML-driven approaches underscores the latter's efficiency in resource allocation, accelerated reconstruction timelines, and enhanced safety protocols.

Keywords: machine learning, infrastructure damage assessment, convolutional neural networks (CNN), YOLOv5, ResNet

For citation: Golovko Ya.Yu., Ilyinskaya E.V. 2025. Use of Machine Learning Algorithms for Assessing the Degree of Damage to Residential Infrastructure. *Economics. Information technologies*, 52(1): 156–167 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-156-167

Введение

Оценка степени повреждений объектов жилой инфраструктуры является ключевым аспектом современного общества, влияющим на безопасность граждан, эффективное управление кризисными ситуациями, финансовые решения и инновации в области технологий. В условиях чрезвычайных ситуаций, таких как природные катастрофы или аварии, оценка ущерба становится неотъемлемой частью системы гражданской обороны. Точная и оперативная оценка позволяет минимизировать последствия кризисов и обеспечить быстрое восстановление инфраструктуры.

Для страховых компаний, финансовых учреждений и государственных органов оценка ущерба является ключевым элементом при разработке страховых полисов, определении размеров возмещения убытков и планировании финансовых ресурсов. Применение алгоритмов машинного обучения для оценки ущерба открывает новые возможности для автоматизации процессов, улучшения точности прогнозирования и оптимизации использования ресурсов. Оценка степени повреждений объектов жилой инфраструктуры также имеет прямое отношение к вопросам устойчивого развития городов и регионов, позволяя оценить уровень уязвимости жилых зон и разработать меры по их укреплению.

Точное определение уровня повреждений жилой инфраструктуры обладает рядом важных преимуществ и значимых аспектов. Точная оценка позволяет оптимизировать расходы, фокусируя усилия на объектах с наибольшим ущербом. Знание степени повреждений помогает определить приоритетные задачи и план действий для быстрого и качественного восстановления, а адекватная оценка повреждений помогает предотвратить возможные аварии и обеспечить безопасность при проведении работ по восстановлению.

В целом актуальность данной темы обусловлена не только текущими вызовами в области безопасности и управления кризисными ситуациями, но и потенциалом для применения инновационных подходов, таких как машинное обучение, в решении этих задач.

Традиционные методы оценки разрушений инфраструктуры

Одним из наиболее распространенных традиционных методов визуальной оценки степени повреждений объектов жилой инфраструктуры после военных действий является оценка вручную. Этот процесс включает в себя отправку специалистов на место

разрушения для тщательного осмотра и оценки уровня повреждений. Специалисты могут использовать стандартизированные шкалы оценки, фотографии, видео и другие средства для документирования и анализа разрушений.

Другим традиционным методом визуальной оценки степени повреждений является использование картографических данных. Специалисты могут анализировать снимки спутников, аэросъемку и другие геопространственные данные для определения областей с разрушениями и оценки масштаба повреждений. Это позволяет создать карты разрушений, которые помогут при планировании и проведении восстановительных работ.

Кроме того, традиционные методы визуальной оценки могут включать экспертные оценки степени повреждений. Специалисты по строительству, инженеры, архитекторы и другие профессионалы могут проводить экспертизу разрушений и давать свои рекомендации по восстановлению объектов жилой инфраструктуры.

К сильным сторонам традиционных методов визуальной оценки относятся их детальность, позволяющая выявлять все аспекты разрушений, надежность экспертных заключений, основанных на профессиональном опыте, а также доступность – эти подходы не требуют сложного оборудования. Однако традиционные методы визуальной оценки могут быть трудоемкими и не всегда эффективными при больших объемах данных. Также одним из недостатков традиционных методов является зависимость от человеческого фактора.

Использование алгоритмов машинного обучения для оценки разрушений инфраструктуры

Использование алгоритмов машинного обучения для оценки степени повреждений объектов жилой инфраструктуры вследствие военных действий представляет собой важную и актуальную задачу в современном мире. Военные конфликты и боевые действия могут привести к серьезным разрушениям зданий, инфраструктуры и жилых объектов, что требует оперативной и точной оценки ущерба.

Применение методов машинного обучения в данной области может значительно упростить и ускорить процесс оценки повреждений. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать данные, полученные с помощью дронов [Zhao et al., 2024; Hansen, de Figueiredo, 2024], спутников [Van Etten, 2018; Haryono, Jati, Jatmiko, 2024], камер видеонаблюдения [Hu et al., 2022] и других источников, и автоматически выявлять поврежденные участки, классифицировать их по степени ущерба и предоставлять информацию для оперативного реагирования и восстановления.

Польза использования машинного обучения в данной теме заключается в повышении эффективности и точности оценки повреждений, сокращении времени на проведение инвентаризации ущерба, а также в возможности предотвращения дальнейших разрушений путем оперативного реагирования на обнаруженные проблемы. Это позволит не только улучшить процессы восстановления после военных действий, но и способствует повышению безопасности и благополучия граждан, живущих в зоне конфликтов.

В исследовании [Kallas, Napolitano, 2023] было изучено автоматизированное обнаружение крупномасштабных повреждений исторических зданий в районах, пострадавших от стихийных бедствий, с использованием сегментации изображений. Для сравнения использовались три популярные модели сверточных нейронных сетей: ResNet50, ResNet101 и ResNest50. ResNet50 – это сверточная нейронная сеть, состоящая из 50 слоев, разработанная для классификации изображений. Она использует блоки с остаточным соединением (residual connections), что позволяет эффективно обучать глубокие сети и избежать проблемы затухания градиента [Lin, Wu, 2023]. ResNet101 – это более глубокая версия ResNet, состоящая из 101 слоя. Она имеет больше слоев, чем ResNet50, что позволяет ей извлекать более сложные признаки из изображений, но требует больше вычислительных ресурсов для обучения [Zhang, 2022]. ResNest50 – это архитектура, основанная на идее "Split-Attention", которая позволяет сети уделять внимание различным аспектам

изображения. Она представляет собой улучшенную версию ResNet с более эффективным использованием информации из изображений [Indumathi, Santhoshsivan, Selvakumar, 2024].

В качестве набора данных использовались 100 аэрофотоснимков поврежденных зданий, сделанных после взрыва в Бейруте 4 августа 2020 года. Для увеличения набора данных была использована библиотека *imgaug*, что дало прибавку в 85 %. Библиотека использует аугментацию данных, что позволяет дополнить датасет путем преобразования исходных изображений [Mikołajczyk, Grochowski, 2018]. Исходные снимки имели высокое разрешение (5472×3648), поэтому для обучения они были сжаты до разрешения 512×512 и 28×28 пикселей. Учитывая небольшой размер набора данных, обучение было произведено в 50 эпох по 100 шагов на эпоху, чтобы предотвратить переобучение. Обучение производилось с помощью библиотек TensorFlow и Keras на графическом процессоре Intel(R) UHD Graphics 630 с 8 ГБ памяти.

Удалось добиться следующих результатов: точность обнаружения обрушения стены составила 83,17 % для обучающего набора и 86,81 % для проверочного набора. Аналогичным образом воспроизводимость обнаружения повреждений при обрушении стены достигла 84,80 % и 80,61 % для обучающего набора и проверочного набора соответственно. Оценка F1 модели 3 составила 83,96 % для обучающего набора и 83,59 % для проверочного набора, что указывает на то, что модель имела сбалансированную производительность с точки зрения точности и полноты. Однако в некоторых случаях наблюдались ошибочные определения из-за присутствия деревьев, которые частично закрывали повреждение от обрушения стены, или наличия деревянных и металлических строительных лесов внутри помещения, где произошло повреждение стены. В некоторых случаях были сделаны ошибочные определения из-за сходства разрушенных окон с реальными повреждениями от обрушения стен. Примеры входных изображений и результаты распознавания изображены на рис. 1. Результаты обучения и проверки моделей представлены в табл. 1.



Рис 1. Примеры входных изображений и результаты распознавания
Fig. 1. Examples of input images and recognition results

Таблица 1
 Table 1

Результаты обучения и проверки
 Results of training and testing

Расчетные метрики	ResNet50		ResNet101		ResNest50	
	Обучение	Проверка	Обучение	Проверка	Обучение	Проверка
Общая точность	66,73 %	62,72 %	73,84 %	69,00 %	72,38 %	71,91 %
Точность прогнозирования	79,75 %	82,14 %	84,44 %	83,51 %	83,17 %	86,81 %
Полнота	80,03 %	72,63 %	85,47 %	79,16 %	84,80 %	80,61 %
F1 показатель	79,88 %	77,09 %	84,95 %	81,36 %	83,96 %	83,59 %

В исследовании [Liu et al., 2022] было изучено обнаружение повреждений зданий на уровне земли в режиме реального времени на основе YOLOv5 с использованием наземных изображений. В качестве основной модели для обучения была выбрана YOLOv5 (You Only Look Once version 5) – это современная сверточная нейронная сеть для обнаружения объектов на изображениях в реальном времени [Kaur, Singh, 2023]. Основная идея YOLO заключается в том, что нейронная сеть делит изображение на сетку ячеек и предсказывает ограничивающие рамки и классы объектов в каждой ячейке одновременно [Jiang et al., 2022].

В проекте также был использован Ghost bottleneck – это концепция, которая используется в некоторых современных архитектурах нейронных сетей. Этот подход был представлен для улучшения эффективности и производительности нейронных сетей. Вместо использования обычного узкого места (bottleneck) в сверточных слоях, где количество фильтров уменьшается и затем увеличивается, используется два параллельных пути: один с обычным bottleneck (обычные свертки), а другой с уменьшенным количеством фильтров (ghost модуль). Это позволяет сети изучать более широкий спектр признаков, сохраняя при этом вычислительную эффективность. Ghost bottleneck помогает уменьшить количество параметров и операций, не ухудшая при этом качество предсказаний [Han et al., 2020].

Также был использован CBAM (Convolutional Block Attention Module) – это модуль внимания, который был представлен для улучшения способности сверточных нейронных сетей выделять важные признаки изображений [Woo et al., 2018]. CBAM состоит из двух основных компонентов: блока канального внимания (Channel Attention Module) и блока пространственного внимания (Spatial Attention Module). CBAM обычно интегрируется в сверточные нейронные сети, чтобы улучшить их способность к извлечению информативных признаков. Этот модуль помогает сети более эффективно использовать информацию изображения, что может привести к улучшению качества предсказаний и повышению производительности модели.

Все эксперименты проводились на ПК с памятью 40 ГБ, процессором Intel Xeon E5 с 2,7 ГГц и графическим процессором Tesla K80 с 24 ГБ. Некоторые основные параметры предлагаемой модели таковы: предварительно обученные веса с использованием ImageNet, размер пакета 4, начальная скорость обучения 0,01 и итерации 300 эпох. Алгоритмы обнаружения часто оцениваются с точки зрения точности и скорости. Эффективность алгоритма оценивалась общей точностью, средним значением отзыва, F1-оценкой 0,75 и средней точностью (mAP) [Henderson, Ferrari, 2017].

В качестве набора данных были использованы 856 изображений разрешением 3968×2976 пикселей со смартфонов и камер, которые были аннотированы для распознавания повреждений, а 3918 обрезанных изображений повреждений – с разрешением 800×800 пикселей. Увеличение данных помогло предоставить сети более разнообразные данные, что привело к более обобщаемым результатам. Учитывая размер изображения и характеристики повреждения, выбранные методы улучшения включали

поворот изображения, переворот изображения, преобразование цвета и растяжение изображения. Всего было получено 8192 изображения и отмечено 44 059 участков повреждения. Набор данных, относящийся к землетрясению в Вэньчуань, был разделен на две группы: обучающий набор для обучения модели, на который приходилось 70 % данных, и тестовый набор для оценки модели, на который приходилось оставшиеся 30 %. Поскольку количество поврежденных деталей на разных изображениях отличалось друг от друга, конкретная выборка для обучения и тестирования была отфильтрована вручную.

Для оценки классификации результаты сравнивались с вручную размеченными эталонными данными на основе результатов визуальной интерпретации с использованием наземных изображений. В этом исследовании точность, полнота, общая точность и показатель F1 использовались для оценки эффективности извлечения и классификации для каждой сцены

Были выбраны четыре репрезентативных сценария повреждений, включающих четыре цели повреждения, чтобы продемонстрировать точность обнаружения. Итоговые соответствующие показатели точности четырех целей поражения приведены в табл. 2. Число рядом с меткой означает уверенность в прогнозируемом типе повреждения. Высокая достоверность означает, что повреждение здания может быть точно обнаружено и выполнено относительно надежно. Высокая степень достоверности означала, что модель точно определила ущерб, и очень небольшой ущерб зданию был пропущен. Во всех случаях высокой уверенности в признании ущерба достоверность находилась выше значения 0,86. Самый высокий показатель достоверности до 0,98 был достигнут при обнаружении обломков и обрушений. Уверенность в обнаружении сколов и трещин была сравнительно низкой, что объясняло небольшим размером и масштаб повреждений.

Таблица 2
Table 2

Результаты YOLOv5 по критериям
YOLOv5 results by criteria

Типы разрушений	Точность	Полнота	Карта	F1-показатель
Обломки	95,56	92,95	94,26	92,42
Обрушение	91,35	90,93	93,53	91,86
Сколы	89,82	90,18	91,28	89,28
Трещины	87,91	89,58	90,63	90,59
Среднее	91,16	90,91	92,43	91,06

В исследовании [Li et al., 2018.] были изучены локализация и количественная оценка ущерба на изображениях в социальных сетях. В качестве основной модели для обучения и сравнения результатов была выбрана VGG19 – сверточная нейронная сеть, обладающая 16 сверточными слоями и 3 полносвязными [Karaci A., 2022]. Каждый слой свертки оснащен нелинейной активацией ReLU [Krizhevsky, Sutskever, Hinton, 2012]. Также была представлена карта обнаружения повреждений (DDM), основанная на градиентно-взвешенной карте активации классов (GCAM). GCAM использует градиенты целевой категории для вычисления веса конкретной категории для каждой карты признаков слоя свертки [Selvaraju et al., 2017]. Веса используются для агрегирования карт признаков последнего сверточного слоя при предположении, что последний уровень обеспечивает наилучший компромисс между семантическими признаками высокого уровня и пространственной информацией.

Использовались два набора данных: собранный с помощью Google: 308 изображений с помощью ключевых слов «Непал», «здание» и «ущерб», а также 311 изображений зданий без ущерба, а также наборы данных ресурса «AIDR» (платформа для фильтрации и классификации сообщений в социальных сетях, связанных с чрезвычайными ситуациями, катастрофами и

гуманитарными кризисами). Были использованы датасеты с изображениями землетрясения в Непале, землетрясения в Эквадоре, тайфун Хагупит и урагана Мэтью.

Затем был описан подход к обучению моделей и оценке результатов:

1) для классификации изображений использовалась VGG19 (есть ущерб или нет);
 2) для обнаружения дефектов на отфильтрованных изображениях использовалась DDM (карта обнаружений повреждений), которая генерировалась путем взвешивания последнего сверточного поля модели;

3) для представления серьезности ущерба для каждого изображения рассчитывался показатель серьезности ущерба (DAV), полученное на основе тепловой карты DDM.

Карта ущерба от стихийного бедствия использует числовые значения для измерения интенсивности каждого пикселя изображения и может быть представлена в виде тепловой карты. Было взято среднее значение по всем числовым значениям тепловой карты изображения и использовано полученное значение.

В первой строке показана средняя точность классификаторов на основе DAV (более 5 независимых прогонов) вместе со стандартным отклонением. Вторая и третья строка показывает среднюю точность моделей CNN. Результаты простого классификатора, основанного на DAV, аналогичны результатам модели CNN для землетрясения в Эквадоре и урагана Мэтью (т. е. результаты статистически не отличаются на основе t-критерия $\text{sp} \leq 0.05$). Хотя точность CNN в целом выглядит лучше, результаты показывают, что DAV может фиксировать серьезность ущерба (в непрерывном масштабе) и может помочь создать простые и интерпретируемые классификаторы. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

Результаты
Results by models

Метод	Землетрясение в Непале	Землетрясение в Эквадоре	Тайфун Хагупит	Ураган Мэтью
DAV	0,801±0,013	0,886±0,018	0,793±0,017	0,533±0,043
VGG19	0,851±0,003	0,901±0,013	0,852±0,018	0,603±0,151
VGG16	0,840	0,870	0,810	0,740

В исследовании [Chachra et al., 2022] было изучено обнаружение поврежденных зданий с использованием краудсорсинговых изображений в реальном времени. Для обучения были выбраны три основные модели: AlexNet, VGG19, ResNet50. AlexNet – это сверточная нейронная сеть, разработанная для классификации изображений [Krizhevsky, Sutskever, Hinton, 2017]. AlexNet состоит из 5 сверточных слоев и 3 полносвязных слоев. Она использует технику дропаута для борьбы с переобучением и функцию активации ReLU для ускорения обучения.

Для оценки разрушений на фотографиях были выбраны четыре критерия, описывающие степень возможных разрушений:

- 1) без ущерба;
- 2) легкие повреждения: видимые узкие трещины, сколы и/или крайне ограниченное растрескивание бетона;
- 3) умеренные повреждения: трещины, большая площадь сколов бетонного покрытия без обнажения стальных стержней;
- 4) серьезное повреждение: разрушение основного слоя бетона, выпучивание или разрушение арматуры.

В качестве набора данных использовались в общей сложности 2260 изображений, собранных в ходе исследования ущерба, из архива разведки землетрясений (EERI) и

изображений Google. Количество изображений по критериям составляет 496, 404, 580 и 780 соответственно. Перед обучением применяются предварительная обработка изображения и изменение его размера. Кроме того, 80 % полученных изображений для каждого класса повреждений выбираются в качестве обучающего набора, а 20 % – в качестве тестового набора. Набор проверки выбирается в размере 20 % обучающего набора, а остальная часть обучающего набора используется для обучения модели.

Обучение проводилось в MATLAB R2019a на двух компьютерах: Alienware Aurora R8 (Core i7-9700K @ 3,60 ГГц, 16 ГБ памяти DDR4 и 8 ГБ памяти GeForce RTX 2070 GPU) и Lenovo Legion Y740 (Core i7-8750H с частотой 2,20 ГГц, 16 ГБ памяти DDR4 и 8 ГБ памяти (GPU GeForce RTX 2070 max-q).

Хотя точность тестирования среди всех трех предварительно обученных моделей относительно близка, ResNet-50, который имеет самую глубокую архитектуру, дает немного более высокую точность, чем две другие модели сверточных нейронных сетей. Точность обучения и проверки превышает 90 % примерно после 80 эпох обучения и приближается к 100 % в конце. Результаты показывают, что обученная модель способна классифицировать различные состояния повреждения с достаточно высокой точностью, однако точность классификации в отношении умеренного повреждения и серьезного повреждения не так высока, как в отношении класса отсутствия повреждений и легких повреждений. Параметры обучения и результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Параметры обучения и результаты
Training parameters and results

Модель	AlexNet	VGG19	ResNet50
Входной размер	227×227×3	224×224×3	224×224×3
Темп обучения	0,0001	0,0001	0,0001
Регуляризация	0,0001	0,0001	0,0001
Коэффициент мощности	0,90	0,90	0,90
Точность при тестировании	93,15 %	95,63 %	95,92 %
Точность при проверке	85,17 %	87,17 %	87,47 %

Алгоритмы машинного обучения демонстрируют значительный потенциал в автоматизации оценки ущерба. Исследования на основе моделей ResNet, YOLOv5 и VGG19 показывают, что точность классификации повреждений достигает 80–95 %, а обработка данных в режиме реального времени возможна при использовании оптимизированных архитектур, таких как Ghost bottleneck и CBAM. Преимущества ML-подходов включают скорость анализа, масштабируемость и способность работать с разнородными данными (дроны, спутники, социальные медиа). Однако их эффективность зависит от качества и объема обучающих данных: небольшие датасеты требуют аугментации, а шумы в краудсорсинговых изображениях снижают точность. Кроме того, сложные модели (например, ResNet101) требуют высоких вычислительных ресурсов, что ограничивает их применение в полевых условиях.

Сравнение подходов показывает, что гибридные методы, сочетающие ML с экспертной валидацией, могут стать оптимальным решением. Традиционные методы обеспечивают точность в локальных задачах, тогда как ML-алгоритмы эффективны для быстрого анализа крупных территорий. Например, YOLOv5 достиг средней точности 91 % при обнаружении трещин и обрушений, но его внедрение требует значительных ресурсов. Для улучшения результатов необходимо решать проблемы интерпретируемости моделей, как в случае с DAV-метрикой, и расширять датасеты для обучения на редких классах повреждений.

Среди основных недостатков современных методов выделяется сильная зависимость от качества входных данных: низкое разрешение изображений или наличие визуальных помех (деревья, строительные леса) существенно снижают надежность распознавания. Тепловые карты повреждений (DDM), хотя и улучшают визуальную интерпретацию, не предоставляют количественных метрик для оценки масштаба ущерба. Кроме того, сохраняется проблема распознавания мелких дефектов – трещины и сколы часто остаются незамеченными из-за ограничений масштаба или артефактов сжатия. В табл. 5 представлены обобщенные данные по каждому исследованию.

Таблица 5
Table 5

Обобщение опыта исследований
Generalization of research experience

Используемые модели/алгоритмы	Набор данных	Метрики эффективности	Преимущества	Недостатки
ResNet50, ResNet101, ResNest50	100 аэрофотоснимко в Бейрута	F1: 83,59 % (валидация), точность: 86,81 %	Высокая детализация анализа, использование аугментации данных	Ошибки из-за помех, ограниченный размер данных
YOLOv5 (LA-YOLOv5 с Ghost bottleneck, CBAM)	8192 изображений землетрясения	mAP: 93,43 %, F1: 92,26 %, точность: 92,47 %	Высокая скорость и точность, эффективность в реальном времени	Сложности с мелкими повреждениям и (трещины)
VGG19 + DDM (на основе GCAM)	Данные из соцсетей	Точность: 80–90 % (зависит от события)	Интерпретируемость, использование данных из соцсетей	Зависимость от качества изображений
ResNet50, AlexNet, VGG19	2260 изображений из открытых источников	Точность: 95,92 % (ResNet50)	Хорошая классификация легких и серьезных повреждений	Низкая точность для умеренных повреждений

Для решения проблемы ограниченности реальных данных, особенно для редких классов повреждений (например, трещины, сколы), а также зависимости качества моделей от объема обучающей выборки можно использовать генеративно-состязательные сети (GAN) для создания синтетических изображений разрушений [Creswell et al., 2018]. Например, модели типа StyleGAN3 могут генерировать фотореалистичные изображения с заданными характеристиками (степень повреждения, тип инфраструктуры) [Zhu, 2023]. Для снижения риска ошибок из-за помех можно использовать пространственную аугментацию для генерации изображений с частично скрытыми объектами (например, деревьями или строительными лесами).

Также была выявлена проблема ограниченности CNN в улавливании глобальных зависимостей (например, связь между трещиной в стене и деформацией фундамента). Использование Vision Transformers позволит сделать разбиение изображения на патчи (например, 16×16 пикселей) и обработку их через механизм самовнимания, что даст возможность анализировать контекст всей картинки [Khan, 2022]. Таким образом, можно использовать гибридную модель, когда CNN используется для первичного извлечения признаков (например, границы разрушений), а Vision Transformers – для анализа контекста

(например, оценка масштаба ущерба). В случае с YOLOv5 замена отдельных слоев на блоки внимания могла дать улучшения обнаружения мелких дефектов.

Для повышения точности классификации редких классов можно использовать F2-Score (акцент на полноту) для минимизации пропусков критических повреждений. Для оценки качества модели на несбалансированных данных может быть использована метрика Matthews Correlation Coefficient (MCC), которая учитывает все четыре записи матрицы путаницы (истинно положительные, истинно отрицательные, ложно положительные и ложно отрицательные), предоставляя более репрезентативную картину производительности классификатора по сравнению с другими метриками, такими как оценка F1, которая игнорирует истинно отрицательные [Chicco, Jurman 2020].

Заключение

В современном мире, где различные чрезвычайные ситуации, такие как природные катастрофы или технические аварии, могут привести к разрушению объектов жилой инфраструктуры, использование алгоритмов машинного обучения для оценки степени повреждений становится все более актуальным и перспективным подходом. Мы видим, что с помощью машинного обучения можно эффективно классифицировать и оценивать степень повреждений объектов жилой инфраструктуры после таких событий. Это позволяет быстро и точно определить, какие объекты нуждаются в наиболее срочном восстановлении и ремонте, что важно для обеспечения жилья и безопасности людей.

Перспективы использования машинного обучения для оценки повреждений после чрезвычайных ситуаций очень обнадеживающие. Автоматизированные методы позволяют ускорить процесс оценки и восстановления жилой инфраструктуры, снизить человеческий фактор и повысить точность оценки. Это особенно важно в условиях кризисных ситуаций, когда скорость реагирования и эффективность действий играют решающую роль.

Значимость автоматизированных методов восстановления жилой инфраструктуры неоспорима. Они позволяют оптимизировать расходы на восстановление, ускорить процесс принятия решений и обеспечить более точное планирование работ. Это способствует более эффективному использованию ресурсов и повышению качества жизни людей, находящихся в зоне чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, использование алгоритмов машинного обучения для оценки повреждений объектов жилой инфраструктуры после чрезвычайных ситуаций открывает новые возможности для эффективного и быстрого восстановления после катастрофических событий. Этот подход является ключевым элементом современной стратегии обеспечения безопасности и благополучия населения в условиях кризисных ситуаций.

References

- Chachra G., Kong Q., Huang J., Korlakunta S., Grannen J., Robson A., Allen R.M. 2022. Detecting damaged buildings using real-time crowdsourced images and transfer learning. *Scientific reports*, 12(1), 8968. DOI: 10.1038/s41598-022-12965-0.
- Chicco D., Jurman G. 2020. The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC genomics*, 21, 1–13. DOI: 10.1186/s12864-019-6413-7.
- Creswell A., White T., Dumoulin V., Arulkumaran K., Sengupta B., Bharath A.A. 2018. Generative adversarial networks: An overview. *IEEE signal processing magazine*, 35(1), 53–65. DOI: 10.1109/MSP.2017.2765202.
- Han K., Wang Y., Tian Q., Guo J., Xu C. 2020. Ghostnet: More features from cheap operations. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1580–1589). DOI: 10.48550/arXiv.1911.11907.
- Hansen J.G., de Figueiredo R.P. 2024. Active Object Detection and Tracking Using Gimbal Mechanisms for Autonomous Drone Applications. *Drones*, 8(2), 55. DOI: 10.3390/drones8020055.

- Haryono A., Jati G., Jatmiko W. 2024. Oriented object detection in satellite images using convolutional neural network based on ResNeXt. *ETRI Journal*, 46(2), 307–322. DOI: 10.4218/etrij.2022-0446.
- Henderson P., Ferrari V. 2017. End-to-end training of object class detectors for mean average precision. In *Computer Vision–ACCV 2016: 13th Asian Conference on Computer Vision*, Taipei, Taiwan, November 20–24, 2016, Revised Selected Papers, Part V 13 (pp. 198–213). Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-54193-8_13.
- Hu S., Wang P., Hoare C., O'Donnell J. 2022. Building occupancy detection and localization using CCTV camera and deep learning. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(1), 597–608. DOI: 10.1109/JIOT.2022.3201877.
- Indumathi, C. P., Santhoshsivan, V., Selvakumar, R. (2024). ResNet and ResNeSt-Based Deep-Learning. In *Digital Geography: Proceedings of the International Conference on Internet and Modern Society (IMS 2023)* (p. 215). Springer Nature. DOI: 10.1007/978-3-031-67762-5_17.
- Jiang P., Ergu D., Liu F., Cai Y., Ma B. 2022. A Review of Yolo algorithm developments. *Procedia computer science*, 199, 1066–1073. DOI: 10.1016/j.procs.2022.01.135.
- Kallas J., Napolitano R. 2023. Automated large-scale damage detection on historic buildings in post-disaster areas using image segmentation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 797–804. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-797-2023.
- Karacı A. 2022. VGGCOV19-NET: automatic detection of COVID-19 cases from X-ray images using modified VGG19 CNN architecture and YOLO algorithm. *Neural Computing and Applications*, 34(10), 8253–8274.
- Kaur R., Singh S. 2023. A comprehensive review of object detection with deep learning. *Digital Signal Processing*, 132, 103812. DOI: 10.1016/j.dsp.2022.103812.
- Khan S., Naseer M., Hayat M., Zamir S. W., Khan F. S., Shah, M. 2022. Transformers in vision: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 54(10s), 1–41. DOI: 10.1145/3505244.
- Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 25. DOI: 10.1145/3065386.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E. 2017. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, 60(6), 84–90. DOI: 10.1145/3065386.
- Li X., Caragea D., Zhang H., Imran M. 2018. Localizing and quantifying damage in social media images. In *2018 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)* (pp. 194–201). IEEE. DOI: 10.1109/ASONAM.2018.8508298.
- Lin C.L., Wu K.C. 2023. Development of revised ResNet-50 for diabetic retinopathy detection. *BMC bioinformatics*, 24(1), 157. DOI: 10.1186/s12859-023-05293-1.
- Liu C., Sui H., Wang J., Ni, Z., Ge L. 2022. Real-time ground-level building damage detection based on lightweight and accurate YOLOv5 using terrestrial images. *Remote Sensing*, 14(12), 2763. DOI: 10.3390/rs14122763.
- Mikołajczyk A., Grochowski M. 2018. Data augmentation for improving deep learning in image classification problem. In *2018 international interdisciplinary PhD workshop (IIPHDW)* (pp. 117–122). IEEE. DOI: 10.1109/IIPHDW.2018.8388338.
- Selvaraju R.R., Cogswell M., Das A., Vedantam, R., Parikh, D., Batra, D. 2017. Grad-cam: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 618–626). DOI: 10.1007/s00521-022-06918-x.
- Van Etten, A. 2018. You only look twice: Rapid multi-scale object detection in satellite imagery. DOI: 10.48550/arXiv.1805.09512.
- Woo S., Park J., Lee J.Y., Kweon I.S. 2018. Cbam: Convolutional block attention module. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 3–19). DOI: 10.48550/arXiv.1807.06521.
- Zhang Q. 2022. A novel ResNet101 model based on dense dilated convolution for image classification. *SN Applied Sciences*, 4, 1–13. DOI: 10.1007/s42452-021-04897-7.
- Zhao D., Shao F., Liu Q., Yang L., Zhang H., Zhang, Z. 2024. A Small Object Detection Method for Drone-Captured Images Based on Improved YOLOv7. *Remote Sensing*, 16(6), 1002. DOI: 10.3390/rs16061002.
- Zhu T., Chen J., Zhu R., Gupta G. 2023. StyleGAN3: generative networks for improving the equivariance of translation and rotation. *arXiv preprint arXiv:2307.03898*. DOI: 10.48550/arXiv.2307.03898.

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 15.02.2025

Received February 15, 2025

Поступила после рецензирования 03.03.2025

Revised March 03, 2025

Принята к публикации 04.03.2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Головко Ярослав Юрьевич, аспирант,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород,
Россия

Yaroslav Yu. Golovko, Postgraduate Student of
Belgorod State National Research University,
Belgorod, Russia

Ильинская Елена Владимировна, кандидат
экономических наук, доцент кафедры прикладной
информатики и информационных технологий,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород,
Россия

Elena V. Ilyinskaya, Candidate of Economic
Sciences, Associate Professor of the Department
of Applied Informatics and Information
Technology, Belgorod State National Research
University, Belgorod, Russia

УДК 004.94;303.732

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-168-180

Сравнение нормативной системы UML с нормативной системой УФО-подхода

¹ Зимовец О.А., ² Малкуш Е.В., ² Маторин С.И., ² Жихарев А.Г.

¹ ООО «Научно-производственное объединение “Технологии надежности”»

Россия, г. Белгород, ул. Королева, 2А

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85

ozimovets@mail.ru, malkush@bsuedu.ru, matorin@bsuedu.ru, zhikharev@bsuedu.ru

Аннотация. В работе сравниваются нормативные системы UML и системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» (УФО-подхода), реализующие графоаналитические методы моделирования и используемые для описания деловых, технологических процессов и информационных (программных) систем. Рассмотрено соответствие сущностей UML УФО-элементам, а также возможность эмулировать UML-диаграммы средствами УФО-подхода. Показано, что использование УФО-подхода позволяет усовершенствовать UML-диаграммы путем учета в рамках объектной парадигмы системного (процессного) подхода. Приведены примеры эмуляции UML-диаграммы вариантов использования (прецедентов) с помощью УФО-диаграммы для модели делового процесса и программной системы. Описана возможность системного обоснования выбора классов для объектного моделирования и создания документа «поток событий», а также диаграммы взаимодействия объектов. Полученные результаты позволяют разработать библиотеки и алгоритмы преобразования UML-моделей в модели УФО-подхода.

Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», УФО-подход, UML, графоаналитические модели процессов

Для цитирования: Зимовец О.А., Малкуш Е.В., Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2025. Сравнение нормативной системы UML с нормативной системой УФО-подхода. *Экономика. Информатика*, 52(1): 168–180. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-168-180

Comparison of the UML Normative System with the Normative System of UFO-approach

¹ Olga A. Zimovets, ² Elena V. Malkush, ² Sergey I. Matorin, ² Aleksandr G. Zhikharev

¹ Scientific and Production Association “Reliability Technologies”

2A Korolev St, Belgorod 308033, Russia

² Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia

ozimovets@mail.ru, malkush@bsuedu.ru, matorin@bsuedu.ru, zhikharev@bsuedu.ru

Abstract. The paper compares the normative systems of UML and the system-object approach "Unit-Function-Object" (UFO-approach), implementing graphic-analytical methods of modeling and used to describe business, technological processes and information (software) systems. The correspondence of UML-entities to UFO-elements, as well as the possibility of emulating UML-diagrams by means of the UFO-approach are considered. The study shows that the use of the UFO-approach allows improving UML-diagrams by taking into account the system (process) approach within the object paradigm. The article provides examples of emulation of a UML-diagram of use cases (precedents) using a UFO-diagram for a business process model and a software system. The authors describe the possibility of systemic justification of the choice of classes for object modeling and creation of a "flow of events" document, as well as an

© Зимовец О.А., Малкуш Е.В., Маторин С.И., Жихарев А.Г., 2025

object interaction diagram. The obtained results will allow developing libraries and algorithms for converting UML-models into UFO-approach models.

Keywords: system-object approach "Unit-Function-Object", UFO approach, UML, graphic-analytical models of processes

For citations: Zimovets O.A., Malkush E.V., Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2025. Comparison of the UML Normative System with the Normative System of UFO-approach. *Economics. Information technologies*, 52(1): 168–180 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-168-180

Введение

Средства графоаналитического моделирования (нотации, языки и т. д.), используемые для проектирования, анализа и реинжиниринга бизнес-процессов, организационных и программных систем, описываются как нормативные системы. Такие системы определяются (задаются) наборами графических символов и правилами построения из этих символов различных конструкций (диаграмм). Примерами нормативных систем графоаналитического моделирования являются нотации DFD, IDEF0, IDEF1, IDEF3, BPMN, семейство нотаций ARIS, а также UML.

Разнообразие нотаций моделирования, с одной стороны, обеспечивает аналитиков и разработчиков множеством возможностей для моделирования и анализа различных систем, но, с другой стороны, создает проблему выбора подходящей нотации, а также проблему перехода с одной нотации на другую, возникающую при изменении нотации моделирования, что обусловлено изменением целей моделирования, квалификации аналитиков и уточнением особенностей предметной области [Матвеев и др.]. Данное обстоятельство обеспечивает актуальность исследований и разработки универсальной нотации, обеспечивающей трансформацию одной нотации в другую без потери содержания.

Создание универсальной нотации, по мнению авторов, возможно исходя из следующих фактов. Каждый символ нормативной системы графоаналитического моделирования в рамках диаграммы, в которой он используется, связан с другими символами, т. е. является частью структуры этой диаграммы и, таким образом, представляет собой перекресток связей (узел). При этом графический символ в данном узле имеет в диаграмме определенную роль (функцию), а также может иметь характеристики объекта, выполняющего данную функцию. Следовательно, любой символ любой нормативной системы графоаналитического моделирования может быть описан как элемент «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент), т. е. средствами системно-объектного подхода.

В предыдущем выпуске данного журнала авторами были представлены результаты сравнительного анализа символов нормативных систем DFD, IDEF0, IDEF3, EPC и BPMN с символами нормативной системы системно-объектного подхода, которые показали их полное соответствие и возможность, таким образом, эмулировать диаграммы перечисленных выше нормативных систем с помощью УФО-элементов.

В данной статье авторами представлены результаты сравнительного исследования нормативной системы УФО-подхода с нормативной системой UML.

Нормативная система системно-объектного подхода (УФО-подхода)

Для понимания рассматриваемого в данной статье подхода и результатов необходимо обратить внимание на основные понятия системно-объектного подхода, кратко представленные ниже.

Система в рамках системно-объектного подхода описывается как элемент «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент) [Теория систем ...], где:

1. **узел** – **структурный элемент** надсистемы в виде перекрестка связей (потоков передаваемых элементов) системы с другими системами в этой надсистеме;

2. **функция** – **функциональный элемент**, выполняющий определенную роль для поддержания надсистемы путем балансирования данного узла (преобразования входных потоков в выходные);

3. **объект** – **субстанциальный элемент**, реализующий данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающего конструктивными, эксплуатационными и т. д. характеристиками.

Связи, как потоки элементов, классифицируются по содержанию на «Материальные связи» и «Информационные связи» и далее на категории: «Вещественные связи (V)», «Энергетические связи (E)» и «Связи по данным (D)», «Связи по управлению (C)».

Узел системы, по сути, описывает *внешнюю детерминанту системы* [Мельников], представляющую собой функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией (обуславливание функции системы функцией надсистемы); **функция** системы является *внутренней детерминантой системы* [Мельников], определяющей функциональные требования к ее подсистемам; а **объект** представляет саму систему, выполняющую функцию под влиянием функционального запроса, заданного узлом.

Графоаналитическая нотация моделирования, основанная на системно-объектном подходе (УФО-подходе), также представляет собой нормативную систему, определения элементов алфавита которой, а также правила манипулирования алфавитными символами и операции с ними приведены, например, в работе [Теория систем ...].

Сравнение символов нормативной системы УФО-подхода с UML

Основными символами UML [Спецификация ...], обозначающими структурные сущности, являются символы *класса* и *экземпляра (объекта)*. При этом класс обозначает совокупность объектов с общими атрибутами и операциями, а экземпляр – конкретную реализацию класса или объект. Таким образом, класс и экземпляр обладают структурными, функциональными и объектными характеристиками. Следовательно, в рамках УФО-подхода УФО-элемент, у которого определены структурные характеристики и функциональные, соответствует классу объектов, УФО-элемент, у которого определены еще и объектные характеристики, соответствует экземпляру. Объектные характеристики могут быть определены с разной степенью общности (абстрактности). Поэтому в зависимости от общности объектных характеристик УФО-элемент, определенный до уровня объекта, может рассматриваться и как класс, и как экземпляр.

К символам, обозначающим структурные сущности, относится также символ *интерфейса*, который определяет спецификации операций (сигнатуры), но не их реализацию, т. е. описывает видимое извне поведение элемента. Таким образом, интерфейс описывает входы и выходы некоторого процесса. Следовательно, УФО-элемент, у которого определены структурные характеристики (входные и выходные связи), соответствует интерфейсу.

Символ *прецедент/вариант использования* также обозначает структурную сущность, описывающую последовательности выполняемых системой действий, в результате которых образуется наблюдаемый результат, значимый для какого-нибудь определенного *актера*. Таким образом, прецедент, по сути дела, представляет собой функцию, реализуемую некоторой системой. Следовательно, УФО-элемент, у которого определены структурные характеристики и функциональные, соответствует прецеденту.

Особым видом структурной сущности, используемой вместе с прецедентом, является *актор*. Этот символ обозначает внешнюю по отношению к моделируемой системе сущность. Ему можно поставить в соответствие УФО-элемент, определенный или только структурно, или до уровня функции, или до уровня объекта в зависимости от решаемой задачи и целей моделирования.

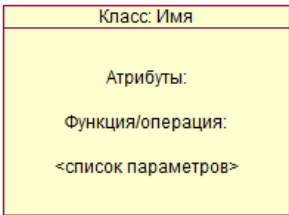
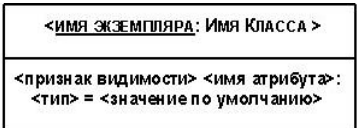
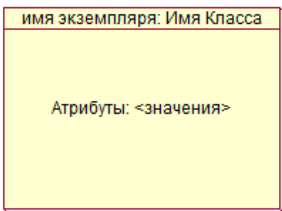
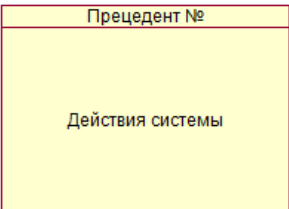
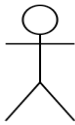
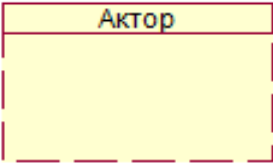
Символ поведенческой сущности *активность* обозначает алгоритм поведения, определяющий последовательность процессов, осуществляемых объектом или происходящих с объектом. Таким образом, активность, как и прецедент, по сути дела, представляет собой функцию, реализуемую некоторой системой. Следовательно, УФО-элемент, у которого определены структурные характеристики и функциональные, соответствует активности.

Символ поведенческой сущности *взаимодействие* обозначает обмен сообщениями между объектами (или операцией) для достижения определенной цели. Таким образом, взаимодействие – это передача информации от одного объекта к другому. Следовательно, в рамках нормативной системы УФО-подхода взаимодействию соответствует связь/поток информации (по данным или по управлению).

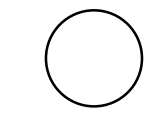
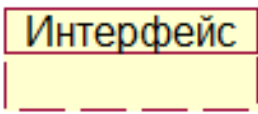
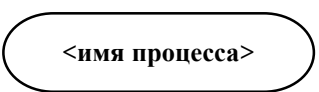
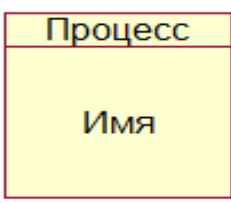
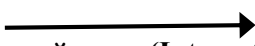
Результаты сравнения символов нормативных систем УФО-подхода и UML представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Соответствие элементов нормативных систем UML и УФО-подхода
Compliance of elements of normative systems based on UML and UFO-approach

Элементы нормативной системы UML	Элементы нормативной системы УФО-подхода	Название элемента и комментарий
1	2	3
 Класс (Class)		Классу UML соответствует УФО-элемент с именем класса, у которого определены характеристики 1 и 2 (атрибуты и параметры функционирования)
 Экземпляр (Instance)		Экземпляру UML соответствует УФО-элемент с именем экземпляра, у которого определены и описаны все три характеристики (значения атрибутов)
 Прецедент / Вариант использования (Use case)		Прецеденту UML соответствует УФО-элемент, названный прецедентом, у которого определены характеристики 1 и 2
 Актор		Актору UML соответствует УФО-элемент, названный актором, у которого определена только первая характеристика

Окончание табл. 1
End of table 1

1	2	3
 Интерфейс (Interface)		Интерфейсу UML соответствует УФО-элемент, названный интерфейсом, у которого определена только первая характеристика
 Активность (Activity)		Активности UML соответствует УФО-элемент, названный процессом, у которого определены характеристики 1 и 2
 Взаимодействие (Interaction)		Взаимодействию UML соответствует информационная связь (по данным и управлению) нормативной системы УФО-подхода

Эмуляция UML-диаграмм средствами УФО-подхода

С появлением объектно-ориентированного подхода (ООП) в программировании возникла проблема на этапе анализа деятельности, для которой разрабатывается ПО. Данная проблема заключается в том, что средства системно-структурного (процессного) анализа, успешно используемые при традиционном алгоритмическом подходе, в рамках ООП оказались малоэффективными, что показано, например, в работе [Иордан]. В связи с этим апологетами ООП было предложено использовать UML не только по прямому назначению, как средства моделирования ПО, но и для моделирования организационных систем, бизнеса. Методология такого использования представлена, например, в работе [Ойхман, Попов]. Данная методология сводится к построению средствами ООП двух моделей – *внешней* и *внутренней*.

Внешняя модель – прецедент-модель (П-модель) описывает бизнес и его окружение, предприятие в целом и его внешний мир (сегмент рынка), а также процессы, которые удовлетворяют интересы клиентов и интересы вне предприятия. Процессы моделируются при помощи UML-диаграммы *прецедентов (вариантов использования)*, а окружение моделируется при помощи так называемых действующих лиц или *субъектов (акторов)*.

Внутренняя модель – объект-модель (О-модель) описывает, как строится каждый бизнес-процесс предприятия из различных рабочих задач (внутренних процессов) и какие ресурсы он использует. Внутренняя модель использует объекты, соответствующие рабочим задачам, и объекты, соответствующие предметам бизнеса, например, продукцию. О-модель представляет собой UML-диаграммы *классов* и *взаимодействия объектов*.

Если прецеденты выражают, что бизнес должен делать, то внутренняя модель описывает, как бизнес работает. Таким образом, П-модель – есть «что модель», а О-модель – «как модель».

На рис. 1 представлен фрагмент реально использованной при проектировании ресторанного бизнеса П-модели деятельности ресторана.

На данном примере видно, что UML как средство моделирования бизнеса малоэффективно. Это обусловлено тем, что бизнес, направленный на удовлетворение потребностей клиента, всегда представляет собой и поток работ (процессов), и поток ресурсов. Т. е. из любой бизнес-модели должно быть, в частности, понятно, что получает клиент и из каких ресурсов это делается. Такая возможность в UML не предусмотрена в связи с его первоначальным предназначением. В связи с этим, собственно, объектно-ориентированным сообществом и была предложена низкоуровневая нотация BPMN, которая, по сути дела, является гибридом нескольких нотаций, и, на самом деле, не использует ни системный, ни объектный подходы.

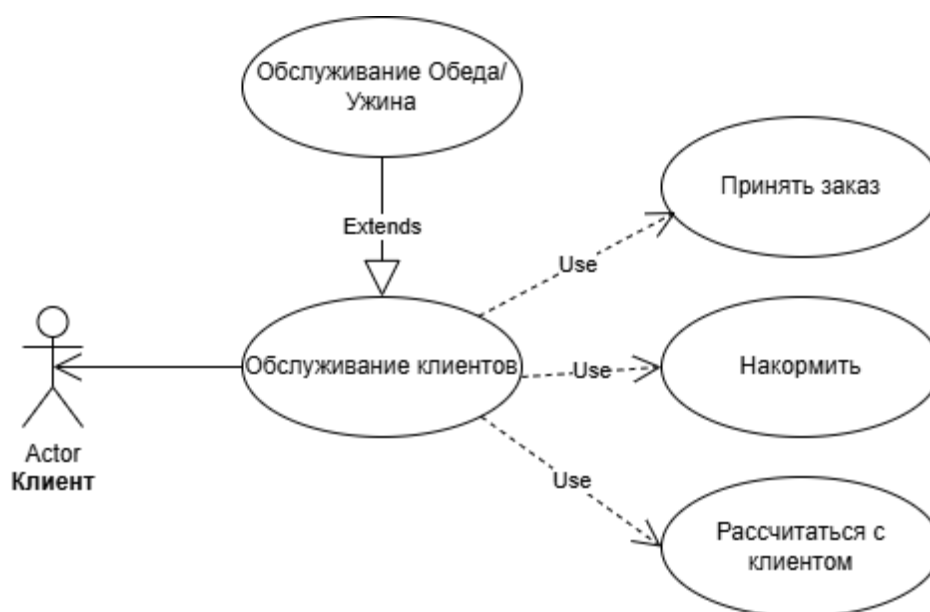


Рис. 1. Фрагмент П-модели деятельности ресторана (UML-диаграмма прецедентов)
Fig. 1. Fragment of the P-model of restaurant activities (UML-use case diagram)

П-модель не работает сама по себе. Для ее использования к каждому прецеденту должен быть привязан документ «поток событий». В этом документе необходимо описывать входные данные из внешнего мира; процессы, которые он производит над исходными данными; потребляемые ресурсы, и выход (результат). Однако надо иметь в виду, что данный документ не имеет отношения к самому UML, а является средством компенсации отсутствия в UML системного (в том числе процессного) подхода.

Описание потока событий представляет собой плавный переход к О-модели и, в первую очередь, к иерархии классов объектов (сущностей), участвующих в выполнении процессов, предусмотренных прецедентами. Однако в настоящее время задача выделения классов и объектов не имеет законченного формального решения. «Подходящее множество объектов для конкретной области приложения обеспечивает повторное применение системы и возможности ее расширения, а также гарантирует качество и продуктивность потенциальных улучшений, присущих объектно-ориентированной парадигме. ... Без формальных методов определения объектов разработчики программного обеспечения рискуют остаться просто хакерами на объектном уровне» [Иордан, с. 23]. При этом в литературе по ООП отмечается, что «к сожалению, пока не разработаны строгие методы классификации и нет правила, позволяющего выделять классы и объекты. ... Как и во многих технических дисциплинах, выбор классов является компромиссным решением» [Буч, с. 147]. Существующие методики на сегодняшний день предлагают эвристические правила идентификации классов и объектов, основанные на опыте классификации в других

Наличие разных вариантов и отсутствие каких-либо обоснований этих вариантов свидетельствует о том, что на сегодняшний день системные методы классифицирования, позволяющие обоснованно выделять классы и объекты, в объектно-ориентированной технологии пока еще не применяются. Таким образом, переход к О-модели от П-модели (к диаграмме классов от диаграммы прецедентов) является творческим процессом, выполняющимся в стиле «я художник, я так вижу», что не может не влиять на качество моделей.

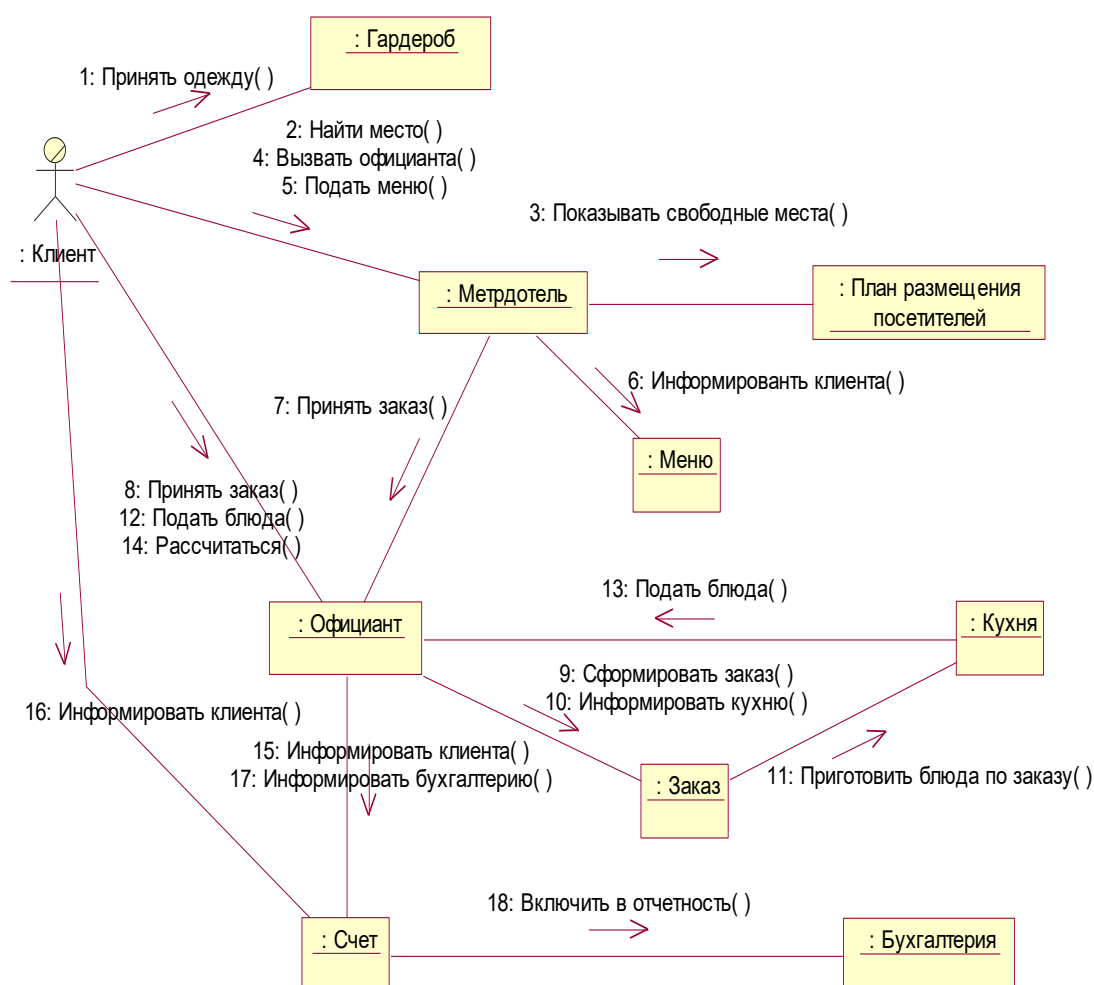


Рис. 2. UML-диаграмма взаимодействия объектов (кооперации) для прецедента «Обслуживание Обеда/Ужина» как часть О-модели деятельности ресторана
Fig. 2. UML-diagram of object interaction (cooperation) for the “Lunch/Dinner Service” use case as part of the O-model of restaurant activities

В соответствии с информацией, представленной в табл. 1, можно изобразить диаграмму прецедентов на рис. 1 с помощью УФО-элементов (УФО-прецедентов). Однако это приведет просто к замене овальных значков UML на прямоугольные значки УФО-подхода, что не добавит нам никакой информации. Но, если мы воспользуемся всеми возможностями УФО-подхода, то сможем добавить на диаграмму прецедентов дополнительную информацию. Рассмотрим, каким образом это может быть сделано.

Главная проблемы диаграммы прецедентов UML, в частности, при моделировании организаций (бизнеса), заключается в том, что сама по себе она не учитывает, что требуется клиенту и из чего это можно получить, утверждается только факт того, что клиента надо обслужить. Таким образом, диаграмме прецедентов, по сути дела, не хватает системного (системно-структурного, процессного) подхода, который учитывает не только последовательности процессов, но и потоки ресурсов. В связи с этим авторы предлагают уточнить УФО-диаграмму прецедентов, в первую очередь, путем учета функциональных связей прецедента (процесса) «Обслуживание Обед/Ужина», как показано на рис. 3.

Преимущество данной диаграммы по сравнению с диаграммой на рис. 1 состоит в том, что она отражает ресурсы, используемые для удовлетворения клиента, и результаты, которые клиент получает. Кроме того, УФО-диаграмма прецедента может быть декомпозирована как показано на рис. 4.

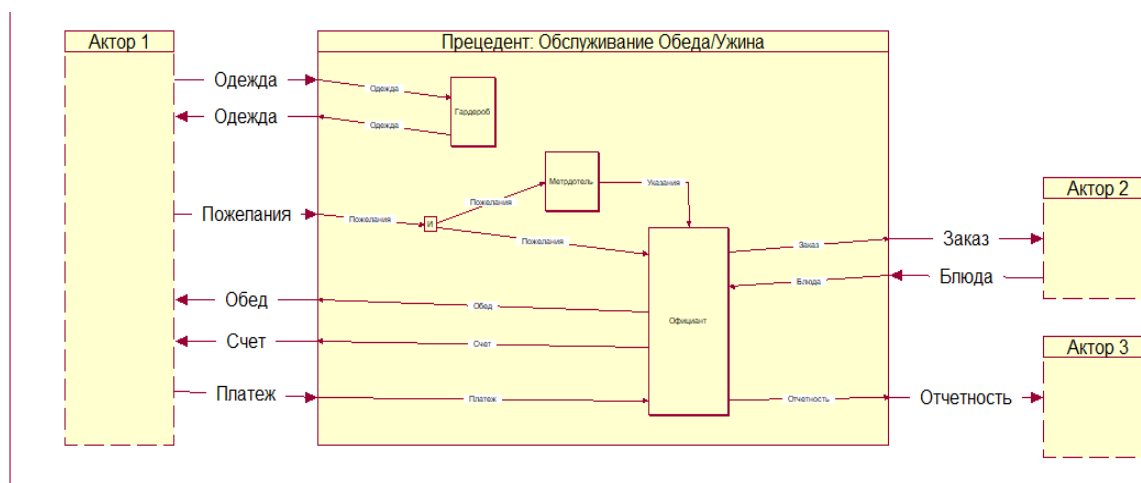


Рис. 3. УФО-диаграмма прецедента «Обслуживание Обед/Ужина»

Fig. 3. UFO-diagram of the “Lunch/Dinner Service” use case

Представленная диаграмма на рисунке 4 полностью соответствует требованиям, предъявляемым к документу «поток событий». Она описывает входные данные из внешнего мира; процессы, которые необходимо произвести над исходными данными; потребляемые ресурсы; выход (результат), который процесс отправит во внешний мир. Таким образом, учет с помощью УФО-подхода системного подхода при построении диаграммы прецедентов позволяет не создавать для прецедента документ «поток событий». Тем более, что процессы в УФО-диаграмме декомпозиции прецедента также могут быть декомпозированы до любого требуемого уровня подробности.

Кроме того, диаграмма на рис. 4 содержит, по сути дела, ту же информацию, что и диаграмма взаимодействия объектов на рис. 2. При этом нам не понадобилось предварительно определять классы, экземпляры которых мы будем использовать. Мы сразу определили объекты (экземпляры), используя функциональные связи прецедента и интерфейсную декомпозицию, предложенную в работе [Зимовец, Маторин]. Таким образом, мы определили и классы, но не путем предложения их разработчиком на основе опыта, а на основе формализованной процедуры системной декомпозиции.

Рассмотрим далее возможность эмулярования UML-диаграмм средствами УФО-подхода при моделировании информационных систем, т. е. при использовании UML по прямому назначению для моделирования ПО. На рис. 5 представлена диаграмма прецедентов, реально использовавшаяся при проектировании терминальной системы розничной торговли.

В результате анализа деятельности в сфере розничной торговли авторами данного проекта был предложен следующий набор классов для прецедента «Продать товар»: Каталог товаров; Товар; Элемент продажи; Платеж и Продажа. В итоге была разработана диаграмма взаимодействия объектов для данного прецедента, представленная на рис. 6.

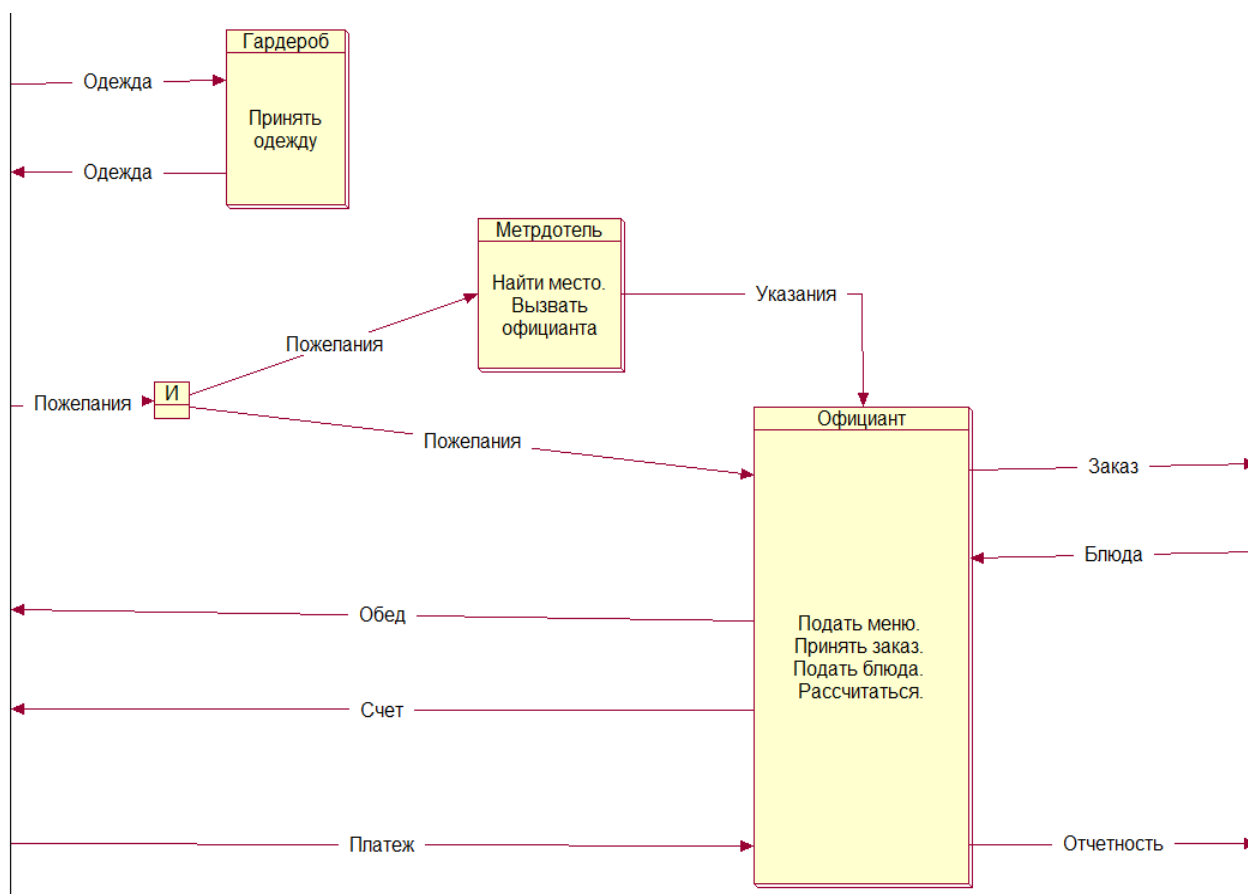


Рис. 4. УФО-диаграмма декомпозиции для прецедента «Обслуживание Обеда/Ужина»

Fig. 4. UFO-decomposition diagram for the “Lunch/Dinner Service” use case

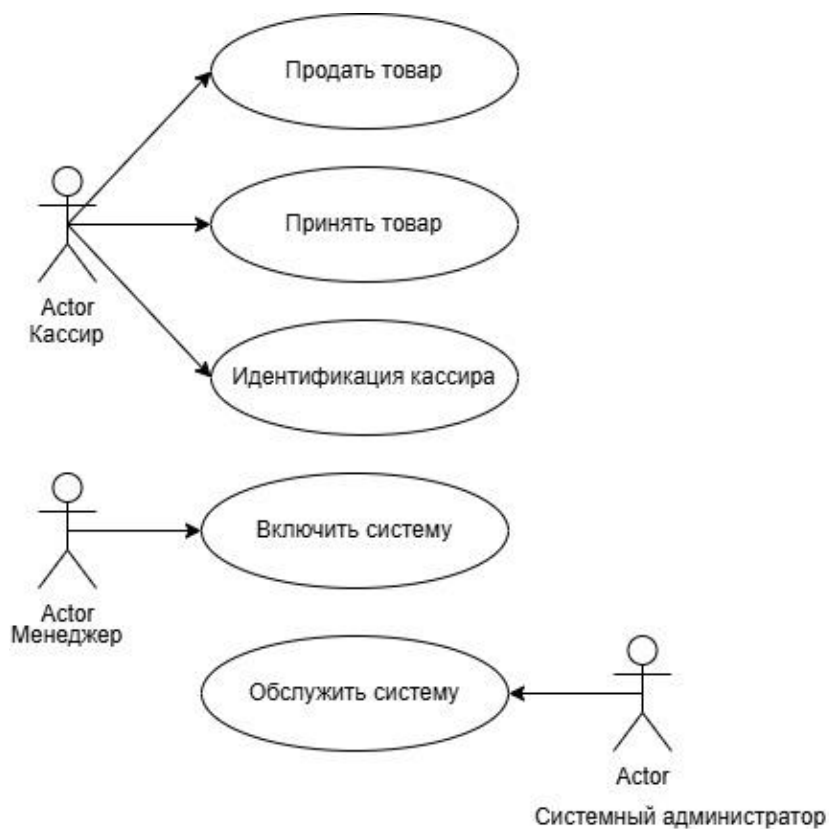


Рис. 5. UML-диаграмма прецедентов терминальной системы розничной торговли

Fig. 5. UML-diagram of use cases of a retail terminal system

UML-диаграмму на рис. 5 можно представить, аналогично рассмотренному выше примеру, в виде УФО-диаграммы прецедентов с учетом функциональных связей (см. рис. 7). При этом, естественно, придется учесть дополнительные внешние сущности (акторы), в большей степени отражающие реальные взаимодействия разрабатываемой системы.



Рис. 6. UML-диаграмма взаимодействия объектов для прецедента «Продать товар»
Fig. 6. UML-diagram of object interaction for the “Sell a product” use case

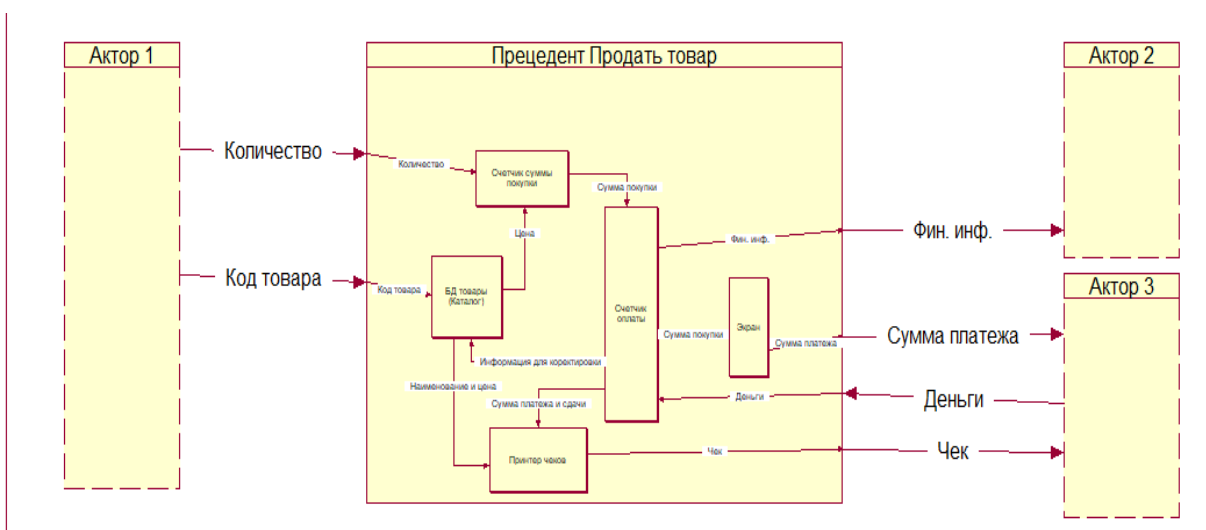


Рис. 7. УФО-диаграмма прецедента «Продать товар»
Fig. 7. UFO-diagram of the “Sell a product” use case

Системная интерфейсная декомпозиция УФО-прецедента на основании функциональных связей позволяет получить, как и в предыдущем примере, и документ «поток событий», и диаграмму взаимодействия объектов, представленные на рис. 8.

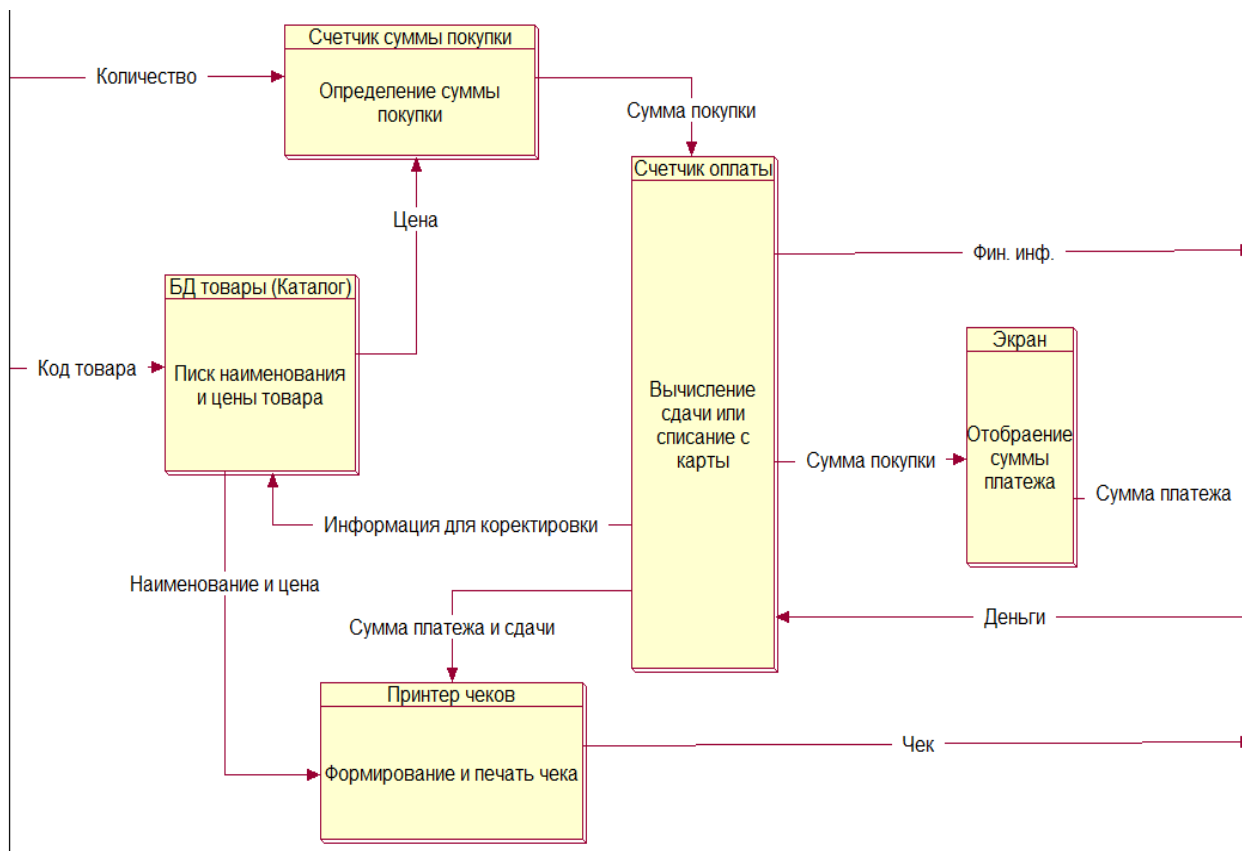


Рис. 8. УФО-диаграмма декомпозиции для прецедента «Продать товар»

Fig. 8. UFO-decomposition diagram for the “Sell a product” use case

Как и в предыдущем примере, получаются другие классы, но обеспечивающие тот же функционал. При этом классы, получаемые в результате декомпозиции УФО-прецедента, не просто предложены разработчиком, а обоснованы процедурой получения объектов, обеспечивающих функциональную способность прецедента.

Заключение

Представленные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, таблица соответствия элементов UML и УФО-элементов показывает возможность преобразования UML-диаграмм в диаграммы УФО-подхода.

Во-вторых, замена элементов UML на УФО-элементы позволяет не просто изменить вид диаграммы, а усовершенствовать ее за счет добавления дополнительной информации, обеспечивающей большее соответствие моделируемому объекту. Например, эмулируя UML-диаграмму прецедентов с помощью УФО-подхода и уточняя ее, мы получаем и документ «поток событий», и диаграмму взаимодействия объектов как результат процедуры системной декомпозиции УФО-диаграммы прецедента, что значительно экономит время разработки модели организации.

Полученные результаты позволяют разработать метод и алгоритм преобразования графоаналитических UML-моделей в универсальную нотацию УФО-подхода. При этом получаемые УФО-модели объединяют и системный, и объектный подходы.

Список литературы

- Буч Г. 1999. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++, 2-е изд. Пер. с англ. М.: «Издательство Бином», СПб.: «Невский диалект», 560 с.
- Зимовец О.А., Маторин С.И. 2012. Моделирование административных процедур с использованием системного подхода «Узел-Функция-Объект». *Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика*. 1(120): 166–172.
- Йордан Э., Аргила К. 1999. Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании. М.: «ЛОРИ», 264 с.
- Матвеев А.С., Руденко А.Ю., Прочухан В.В. 2016. Разработка рекомендаций перехода от нотации моделирования бизнес-процессов IDEF0 к нотации BPMN. *Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса*. 3(36): 176–182.
- Мельников Г.П. 1978. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 368 с.
- Ойхман Е.Г., Попов Э.В. 1997. Реинжиниринг бизнеса. М.: Финансы и статистика, 336 с.
- Спецификация унифицированного языка моделирования версии 2.5.1. URL: <http://www.omg.org/spec/UML>
- Теория систем и системный анализ: учебник. 2021. А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко; под ред. С.И. Маторина. М.: КНОРУС, 456 с.
- Шлеер С., Меллор С. 1993. Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях. Пер. с англ. К.: Диалектика, 240 с.
- Coad P., Yourdon E 1990. Object-Oriented Analysis. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice-Hall. 249 p.
- Ross R. 1987. Entity Modeling: Techniques and Application. Boston, MA: Database Research Group. 218 p.

References

- Buch G. 1999. Ob'yektno-oriyentirovannyy analiz i proyektirovaniye s primerami prilozheniy na S++ [Object-Oriented Analysis and Design with Examples of C++], 2-ye izd. Per. s angl. M.: "Izdatel'stvo Binom", SPb.: "Nevskiy dialect", 560 p.
- Zimovets O.A., Matorin S.I. 2012. Modeling of administrative procedures with based on system approach "Unit-Function-Object". *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: History. Political science. Economics. Information technologies*, 1(120): 166–172 (in Russian).
- Yordan E., Argila K. 1999. Strukturnyye modeli v ob'yektno-oriyentirovannom analize i proyektirovanii [Structural models in object-oriented analysis and design]. Moskva: "LORI", 264 p.
- Matveev A.S., Rudenko A.YU., Prochuhan V.V. 2016. Razrabotka rekomendacij perekhoda ot notatsii modelirovaniya biznes-processov IDEF0 k notatsii BPMN [Development of recommendations for the transition from IDEF0 business process modeling notation to BPMN notation]. *Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa* [Business. Education. Right. Bulletin of the Volgograd Institute of Business]. 3(36): 176–182.
- Mel'nikov G.P. 1978. Sistemologiya i yazykovye aspekty kibernetiki [Systemology and linguistic aspects of cybernetics]. Moskva: Sov. radio, 368 p.
- Oykhman Ye.G., Popov E.V. 1997. Reinzhiniring biznesa [Business Reengineering] Moskva: Financy i statistika, 336 p.
- Spetsifikatsiya unifitsirovannogo yazyka modelirovaniya versii 2.5.1. [Unified Modeling Language Specification Version 2.5.1.] URL: <http://www.omg.org/spec/UML>
- Teoriya sistem i sistemnyj analiz: uchebnik [Systems Theory and System Analysis: textbook]. 2021. S.I. Matorin, A.G. ZHiharev, O.A. Zimovec, M.F. Tubol'cev, A.A. Kondratenko edited by S.I. Matorina. M.: KNORUS, 456 p.
- Shleyer S., Mellor S. 1993. Ob'yektno-oriyentirovannyy analiz: modelirovaniye mira v sostoyaniyakh [Object-oriented analysis: modeling the world in states]. Per. s angl. K.: Dialektika, 240 p.
- Coad P., Yourdon E 1990. Object-Oriented Analysis. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice-Hall. 249 p.
- Ross R. 1987. Entity Modeling: Techniques and Application. Boston, MA: Database Research Group. 218 p.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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



Поступила в редакцию 06.01.2025

Поступила после рецензирования 21.02.2025

Принята к публикации 04.03.2025

Received January 06, 2025

Revised February 21, 2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зимовец Ольга Анатольевна, кандидат технических наук, старший бизнес-аналитик ООО «Научно-производственное объединение “Технологии надежности”» г. Белгород, Россия

Малкуш Елена Викторовна, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 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

Olga A. Zimovets, Candidate of Technical Sciences, Senior Business Analyst, Scientific and Production Association “Reliability Technologies”, Belgorod, Russia

Elena V. Malkush, Postgraduate Student of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, 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

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 004.62,004.42

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-181-193

Алгоритмы и инструменты обработки данных о публикациях научных организаций, размещенных на портале eLIBRARY.RU

Резниченко О.С.

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

Аннотация. Научным организациям приходится ежегодно формировать разные виды внешних и внутренних отчетов о публикационной активности, значительная часть которых представляется в виде табличных данных. Большинство из отчетов создается на основе сведений с портала eLIBRARY.RU. В открытом доступе не представлены программные инструменты автоматизированного экспорта из eLIBRARY.RU списка публикаций научной организации в формат электронных таблиц, поэтому данное исследование ставит перед собой цель в разработке таких инструментов. В работе создан алгоритм экспорта и преобразования публикационных данных, использующий процессор электронных таблиц Microsoft Excel и скрипт на языке Python на базе функций класса Pandas.DataFrame. Разработанный алгоритм и программный инструментарий позволят сэкономить время специалистов, анализирующих публикационную активность научных организаций и их подразделений, за счет исключения ручной обработки данных.

Ключевые слова: наукометрия, xml в Excel, парсинг xml, Microsoft Excel, Pandas.DataFrame, Science Index, Python, список публикаций, отчет о публикационной активности

Для цитирования: Резниченко О.С. 2025. Алгоритмы и инструменты обработки данных о публикациях научных организаций, размещенных на портале eLIBRARY.RU. *Экономика. Информатика*, 52(1): 181–193. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-181-193

Algorithms and Tools for Processing Data on Scientific Organizations' Articles Uploaded to eLIBRARY.RU

Oleg S. Reznichenko

Belgorod State National Research University
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
oreznichenko@bsuedu.ru

Abstract. Scientific organizations frequently generate various types of external and internal publication activity reports. Most of the reports are presented in a tabular dataset format and are based on content from the eLIBRARY.RU portal. After reviewing and analyzing existing software tools for automated export of articles data from eLIBRARY.RU into a spreadsheet format, it was found that there are no ready-made software tools or open-source solutions publicly available that can be easily modified to solve this problem. This research aims to develop such software tools. The paper designs an algorithm for exporting and converting articles' XML metadata using Microsoft Excel and an original Python script. The Python script is created using the Pandas.DataFrame class. This algorithm and the software tools will reduce the time specialists spend analyzing the publication activity of scientific organizations and their departments by eliminating manual data processing.

© Резниченко О.С., 2025



Keywords: scientometrics, xml to Excel, xml parsing, Microsoft Excel, Pandas.DataFrame, Science Index, Python, list of articles, publication activity report

For citation: Reznichenko O.S. 2025. Algorithms and Tools for Processing Data on Scientific Organizations' Articles Uploaded to eLIBRARY.RU. *Economics. Information technologies*, 52(1): 181–193 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-181-193

Введение

Крупным государственным научным организациям в течение года приходится предоставлять большой объем отчетности о различных направлениях своей деятельности. Отчетность предоставляется как организацией в целом для внешних контролирующих органов (например, Минорбнауки), так и в форме внутренней отчетности между своими структурными подразделениями. Значительный объем этой отчетности касается публикационной активности организации, её сотрудников и структурных подразделений. Сейчас основной наукометрической базой данных, на которую ориентируется большинство государственных научных организаций, является российская научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (далее – elibrary.ru). В Белгородском государственном национальном исследовательском университете (далее – НИУ «БелГУ», университет) сотрудникам отдела научных коммуникаций и публикационной активности приходится формировать тот или иной отчет на основе данных их портала elibrary.ru минимум раз в неделю. Одной из частых задач в рамках предоставления отчетности является задача получения списка публикаций университета в различных разрезах. В качестве исходных данных для анализа публикаций применяется встроенная в elibrary.ru система фильтрации публикаций организаций, включающей набор predetermined признаков для фильтра. Среди примеров задач, включающих этапы экспорта и анализа списка публикаций, можно привести следующие задачи, которые регулярно возникают перед специалистами университета:

- 1) создание отчетов о деятельности Научно-образовательных центров мирового уровня;
- 2) формирование внутреннего рейтинга журналов, в которых публикуются сотрудники университета;
- 3) расчет фракционной доли представленности в публикациях структурных подразделений и университета в целом [Гуськов, Косяков, 2020];
- 4) мониторинг количества публикаций у сотрудников и подразделений.

При авторизованном доступе к elibrary.ru на странице со списком публикаций университета в результате применения фильтров представляется до 100 публикаций, включающих заглавие статьи, информацию об источнике и не всегда полный список авторов. Когда требуется обработать менее 100 публикаций, то имеющегося стандартного функционала достаточно для проведения анализа. Например, можно легко преобразовать веб-страницу с результатами поиска после применения фильтра в табличный документ, используя процессор электронных таблиц, например, Microsoft Office Excel (далее – Excel). Чаше возникают задачи, которые подразумевают обработку многостраничных результатов поиска. В таких случаях предлагается постранично сохранять и преобразовывать в табличный формат результаты фильтрации. Вопросы автоматизированной обработки сохраненных страниц со списком публикаций будут рассматриваться в другом исследовании, описывающем алгоритмы парсинга содержимого набора последовательно выгруженных веб-страниц с результатами поиска после применения фильтра.

В университете имеется подписка на использование функционала информационно-аналитической системы Science Index, в рамках которой, в том числе, доступна возможность экспортировать реферативную информацию о публикациях в рамках описанной ранее системы фильтров в формате xml [Научная электронная библиотека, 2024].

Вопросы экспорта и преобразования библиографических записей рассматриваются в работе [Желнов, 2022], но в представленном там программном обеспечении (далее – ПО)

имеется возможность обрабатывать только результаты использования расширенного поиска, в котором информация о публикациях представлена в урезанном виде. Кроме этого, описанные скрипты применимы только в связке с менеджером пользовательских скриптов Tampermonkey в виде расширения для браузера [Biniok, 2025], который надо устанавливать и настраивать дополнительно. Также среди существенных минусов работы можно указать наличие защиты от автоматического онлайн-парсинга, которое имеется на портале elibrary.ru [Попов и др., 2022], и которое, в свою очередь, потребует значительной адаптации предложенного скрипта для офлайн-парсинга содержимого веб-страниц. В нескольких источниках приводятся описания разработок и инструкции по экспорту публикационных данных с последующим их импортом в специализированные профильные библиографические информационные системы, в том числе:

- 1) «ИСТИНА» – Интеллектуальная Система Тематического Исследования НАукометрических данных [НИИ механики МГУ, 2018; ИФЗ РАН, 2018];
- 2) компьютерный обучающий комплекс для обучения, аттестации, переподготовки персонала на базе системы электронного обучения «Гефест» [Маврин, 2020];
- 3) 1С:Первый БИТ [ПервыйБИТ, 2017];
- 4) 1С: Университет ПРОФ [Сахалинский государственный университет, 2024];
- 5) Регистратор «CrossRef» и веб-сайты на базе системы управления содержимым сайта с открытым исходным кодом «WordPress» [Чуриков, 2018].

При этом особенности практической реализации приведенного инструментария в открытом доступе не представлено. Требуемый функционал, вероятно, реализован в исследованиях Кондратьева и Бондякова [2024], а также Шишкина и др. [2021], но их результатами также невозможно воспользоваться, так как они отсутствуют в открытом доступе.

Также в рамках договора Science Index разработчики портала elibrary.ru предоставляют доступ к API для получения только показателей публикационной активности авторов-сотрудников организации без возможности анализировать списки аффилированных публикаций [Научная электронная библиотека, 2024].

Используя имеющиеся в открытых источниках наработки, а также с учетом описанных выше ограничений, можно сформулировать задачу исследования, которая будет состоять в разработке метода и программного инструментария преобразования списка публикаций университета из экспортного формата xml в формат xlsx, в котором этот список был бы представлен в удобном для анализа виде.

В исследовании используется следующий программный инструментарий:

- 1) архиватор, поддерживающий распаковку zip-архивов;
- 2) Microsoft Office Excel версии не ниже версии 12 (2007) [Microsoft, 2025] для первичного преобразования экспортного xml-файла во входной файл для последующей программной обработки;
- 3) интерпретатор Python версии не ниже 3.12 [van Rossum, 2025];
- 4) PyCharm Community Edition версии не ниже 2024.3.1 в качестве интегрированной среды разработки для редактирования кода скриптов и компиляции конечной исполняемой программы [JetBrain, 2025].

Описание структуры входных и выходных данных

Экспортный xml-файл, полученный при использовании встроенного функционала elibrary.ru [Научная электронная библиотека, 2024], представляет собой многомерный массив записей (рис. 1).

В данном исследовании предлагается не производить синтаксический анализ xml-файла напрямую, а предварительно преобразовать его в таблицу, так как проще обрабатывать двумерные наборы данных, чем разбирать многомерную структуру xml-тегов и их значений.

Для преобразования xml-файла в двумерную таблицу можно воспользоваться стандартным функционалом Excel, используя инструкцию, например, приведенную в статье [Microsoft, 2025]. В процессе открытия файла xml Excel предложит создать xml-

схему автоматически. Необходимо отметить, что процесс преобразования в формат Excel может занять длительное время и зависит от размера исходного xml-файла, а также от характеристик гаджета, на котором производится преобразование.

```
1519-6984</issn><eissn>1678-4375</eissn><publisher>International Institute of Ecology
</publisher><country>BRA</country><vak>no</vak><rsci>no</rsci><wos>no</wos><scopus>yes
</scopus><white_list>no</white_list><doaj>yes</doaj></journal><issue><year>2024
</year><volume>84</volume></issue></source><pages>e257071</pages><language>EN
</language><cited>0</cited><titles><title lang="EN">Testing for the ability to modify
antibiotics of Panus tigrinus 8/18 Lentinus strigosus 1566 laccase
</title></titles><doi>10.1590/1519-6984.257071</doi><edn>CNFUJZ</edn><grnti>340000
</grnti><risc>yes</risc><corerisc>yes</corerisc><citation>Testing for the ability to
modify antibiotics of Panus tigrinus 8/18 Lentinus strigosus 1566 laccase / U. A.
Krut, G. M. Shaidorova, A. I. Radchenko [et al.] // Brazilian Journal of Biology. -
2024. - Vol. 84. - P. e257071. - DOI 10.1590/1519-6984.257071. - EDN CNFUJZ.
</citation><authors><author num="1" lang="EN"><lastname>Krut</lastname><initials>U.A.
</initials><authorid>758213</authorid><affiliations><affiliation num="1" lang="EN"
><orgname>Belgorod State University</orgname><orgid>340</orgid><country>rus
</country><town>Belgorod</town></affiliation></affiliations></author><author num="2"
lang="EN"><lastname>Shaidorova</lastname><initials>G.M.</initials><authorid>1005440
</authorid><affiliations><affiliation num="1" lang="EN"><orgname>Belgorod State
University</orgname><orgid>340</orgid><country>rus</country><town>Belgorod
</town></affiliation></affiliations></author><author num="3" lang="EN"><lastname>
Radchenko</lastname><initials>A.I.</initials><authorid>1144088
</authorid><affiliations><affiliation num="1" lang="EN"><orgname>Belgorod State
University</orgname><orgid>340</orgid><country>rus</country><town>Belgorod
</town></affiliation></affiliations></author><author num="4" lang="EN"><lastname>
Kuzubova</lastname><initials>E.V.</initials><authorid>1126845
</authorid><affiliations><affiliation num="1" lang="EN"><orgname>Belgorod State
University</orgname><orgid>340</orgid><country>rus</country><town>Belgorod
</town></affiliation></affiliations></author><author num="5" lang="EN"><lastname>
```

Рис. 1. Содержимое экспортного файла elibrary.ru
Fig. 1. Contents of the elibrary.ru export file

Результирующий файл представляет собой таблицу, в которой каждая запись – это статья, разбитая по количеству соавторов, их аффилиациям, используемым источникам, ключевым словам и некоторым другим полям (рис. 2).

Структура выходного табличного файла определяется потребностями решаемых задач. Предлагается создать избыточную структуру файла, чтобы он максимально перекрывал потенциальные потребности запрашиваемой формы отчетности. Набор полей выходных данных сформирован субъективно относительно круга решаемых сотрудниками отдела научных коммуникаций и публикационной активности задач на протяжении последних 8 лет аналитической деятельности. Этот набор полей может быть легко изменен под нужды конкретной задачи. Состав полей и их описание представлены в табл. 1.

Описание алгоритмов и особенностей реализации скриптов

На рис. 3 представлен алгоритм действий пользователя для формирования выходного табличного файла в формате Excel.

На рис. 4 представлен скриншот с примером настройки параметров фильтрации публикаций университета на портале elibrary.ru (шаги 1–2). Необходимо отметить, что выполнение поисковых запросов по фильтрам на этой странице может занимать значительное время и зависит как от общего количества публикаций научной организации на портале, так и загруженности портала в момент использования фильтров.

Процесс формирования экспортного файла также может занять длительное время. Письмо со ссылкой на сформированный файл придет на почту, привязанную к аккаунту, из-под которого выполняется выгрузка.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	id	linkurl	genre	type	id2	title	issn	eissn	publisher	country	vak	rsci
2	48188165	https://elibr	статья в жу	научная статья		Brazilian Jou 1519-6984	1678-4375	1678-4375	Internationa BRA		no	no
3	48188165	https://elibr	статья в жу	научная статья		Brazilian Jou 1519-6984	1678-4375	1678-4375	Internationa BRA		no	no
4	48188165	https://elibr	статья в жу	научная статья		Brazilian Jou 1519-6984	1678-4375	1678-4375	Internationa BRA		no	no
5	48188165	https://elibr	статья в жу	научная статья		Brazilian Jou 1519-6984	1678-4375	1678-4375	Internationa BRA		no	no
6	48188165	https://elibr	статья в жу	научная статья		Brazilian Jou 1519-6984	1678-4375	1678-4375	Internationa BRA		no	no
7	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
8	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
9	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
10	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
11	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
12	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
13	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
14	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
15	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
16	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
17	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
18	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
19	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
20	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
21	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
22	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
23	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
24	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
25	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes
26	56656587	https://elibr	статья в жу	научная статья		Теория и пр 0040-3601			Научно-изд RUS		yes	yes

Рис. 2. Содержимое файла Excel, полученного из экспортного файла xml

Fig. 2. Contents of Excel file converted from xml-file export

Таблица 1

Table 1

Структура табличного файла с выходными данными

Structure of the output table file

Название полей	Описание назначения полей и их типы
id	идентификатор публикации на портале elirbary.ru, целое
URL	интернет-ссылка на публикацию в elirbary.ru, строка
authors	список авторов, разделенный запятыми, строка
title	название источника публикации, строка
title5	название публикации, строка
year	год публикации, целое
imprints	выходные данные публикации, включающие название источника, год публикации, номер тома и выпуска, диапазон страниц в источнике
type	тип публикации, строка
risc	признак вхождения публикации в РИНЦ, строка
corerisc	признак вхождения публикации в Ядро РИНЦ, строка
doi6	DOI статьи, строка
pages	диапазон страниц публикации в источнике, строка
issn	идентификатор ISSN источника публикации, строка
eissn	идентификатор eISSN источника публикации, строка
vak	признак вхождения публикации в Перечень, рекомендованный ВАК, строка
rsci	признак вхождения публикации в RSCI, строка
wos	признак индексации публикации в БД Web of Science, строка
scopus	признак индексации публикации в БД Scopus, строка
white_list	признак вхождения публикации в журнал из «Белого списка», строка
number	номер выпуска публикации, строка
volume	номер тома выпуска публикации, строка
source	наименование источника публикации, строка
abstract	аннотация к публикации, строка

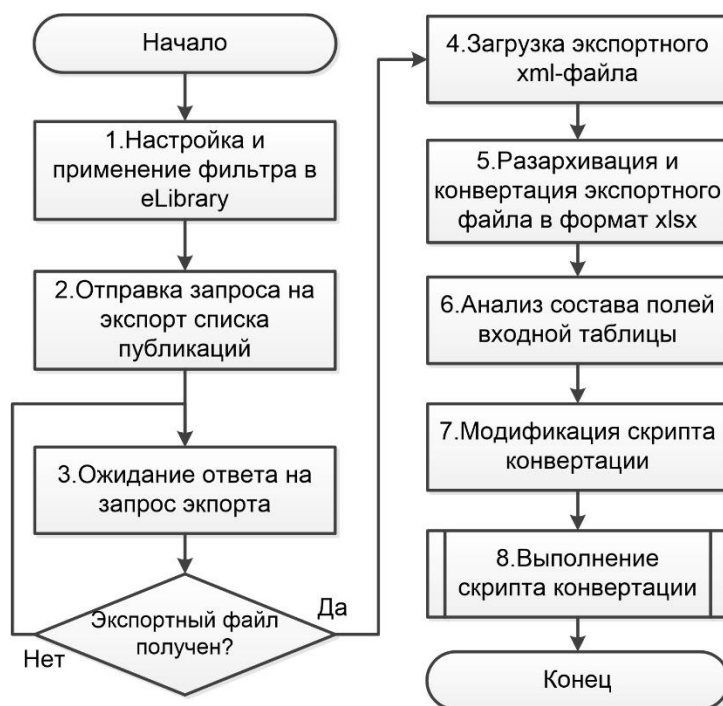


Рис. 3. Общий алгоритм экспорта и преобразования данных из elibrary.ru
Fig. 3. General algorithm for exporting and converting data from elibrary.ru

▲ ТИП ПУБЛИКАЦИИ (выделено: 11)

Сортировка: по числу публикаций ▼ Выделить все Снять выделение

- ☒ научная статья в журнале (41171)
- ☐ статья в сборнике трудов конференции (29760)
- ☐ диссертация (2473)
- ☐ тезисы доклада на конференции (2269)
- ☒ статья в журнале по материалам конференции (1706)
- ☒ статья в сборнике статей (1579)
- ☐ автореферат диссертации (1315)
- ☒ обзорная статья в журнале (1272)
- ☐ патент на изобретение (751)
- ☐ монография (613)
- ☐ учебная публикация (510)

▼ УЧАСТИЕ СОТРУДНИКА В ПУБЛИКАЦИИ

▼ УЧАСТИЕ ОРГАНИЗАЦИИ В ПУБЛИКАЦИИ

Выбор: публикации организации, включенные в РИНЦ ▼

Показывать: все публикации, в которых явно указана данная организация ▼

☐ - учитывать публикации, извлеченные из списков цитируемой литературы ?

☒ - объединять оригинальные и переводные версии статей и переиздания книг ?

Сортировка: по дате выпуска ▼ Порядок: по убыванию ▼

Очистить Поиск

Всего найдено 2011 публикаций с общим количеством цитирований: 238. Показано на данной странице: с 1 по 100.

№	Публикация	Цит.
1.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ "ПИРОГА" ДЛЯ МОТИВАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА У СТУДЕНТОВ УРОВНЕЙ А1 И А2	

Рис. 4. Пример выполнения фильтрации в списке публикаций научной организации
Fig. 4. An example of filtering a list of articles of a scientific organization

Как видно из инструкции пользователя [Научная электронная библиотека, 2024], экспортный файл приходит на почту в заархивированном виде. Архив нужно скачать, распаковать любым имеющимся архиватором, поддерживающим формат zip (шаги 4–5), а затем открыть вложенный xml-файл при помощи Excel согласно инструкции пользователя [Microsoft, 2025].

Анализ состава полей (шаг 6) промежуточного файла Excel, получившегося после выполнения предыдущего шага необходим, так как некоторые поля меняют своё наименование от выгрузки к выгрузке. На шаге 7 актуальные наименования переменных полей необходимо внести в скрипт конвертации.

Далее более подробно рассматривается структура и особенности создания скрипта конвертации, используемого на шаге 8.

Скрипт использует в качестве входных данных файл “_el_import.xlsx”, который был получен на шаге 5 общего алгоритма, и должен быть размещен в папке расположения скрипта. Структура исходного кода скрипта для конвертации формируется в соответствии с необходимостью последовательно генерировать содержимое столбцов электронной таблицы, согласно структуре файла итоговой электронной таблицы (см. табл. 1). Данные большинства столбцов формируются по алгоритму, представленному на рис. 5.



Рис. 5. Алгоритм генерации полей 'title', 'year', 'id', 'type', 'doi6', 'pages', 'issn', 'number', 'volume', 'source', 'abstract' и других в итоговом наборе данных

Fig. 5. Algorithm for creating columns 'title', 'year', 'id', 'type', 'doi6', 'pages', 'issn', 'number', 'volume', 'source', 'abstract' and others in the final data frame

В лист. 1 приведен пример скрипта реализации алгоритма формирования столбца 'abstract'. Данный скрипт использует встроенные функции класса Pandas.DataFrame (далее – dataframe) [Van den Bossche Joris at al, 2024], и может считаться типовым шаблоном, на основе которого формируются остальные скрипты для генерации содержимого полей 'title', 'year', 'id', 'type', 'risc', 'corerisc', 'doi6', 'pages', 'issn', 'eissn', 'vak', 'rsci', 'wos', 'scopus', 'number', 'volume', 'source', 'abstract'. В результате работы скрипта формируется фрейм данных, содержащий поля 'id' и 'abstract', как результат исключения всех дублей значений в поле 'id', кроме первого (или последнего, в зависимости от столбца)

Листинг 1. Пример генерации фрейма данных с полями 'id' и 'abstract'

Source Code 1. Example of creating a dataframe with columns 'id' and 'abstract'

```

dftmp = elinp.dropna(subset=['abstract'])
dfabs = dftmp[['id', 'abstract']]
dfabs = dfabs.drop_duplicates(subset = ['id'], keep = 'first')
  
```

Данные полей 'id' и 'linkurl' получаются в виде списков посредством применения функции извлечения уникальных значений столбца данных `dataframe.unique()`

```
ids = elinp['id'].unique()
urls = elinp['linkurl'].unique()
```

На рис. 6 представлена часть алгоритма генерации поля 'authors', содержащего данные о соавторах публикаций. Особенностью реализации данного алгоритма является необходимость предварительно преобразовать данные поля 'initials' из формата «Имя Отчество» или «И.О.» в формат «И.О.». Результатом выполнения алгоритма является новый столбец 'FIO', в котором имена соавторов записаны в формате «Фамилия И.О.». На основе значений столбца 'FIO' генерируется список 'au_lst', в котором каждый элемент представляет список соавторов каждой из публикаций в формате «Фамилия И.О.», разделенных запятыми (лист. 2).

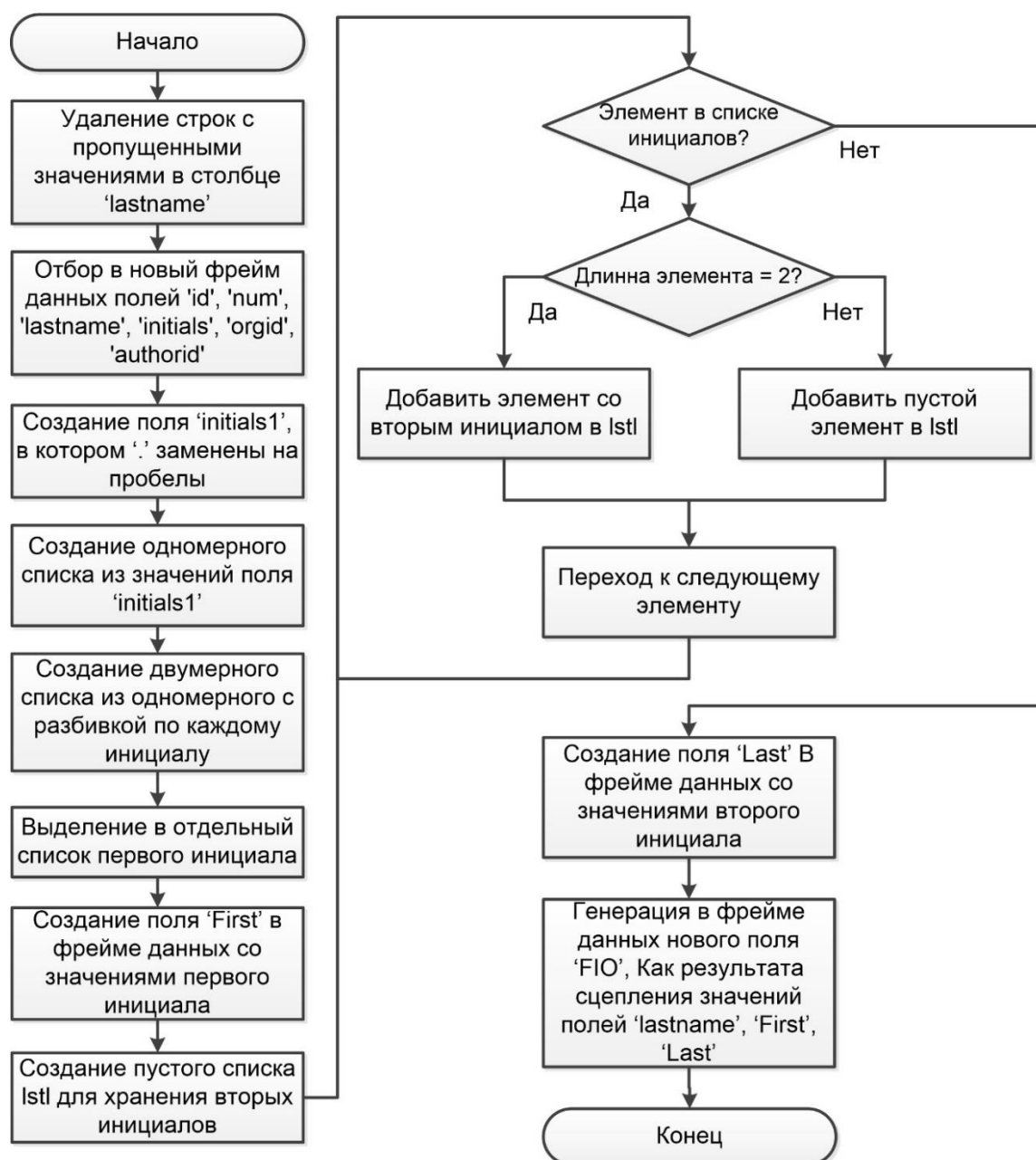


Рис. 6. Генерация значений полей с фамилией и инициалами в формате «Фамилия И.О.»
 Fig. 6. Creating column values with last name and initials in form "Last name Initial1.Initial2."

Листинг 2. Генерация значений поля 'authors' в виде списка 'au_lst'
Source Code 2. Creating 'authors' column values as a list 'au_lst'

```
au_lst = []
for i in ids:
    dfnew = elout1[elout1['id'] == i]
    dfnew = dfnew.drop_duplicates(subset=['FIO'], keep='first')
    tmp = dfnew['FIO'].values
    au_lst.append(', '.join(tmp))
```

Зачастую в публикационной отчетности встречаются задачи, связанные с формированием списков публикаций с выходными данными. В выходном файле типа Excel имеется достаточно полей для формирования подобного списка путем сцепления значений нескольких уже имеющихся столбцов. В данной работе предлагается автоматизировать и этот функционал. На рис. 7 представлен алгоритм формирования списка 'vyhodnye', в котором каждый элемент – это строка с выходными данными публикаций, составленный по следующему шаблону:

[Название источника\журнала (source)], [Год (year)]. – [Том (volume)]. –
[Выпуск (number)]. – с. [Страницы (pages)]

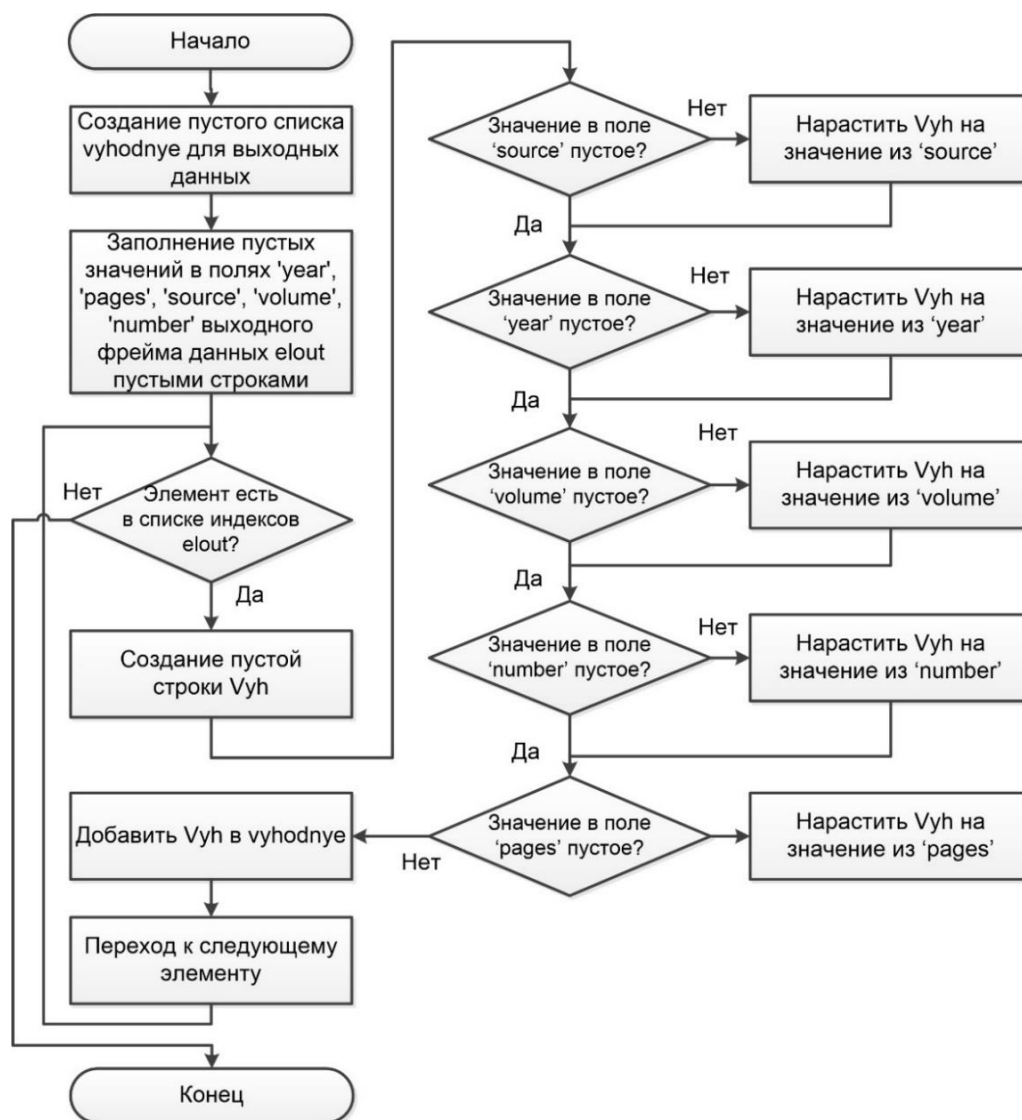


Рис. 7. Алгоритм генерации списка с выходными данными публикаций
Fig. 7. Algorithm for creating a list with articles output data

Последний блок кода посвящен объединению всех сгенерированных наборов данных, полученных на прошлых этапах в один фрейм данных. В список для объединения попадают фреймы данных `dftitles`, `dfyear`, `dfdtype`, `dfpages`, `dfissn`, `dfsourсe`, `dfabs`. Эти фреймы объединяются в один общий фрейм `elout` при помощи функции `dataframe.merge`, а столбцы 'id', 'URL', 'authors', 'imprints' заполняются данными из списков `ids`, `urls`, `au_lst` и `vyhodnye` соответственно.

После применения описанной последовательности скриптов будет получен файл `_el_export.xlsx`, имеющий пригодный для дальнейшего использования формат и набор данных (рис. 8).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	id	URL	author	title	year	imprint	type	risc	corerist	doi7	pages	issn	eissn	vak	
2	48188165	https://eli	Krut U.A., Testing fo	2024 Brazilian J	научная с	yes	yes	yes	10.1590/1	e257071	1519-6984	1678-4375	no	no	
3	56656587	https://eli	Третьякое Формиро	2024 Теория и	научная с	yes	yes	yes			106-108	0040-3601		yes	yes
4	56739445	https://eli	Михайлич ОСОБЕНН	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			3-7		1561-691€	no	no
5	56739446	https://eli	Синицына ТРЕТЕЙСК	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			8-11		1561-691€	no	no
6	56739447	https://eli	Сова П.Н. ПРОБЛЕМ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			12-17		1561-691€	no	no
7	56739448	https://eli	Рассолов: АДМИНИ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			18-23		1561-691€	no	no
8	56739450	https://eli	Голубева РАЗВИТИЕ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			28-33		1561-691€	no	no
9	56739451	https://eli	Дахова А. ОБЪЕКТЫ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			34-37		1561-691€	no	no
10	56739452	https://eli	Банченко ПРОБЛЕМ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			38-40		1561-691€	no	no
11	56739453	https://eli	Михайлич САЙТ КАК	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			41-47		1561-691€	no	no
12	56739454	https://eli	Петрова Е АКТУАЛЬ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			48-51		1561-691€	no	no
13	56739455	https://eli	Лазовская СУЩНОСТ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			52-54		1561-691€	no	no
14	56739456	https://eli	Тарасенко ИСТОРИЯ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			55-60		1561-691€	no	no
15	56739457	https://eli	Димитров ПРАВООВО	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			61-63		1561-691€	no	no
16	56739458	https://eli	Рязанцев: АКТУАЛЬ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			64-68		1561-691€	no	no
17	56739461	https://eli	Тесленко НАДРУГАТ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			69-73		1561-691€	no	no
18	56739462	https://eli	Шевкуное Уголовно	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			74-80		1561-691€	no	no
19	56739463	https://eli	Фендрикс ПОНЯТИЕ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			81-88		1561-691€	no	no
20	56739465	https://eli	Амелина ПРОБЛЕМ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			89-94		1561-691€	no	no
21	56739467	https://eli	Клавдиев ПОЛНОМ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			101-106		1561-691€	no	no
22	56739468	https://eli	Чубукова ПРЕДУПРЕ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			107-112		1561-691€	no	no
23	56739469	https://eli	Турчин О. ОСОБЕНН	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			113-117		1561-691€	no	no
24	56739470	https://eli	Косова А. ВОЗДЕЙСТ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			118-121		1561-691€	no	no
25	56739471	https://eli	Трушкова УГОВОРИ	2024 Проблеми	научная с	yes	no	no			122-126		1561-691€	no	no

Рис. 8. Пример содержимого выходного файла `_el_export.xlsx`

Fig. 8. Example of the contents of the output file `_el_export.xlsx`

Обсуждение результатов и заключение

В ходе проведенного исследования были разработаны алгоритмы и инструменты для преобразования экспортного xml-файла с информацией о публикациях в файл Excel, который может быть использован для формирования нескольких видов публикационной отчетности. Необходимо отметить, что преобразованный в табличный вид на этапе 5 общего алгоритма (см. рис. 3) xml-документ уже можно применять для анализа. Однако стандартными средствами Excel, не включающими создание макросов, в том числе на языке Visual Basic for Application, файл подобного формата пришлось бы обрабатывать длительное время, удаляя дубликаты записей в столбцах 'lastname', 'abstract', 'keyword', 'reference', 'code' и вручную формируя список авторов. Кроме этого, разработанные алгоритмы и сформированные на их основе скрипты можно легко доработать, сформировав отдельный табличный лист, где каждая публикация будет продублирована для каждого автора с его аффилиацией, что позволит быстро выполнить расчет фракционной доли аффилиации научной организации в статье, что в свою очередь может потребоваться при формировании некоторых видов внешних отчетов.

В данном исследовании не решена проблема вариации наименований некоторых столбцов при формировании очередной выгрузки из `elibrary.ru`. Эта проблема также остается на доработку потенциальным пользователям разработанного инструментария. В качестве варианта реализации универсального алгоритма, независимого от наименований столбцов в исходных наборах данных, предлагается использовать следующие подходы:

1) создание дополнительного конфигурационного файла, из которого скрипт будет считывать названия полей загрузки с неоднозначными именами;

2) реализация и компиляция скрипта в исполняемый файл с поддержкой параметров запуска.

Следует также отметить, что разработанные инструменты не подойдут для обработки xml-выгрузок таких типов публикаций в elibrary.ru, как книги, монографии и их главы, а также статей из сборников конференций из-за значительного отличия в таких выгрузках наборов и имен полей исходных данных. Однако представленный скрипт легко можно адаптировать для использования после применения других типов фильтров в elibrary.ru.

В целом можно сказать, что разработанные алгоритмы и инструментарий в виде скрипта на языке Python [Резниченко, 2025] позволят значительно сэкономить время сотрудникам научных организаций, формирующим различного рода публикационную отчетность, а также в других задачах, где подразумевается использование списков публикаций в виде таблиц с различным набором выходных данных, включающих в том числе DOI статей, ISSN журналов, и других свойств научных публикаций.

Список литературы

- Гуськов А.Е., Косяков Д.В. 2020. Национальный фракционный счет и оценка научной результативности организаций. *Научные и технические библиотеки*, 1(9):15–42. DOI:10.33186/1027-3689-2020-9-15-42
- Желнов Павел. 2022. Средство экспорта библиографических записей из eLIBRARY.RU (СЕБЗЕР). GitHub. URL: <https://github.com/p1m-ortho/xs-sebzer> (дата обращения: 23.01.2025)
- ИФЗ РАН. 2018. Инструкция по внесению списка публикаций из РИНЦ в систему ИСТИНА. Москва. URL: https://ifz.ru/documents/All/Instrukcija_po_dobavleniju_v_ISTINU_spiska_publicacii_iz_RINC_fi_n_03.pdf (дата обращения: 24.01.2025)
- Кондратьев Андрей, Бондяков Алексей. 2024. Автоматизированный сбор и систематизация публикаций. Открытые системы архитекторам информационных систем, 2024(01). Москва, ООО «Издательство «Открытые системы». URL: <https://www.osp.ru/os/2024/01/13058272> (дата обращения: 24.01.2025)
- Маврин Владислав. 2020. Экспорт из РИНЦ в Gefest. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=rImH64dUpqo> (дата обращения: 24.01.2025)
- Научная электронная библиотека. 2024. Интерфейс программирования приложений API. 2024. URL: https://www.elibrary.ru/projects/api/api_info.asp (дата обращения: 24.01.2025)
- Научная электронная библиотека. 2024. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 24.01.2025)
- Научная электронная библиотека. 2024. Science Index. URL: https://www.elibrary.ru/projects/science_index/info_org.pdf#page=24&zoom=100,53,508 (дата обращения: 24.01.2025)
- НИИ механики МГУ. 2018. Импорт данных из системы eLibrary.ru. Москва. URL: <https://istina.msu.ru/help/import/elibrary/> (дата обращения: 24.01.2025)
- ПервыйБИТ. 2017. Импорт публикаций из портала научной электронной библиотеки. URL: <http://www.almazovcentre.ru/wp-content/uploads/Импорт-публикаций-из-РИНЦ-в-БИТ-1.pdf> (дата обращения: 24.01.2025)
- Попов А.Ю., Ремез М.В., Жилина Е.В., Ожиганова М.И. 2022. Парсинг электронных ресурсов. Библиотека selenium или fake useragent? *Информатизация в цифровой экономике*, 3(4):197–210. DOI 10.18334/ide.3.4.115219
- Резниченко О.С. 2025. Приложение к статье «Algorithms and tools for transformation of scientific organizations' articles data which downloading from the eLIBRARY.RU portal». GitHub. URL: https://github.com/leo-phoenix/elibrary_xml_to_xls (дата обращения: 24.01.2025)
- Сахалинский государственный университет. 2024. Базовая инструкция по работе в системе 1С: Университет ПРОФ. Выгрузка из ELibrary. Южно-Сахалинск. URL: http://sakhgu.ru/wp-content/uploads/page/record_121377/2024_10/ELibrary_1С_Университет_ПРОФ.pdf (дата обращения: 24.01.2025)



- Чуриков Д.В. 2018. Конвертация метаданных научных статей из файла XML стандарта РИНЦ для импорта записей в форматах «CrossRef» (DOI) и WordPress. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018665773 от 11.12.2018. Москва: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=aoexus> (дата обращения: 24.01.2025)
- Шишкин Д.Н., Сибилева Н.С., Логунова О.С. 2021. Программа для импорта данных о публикационной активности из наукометрических систем. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663719 от 23.08.2021. Москва: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46602190> (дата обращения: 24.01.2025)
- Biniok Jan. 2025. Tampermonkey. URL: <https://www.tampermonkey.net> (дата обращения: 24.01.2025)
- JetBrain. 2025. PyCharm: The Python IDE for data and web professionals. URL: <https://www.jetbrains.com/pycharm/> (дата обращения: 24.01.2025)
- Microsoft. 2025. Explore Microsoft 365 for free. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/try> (дата обращения: 24.01.2025)
- Microsoft. 2025. Import XML data. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/office/import-xml-data-beca3906-d6c9-4f0d-b911-c736da817fa4> (дата обращения: 24.01.2025)
- Van den Bossche Joris at al. 2024. pandas.DataFrame. URL: <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/reference/api/pandas.DataFrame.html> (дата обращения: 24.01.2025)
- van Rossum Guido at al. 2025. Python. URL: <https://www.python.org> (дата обращения: 24.01.2025)

References

- Guskov A.E., Kosyakov D.V. 2020. National Fractional Calculations and Evaluating Organization's Science Efficiency. *Scientific and Technical Libraries*, 1(9):15–42. (in Russian). DOI: 10.33186/1027-3689-2020-9-15-42
- Zhelnov Pavel. 2022. Sredstvo e`ksporta bibliograficheskix zapisej iz eLIBRARY.RU (SEBZER) [Tool for exporting bibliographic records from eLIBRARY.RU (SEBZER)]. GitHub. Available at: <https://github.com/p1m-ortho/xs-sebzer> (accessed: 24 January 2025)
- Schmidt Institute of physics of the earth of the Russian Academy of Sciences. 2018. Instrukciya po vneseniyu spiska publikacij iz RINCz v sistemu ISTINA [Manual for entering a list of articles from the Russian Science Citation Index into the “ISTINA” system]. Available at: https://ifz.ru/documents/All/Instrukcija_po_dobavleniju_v_ISTINU_spiska_publicacii_iz_RINC_fi_n_03.pdf (accessed: 24 January 2025)
- Kondrat'ev Andrey, Bondyakov Aleksey. 2024. Avtomatizirovannyi sbor i sistematizatsiya publikatsii [Automated collection and systematization of articles]. Open Systems for Information Systems Architects, 2024(9) Available at: <https://www.osp.ru/os/2024/01/13058272> (accessed: 24 January 2025)
- Mavrin Vladislav. 2020. Ehksport iz RINTS v Gefest [Export from Russian Science Citation Index to "Gefest" system]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=rImH64dUpqo> (accessed: 24 January 2025)
- Scientific Electronic Library. 2024. Science Index. Interfeis dlya predstavatelya organizatsii [Science Index. Interface for a company representative]. Available at: https://www.elibrary.ru/projects/science_index/info_org.pdf#page=24&zoom=100,53,508 (accessed: 24 January 2025)
- Scientific Electronic Library. 2024. Nauchnaya elektronnaya biblioteka eLIBRARY.RU [Scientific electronic library eLIBRARY.RU]. Available at: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (accessed: 24 January 2025)
- Scientific Electronic Library. 2024. Interfeys programmirovaniya prilozheniy API [Application Programming Interface API]. Available at: https://www.elibrary.ru/projects/api/api_info.asp (accessed: 24 January 2025)
- Institute of Mechanics. 2018. Import dannyx iz sistemy eLibrary.ru [Importing data from the eLibrary.ru system]. Available at: <https://istina.msu.ru/help/import/elibrary/> (accessed: 23 January 2025)
- Perviy Bit. 2017. Import publikatsii iz portala nauchnoi ehlektronnoi biblioteki [Importing articles from the scientific electronic library portal]. Available at: <http://www.almazovcentre.ru/wp-content/uploads/Импорт-публикаций-из-РИНЦ-в-БИТ-1.pdf> (accessed: 24 January 2025)

- Popov A.Y., Remez M.V., Zhilina E.V., Ozhiganova M.I. 2022. Parsing of electronic resources. Selenium library or fake useragent? *Informatization in the Digital Economy*, 3(4): 197–210. (in Russian) DOI: 10.18334/ide.3.4.115219
- Reznichenko Oleg. 2025. Appendix to article "Algorithms and tools for transformation of scientific organizations' articles data which downloading from the eLIBRARY.RU portal". GitHub. Available at: https://github.com/leo-phoenix/elibrary_xml_to_xls (accessed: 24 January 2025) (in Russian)
- Sakhalin State University. 2024. Bazovaya instruktsiya po rabote v sisteme 1S: Universitet Prof. Vygruzka iz ELibrary [Basic manual for working with "1C: Univertitet Prof" system. Uploading from ELibrary]. Available at: http://sakhgu.ru/wp-content/uploads/page/record_121377/2024_10/ELibrary_1C_Университет_ПРОФ.pdf (accessed: 24 January 2025)
- Churikov D.V. 2018. Konvertatsiya metadannykh nauchnykh statei iz faila XML standarta RINTS dlya importa zapisei v formatakh «CrossRef» (DOI) i WordPress [Converting scientific articles metadata from the XML file of the Russian Science Citation Index standard to import records in the CrossRef (DOI) and WordPress formats]. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2018665773. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=aoexus> (accessed: 24 January 2025)
- Shishkin D.N., Sibileva N.S., Logunova O.S. 2021. Programma dlya importa dannykh o publikatsionnoi aktivnosti iz naukometricheskikh system [Software for importing publication activity data from scientometric systems]. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2021663719. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46602190> (accessed: 24 January 2025)
- Biniok Jan. 2025. Tampermonkey. Available at: <https://www.tampermonkey.net> (accessed: 24 January 2025)
- JetBrain. 2025. PyCharm: The Python IDE for Professional Developers. Available at: <https://www.jetbrains.com/pycharm/> (accessed: 24 January 2025)
- Microsoft. 2025. Explore Microsoft 365 for free. Available at: <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/try/> (accessed: 24 January 2025)
- Microsoft. 2025. Import XML data. Available at: <https://support.microsoft.com/en-us/office/import-xml-data-6eca3906-d6c9-4f0d-b911-c736da817fa4> (accessed: 24 January 2025)
- Van den Bossche Joris at al. 2024. pandas.DataFrame. Available at: <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/reference/api/pandas.DataFrame.html> (accessed: 24 January 2025)
- van Rossum Guido at al. 2025. Python. Available at: <https://www.python.org> (accessed: 23 January 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 25.01.2025

Поступила после рецензирования 02.03.2025

Принята к публикации 04.03.2025

Received January 25, 2025

Revised March 02, 2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Резниченко Олег Сергеевич, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Oleg S. Reznichenko, Senior lecturer of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 004

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-194-202

Трансформация профессий в эпоху цифровизации

Волкова О.Н., Домбровский Д.А., Иванцова Е.А.

Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина

Россия, 603005, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 1

ok6000@yandex.ru, fastik11@bk.ru, catherineivantsova@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы использования искусственного интеллекта и нейросетей для модернизации привычных, традиционных для нас многих профессий. В настоящее время благодаря искусственному интеллекту и нейросетям профессии меняются, видоизменяется функционал работников, открываются новые возможности, увеличивается производительность труда, сокращаются производственные издержки, высвобождается время. С одной стороны, повышается качество выполняемой работы, исключается рутинный и монотонный труд, с другой стороны, возникает привыкание к облегчению труда, в том числе умственного, и работники теряют свою эрудированность, также возникает необходимость постоянного обучения работников новым компетенциям. Целью исследования явилось проведение анализа использования искусственного интеллекта и нейросетей во всех сферах народного хозяйства: в медицине, финансах, транспортном сегменте, розничной торговле, в сфере развлечений и медиа, науке и исследованиях, образовании, правовом секторе и многих других. С помощью методов наблюдения, сравнения, анализа было определено, что нейросети глубоко внедряются во все сферы жизнедеятельности человека. В ходе проведенного анализа было выявлено, что благодаря искусственному интеллекту и нейросетям происходит производственный прогресс и улучшение качества жизни населения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, народное хозяйство, модернизация, новые профессии, тренд, революция

Для цитирования: Волкова О.Н., Домбровский Д.А., Иванцова Е.А. 2025. Трансформация профессий в эпоху цифровизации. *Экономика. Информатика*, 52(1): 194–202. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-194-202

Transformation of Professions in the Context of Digitalization

Oksana N. Volkova, Dmitry A. Dombrovsky, Ekaterina A. Ivantsova

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University

1 Ulyanov St, Nizhny Novgorod 603005, Russia

ok6000@yandex.ru, fastik11@bk.ru, catherineivantsova@yandex.ru

Abstract. The article discusses current issues of using artificial intelligence and neural networks to modernize traditional professions that are familiar to many of us. Currently, due to artificial intelligence and neural networks, professions are changing, the functionality of workers is changing, new opportunities are emerging, labor productivity is increasing, production costs are being reduced, and time is being freed up. On the one hand, the quality of the work performed improves, routine and monotonous work is eliminated. On the other hand, this trend may result in an addiction to making work easier, including mental activity, and workers may lose their erudition. There is also a need to constantly train workers in new competencies. The purpose of the study was to analyze the use of artificial intelligence and neural networks in all spheres of the national economy: medicine, finance, transport, retail, entertainment and media, science and research, education, the legal sector and many others. Using methods of observation, comparison, and analysis, we have determined that neural networks are deeply embedded in all spheres of human life. The analysis revealed a production progress and improvement in people's life quality stemming from the use of artificial intelligence and neural networks.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, national economy, modernization, new professions, trend, revolution

For citation: Volkova O.N., Dombrovsky D.A., Ivantsova E.A. 2025. Transformation of Professions in the Context of Digitalization. *Economics. Information technologies*, 52(1): 194–202. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-194-202

Введение

Сегодня искусственный интеллект и нейросети используются во многих сферах жизнедеятельности человека. В некоторых профессиях они полностью заменили человека. Искусственный интеллект и нейросети применяются в медицине, финансовом секторе, транспортной сфере, торговле, в сфере развлечений, медиа, в научных исследованиях, в образовании, правовом сегменте и многих других. Искусственный интеллект и нейросети направлены на облегчение профессиональной деятельности человека, улучшение качества изготавливаемых товаров, выполняемых работ, предоставляемых услуг. Они помогают оперативно решать объемные, трудозатратные и рутинные задачи. Но они никогда не смогут заменить человека, так как не обладают креативностью, интуицией [Шумский, 2021; Кай-Фу, Чэнь, 2022].

Объекты и методы исследования

Искусственный интеллект представляет собой инновационную технологию. Он создан для решения сложных, объемных вычислительных задач компьютерами. Обучение искусственного интеллекта происходит в результате загрузки и обработки большого объема различной информации, обработка информации осуществляется по принципу работы человеческого мозга. Методом обучения искусственного интеллекта является нейросеть. Нейронная сеть (нейросеть) является мощным инструментом по обработке и классификации данных. С помощью компьютерных и математических моделей оперативно обрабатывается загруженная информация и решаются сложные задачи. Нейросеть способна классифицировать изображения, анализировать текстовые документы, распознавать речь и много другое. Работа нейросети похожа на работу мозга человека. В деятельности человеческого мозга участвуют соединенные узлы (нейроны). Нейросети учатся на основе большого массива информации, они анализируют множество примеров, выявляют закономерности, обрабатывают информацию на различных уровнях, предоставляют прогноз [Лекун, 2021].

В ходе исследования рассмотрены различные сферы жизнедеятельности человека с применением искусственного интеллекта и нейросетей, которые значительно улучшают качество жизни общества.

В сфере медицины искусственный интеллект и нейросети помогают врачам выявлять патологические отклонения на стадии медицинских снимков. Нейросети анализируют тысячи медицинских снимков в секунду, что позволяет осуществлять диагностику онкологических заболеваний, сердечных заболеваний, других нарушений здоровья у человека. После загрузки различных медицинских данных пациента в базу данных нейросети, искусственный интеллект способен представить рекомендованный план для лечения больного [Росс, 2017].

В финансовом секторе искусственный интеллект и нейросети позволили автоматизировать рабочие процессы в торговле, при анализе рынка. На основании рекомендуемых нейросетями прогнозов трейдеры принимают обоснованные, верные решения. Прогнозы составляются на основе большого количества различных данных, а также внутренних и внешних факторов, происходящих в различных странах мира и влияющих на геополитическую ситуацию в стране. Нейросети помогают специалистам обнаруживать мошенничества. Они проводят анализ транзакций и поведения пользователя. Это делает финансовые операции более защищенными. Например, нейросети помогают

анализировать рыночные данные и автоматически выполнять торговые операции. Искусственный интеллект помогает кредитным учреждениям оценивать риски по неплатежеспособности клиента или управлять кредитными рисками [Агравал и др., 2019; Сергеева и др., 2021; Бутл, 2023].

В транспортной отрасли искусственный интеллект и нейросети используются при разработке беспилотных транспортных средств. Инновационные транспортные средства получают изображения с камер, радаров и датчиков, обрабатывают данные и выстраивают навигационный маршрут в реальных дорожных условиях. Такая же технология используется при организации работы общественного транспорта, для сокращения количества пробок. Например, беспилотные транспортные средства способны самостоятельно навигировать по дорогам. Логистические компании UPS и FedEx используют в своей работе оптимизированные логистические маршруты для доставки грузов. Это позволяет снизить затраты на логистику и своевременно доставить груз [Николенко и др., 2024].

В сфере розничной торговли искусственный интеллект и нейросети позволяют продавцам анализировать поведение покупателей, их предпочтения. Это позволяет продавцам предлагать схожий по запросу покупателя товар. Инновационные технологии позволяют выявить спрос на товары, и как следствие запастись необходимым товаром в определенном количестве, уменьшить издержки, оптимизировать складские места. Например, искусственный интеллект способен анализировать историю покупок клиента, покупательские предпочтения и сформировать покупательский опыт. Это позволяет продавцам предлагать персонализированные рекомендации, информировать о предстоящих акциях и скидках. Так, сайты Amazon и Alibaba анализируют просматриваемые покупателями товары, предлагают товары из аналогичных линеек. Также искусственный интеллект помогает оптимизировать спрос, формирует информацию о запасах, помогает оптимизировать логистические цепочки поставок, анализирует продажи, помогает распределять товар по магазинам [Харбанс, 2024].

В сфере развлечений искусственный интеллект и нейросети анализируют запрашиваемую пользователями информацию, предлагают похожие новостные ленты, объявления. Рекомендуют фильмы, книги, музыку, исходя из интересов пользователя. Нейросети улавливают часто запрашиваемый пользователем контент. В медиапространстве нейросети помогают быстро и качественно создавать видео- и аудиоматериал, различные изображения, тексты, сценарии, карточки товаров и многое другое. Все это дает преимущество работникам соответствующих сфер занятости. Например, сервис Netflix имеет возможность отслеживать интересы пользователя. Затем пользователю рекомендуются к просмотру аналогичные фильмы, видеоролики, клипы, музыка. Искусственный интеллект в сервисе Netflix помогает сохранять клиентов, а значит и поддерживать свою экономическую составляющую. Кроме того, используя искусственный интеллект как прорывную технологию, сервис Netflix остается конкурентоспособным на рынке. Особенно искусственный интеллект используется в сфере анимации, киноиндустрии, гейм-индустрии. Он позволяет создавать реалистичные изображения и видеоконтент с различными спецэффектами [Гудфеллоу и др., 2017].

В научной сфере нейросети используются при работе с большими или сложными данными. В работе используются сложные математические вычисления, компьютерные методы обработки информации. Они экономят время рабочих кадров. Например, нейросети помогают совершать новые открытия. Помогают проводить исследования в различных отраслях: экология – изменение климата Земли, изменение биоразнообразия на планете; астрология – изучение звезд и галактик; фармакология – разработка новых лекарств [Сысоев, 2023].

В сфере образования искусственный интеллект усовершенствует способы и методики обучения. Благодаря нейросети возможно создавать индивидуальные образовательные траектории, персональные учебные программы. Это способствует лучшему усвоению материала, повторению и закреплению того материала, который обучающийся осваивает с трудом. Обратная связь благодаря искусственному интеллекту предоставляется в режиме реального времени. Например, некоторые образовательные платформы с использованием

искусственного интеллекта предлагают к изучению материал, исходя из потребностей и первичной диагностики обучающегося. Кроме того, нейросети предлагают автоматизацию оценок, что позволяет высвободить педагога от рутинной и объемной работы [Волкова и др., 2023; Эффективность цифрового образования, 2024].

В правовом секторе искусственный интеллект и нейросети помогают при подборе необходимых нормативно-правовых актов, анализе юридических документов, предсказании результата по делу. Они быстро обрабатывают большие объемы информации, осуществляют поиск судебных прецедентов. Это позволяет ускорить принятие решения по делу. Например, сервисы по подбору необходимых юридических актов, судебных прецедентов помогают юристам быстро найти схожие дела, провести анализ ситуации и определить исход дела. Это помогает принять решение о начале судебного разбирательства или решении спора другим способом [Маркофф, 2017; Томас и др., 2023].

Искусственный интеллект и нейросети меняют атлас профессий, преобразуют привычные для нас процессы с учетом автоматизации, цифровизации общества. Они улучшают и облегчают трудовую деятельность людей. Эпоха искусственного интеллекта набирает популярность и будет оказывать большое влияние на технологические процессы в будущем.

Результаты и их обсуждение

В эпоху цифровизации, использования искусственного интеллекта, нейросетей в современном обществе появляются новые профессии, претерпевает изменения привычная для нас работа. Искусственный интеллект и нейросети позволяют работникам избежать решения рутинных, сложных, объемных задач. Процесс работы становится автоматизированным, быстрым и удобным.

Искусственный интеллект и нейросети расширяют перечень профессий, которые активно внедряются в сферу здравоохранения, финансов, маркетинга, образования, науки, культуры, финансового сектора, транспорта и другие сферы деятельности. Определим новые и востребованные в настоящее время профессии с применением искусственного интеллекта. Рассмотрим сферу их применения и функционал.

Рассмотрим сферу **технологий и разработки**. В этой сфере набирают популярность следующие профессии:

- специалист по искусственному интеллекту;
- специалист машинного обучения;
- инженер компьютерного зрения;
- робототехник;
- специалист машинного обучения в облачной инфраструктуре;
- специалист по интеграции искусственного интеллекта;
- инженер-разработчик нейронных процессоров.

Рассмотрим каждую профессию отдельно.

Специалист по искусственному интеллекту – специалист, занимающийся созданием алгоритмов, позволяющих машинам оперативно решать различные сложные задачи. К функционалу специалиста относятся:

- создание алгоритмов для машинного обучения и компьютерного зрения;
- глубокое обучение нейросетей;
- проектирование и разработка моделей искусственного интеллекта;
- компетенции в сфере компьютерной лингвистики и этики.

Специалист машинного обучения – специалист, занимающийся разработкой систем машинного обучения, а также его техническим сопровождением и обслуживанием. Специалист осуществляет свою профессиональную деятельность в следующих направлениях:

- сбор и анализ информации для машинного обучения;
- моделирование систем машинного обучения;
- тестирование систем машинного обучения;

- мониторинг систем машинного обучения;
- обслуживание систем машинного обучения;
- взаимодействие с другими специалистами.

Инженер компьютерного зрения – специалист, который разрабатывает системы компьютерного зрения, анализирующие происходящую ситуацию посредством создания изображений или видео благодаря искусственному интеллекту. К сфере деятельности специалиста относятся:

- сбор изображений или видео;
- идентификация объектов;
- компьютерное зрение в режиме реального времени;
- трехмерная реконструкция объекта, его восстановление;
- слежение за объектами;
- распознавание жестов и мимики людей.

Робототехник – специалист по проектированию, разработке, тестированию и интеграции роботизированных технологических систем. Он разрабатывает дизайн робота, подбирает электронику, занимается программированием, внедрением роботизированной системы в действующий технологический процесс. Он занимается следующими направлениями деятельности:

- проектирование роботизированной системы;
- создание программного обеспечения;
- тестирование роботизированной системы;
- обслуживание роботизированной системы;
- интеграция систем;
- взаимодействие с различными специалистами.

Специалист машинного обучения в облачной инфраструктуре – специалист, который специализируется на проектировании, разработке и управлении машиннообучающими системами в облачной инфраструктуре. Это новая, стремительно развивающаяся область, объединяющая машинное обучение с облачными технологиями. Основные обязанности такого специалиста:

- разработка и внедрение моделей;
- оптимизация ресурсов;
- автоматизация процессов;
- обеспечение безопасности и соответствия;
- сотрудничество и интеграция;
- мониторинг и масштабирование.

Специалист по интеграции искусственного интеллекта занимается внедрением искусственного интеллекта в технологические процессы организаций и предприятий. Благодаря внедрению и адаптации искусственного интеллекта в бизнес-среду улучшается качество и конкурентоспособность изготавливаемых товаров, выполняемых работ или оказываемых услуг. Специалист занимается:

- анализом требований заказчика;
- проектированием архитектуры программного обеспечения;
- разработкой и настройкой информационной системы;
- интеграцией систем;
- тестированием и валидацией системы;
- обучением и поддержкой пользователей;
- мониторингом и оптимизацией системы.

Инженер-разработчик нейронных процессоров – специалист, который занимается созданием архитектуры для будущего программного продукта, способного оперативно и качественно осуществлять вычислительные процессы при помощи нейросетей. Он является техническим специалистом по созданию микропроцессоров. Он занимается:

- анализом и разработкой микропроцессоров;

- конструированием аппаратного обеспечения;
- усовершенствованием производительности выполняемых операций микропроцессором;

- тестированием систем;
- осуществляет тесное взаимодействие с разработчиками программы [Чубаров, 2024].

Рассмотрим сферу **здравоохранения**. В данной сфере набирают популярность следующие профессии:

- специалист по биоинформатике;
- специалист по диагностике и мониторингу заболеваний пациентов с помощью

искусственного интеллекта.

Рассмотрим каждую профессию отдельно.

В области здравоохранения становится популярной профессия специалиста по биоинформатике. Специалист исследует и анализирует биологические данные пациентов при помощи математических методов и компьютерных технологий. Направлениями его деятельности являются:

- анализ молекул ДНК и РНК пациента;
- определение структуры белков, молекул ДНК и РНК пациента;
- системная биология;
- фармакогеномика и персонализированная медицина;
- анализ данных масс-спектрометрии;
- разработка программного обеспечения и алгоритмов;
- образование и научные исследования.

В области здравоохранения становится популярной профессия специалиста по диагностике и мониторингу заболеваний пациентов с помощью искусственного интеллекта. Специалист осуществляет разработку и внедрение искусственного интеллекта в следующих направлениях деятельности:

- диагностика заболеваний;
- персонализированная медицина;
- оперативная поддержка;
- автоматизация административных задач;
- мониторинг пациентов;
- исследования и разработки в области фармацевтики;
- обучение и научные исследования [Хайкин, 2019].

В области финансовой сферы становится популярной профессия специалиста по оказанию финансовых услуг. Специалист занимается созданием, внедрением и адаптацией алгоритмов нейронных сетей для автоматизации рутинных, сложных, объемных вычислительных процессов в сфере финансов. Данная автоматизация удобна при создании и использовании базы данных о клиентах, проведении анализа данных о клиентах, установлении их платежеспособности, определении рисков при выдаче кредитов, займов, другое, при обслуживании клиентов. Профессия включает в себя несколько работ в следующих ключевых областях:

- анализ и прогнозирование рынков;
- управление рисками;
- автоматизация торгов;
- личные финансовые помощники;
- обнаружение и предотвращение мошенничества;
- кредитный скоринг;
- автоматизация клиентского обслуживания;
- комплаенс и регулирование [Гудфеллоу и др., 2017; Хайкин, 2019].

В области компьютерной безопасности становится популярной профессия специалиста по кибербезопасности. Специалист занимается созданием технологий и программных средств для предотвращения угроз и атак на информационные системы при

помощи искусственного интеллекта. Профессия включает в себя несколько работ в следующих ключевых областях:

- обнаружение и предотвращение вторжений;
- анализ угроз;
- автоматизированное реагирование на инциденты;
- оценка уязвимостей;
- биометрическая безопасность;
- обучение и симуляции;
- прогнозирование угроз;
- комплаенс и соответствие нормативам [Гудфеллоу и др., 2017; Хайкин, 2019].

Рассмотрим сферу **образования и научных исследований**, где набирают популярность следующие профессии:

- конструкторы учебных программ с использованием ИИ;
- программист по глубокому изучению.

Рассмотрим каждую профессию отдельно.

Конструкторы учебных программ с использованием ИИ – специалисты, которые занимаются разработкой образовательных программ и инструментов, которые интегрируют в искусственный интеллект учебные программы для улучшения учебного процесса и адаптации обучения по индивидуальной потребности обучающегося. Его работа охватывает несколько ключевых аспектов:

- персонализация обучения;
- автоматизированная оценка и обратная связь;
- интерактивные учебные помощники;
- анализ и предиктивная аналитика;
- интеллектуальные образовательные игры и симуляции.

Программист по глубокому изучению – инженер, который разрабатывает способы и методы обучения нейросетей, улучшает алгоритмы ее работы для того, чтобы нейросеть на основе больших данных могла производить качественные, сложные вычислительные и интеллектуальные процессы обработки данных. Его работа включает в себя следующие направления:

- разработка новых алгоритмов;
- оптимизация существующих моделей;
- анализ данных и предварительная обработка;
- тестирование и валидация моделей;
- публикации и научные работы;
- междисциплинарное сотрудничество;
- разработка протоколов безопасности и этики [Гудфеллоу и др., 2017; Хайкин, 2019; Шнайдер, 2022].

Заключение

Нейросети внедряются в различные профессиональные сферы нашей жизни, преобразуя традиционные методы работы и создавая новые возможности для специалистов. Мы видим, что искусственный интеллект становится неотъемлемой частью многих профессий. Это понимание позволяет нам лучше осознавать какие навыки будут востребованы в ближайшем будущем и как можно адаптировать текущие профессиональные практики к новым технологическим трендам. Следует подчеркнуть, что взаимодействие с новыми технологиями требует не только технических знаний, но и креативного подхода к решению проблем [Бруссард, 2020; Юницкий, 2022].

Список литературы

- Агравал А., Ганс Д., Голдфарб А. 2019. Искусственный интеллект на службе бизнеса. Как машинное прогнозирование помогает принимать решения. МИФ, Серия МИФ. IT: 336.
- Бруссард М. 2020. Искусственный интеллект: пределы возможного. Альпина Паблишер: 362.
- Бутл Р. 2023. Искусственный интеллект и экономика. Работа, богатство и благополучие в эпоху мыслящих машин. Альпина PRO: 424.
- Волкова О.Н., Курукина Ю.С., Устинова Е.И. 2023. Применение искусственных нейронных сетей в образовательном процессе высшей школы: проблемы и перспективы. Международная научно-практическая конференция «Образование в цифровую эпоху: опыт, проблемы и перспективы» (21–23.12.2023 г.): 65–68. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65610147>
- Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. 2017. Глубокое обучение. ДМК Пресс: 652.
- Кай-Фу Ли, Чэнь Цюфань. 2022. ИИ-2041. Десять образов нашего будущего. МИФ: 432.
- Лекун Я. 2021. Как учится машина. Альпина Паблишер: 335.
- Маркофф Д. 2017. Homo Roboticus? Люди и машины в поисках взаимопонимания. Альпина нон-фикшн: 406.
- Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. 2024. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. Питер, Серия Библиотека программиста: 480 с.
- Росс А. 2017. Индустрии будущего. АСТ: 352.
- Сергеева В.С., Бысова Т.В., Поначугин А.В. 2021. Проблемы деятельности фирмы в современных условиях. Экономика и управление: проблемы, решения, Т. 2, № 11 (119): 20–28.
- Сысоев П.В. 2023. Искусственный интеллект в образовании: осведомленность, готовность и практика применения преподавателями высшей школы технологий искусственного интеллекта в профессиональной деятельности. *Высшее образование в России*, 10: 9–33.
- Томас И.С., Ван Ж., GPT-3. 2023. Искусственный интеллект отвечает на величайшие вопросы человечества. АСТ, Серия Психика и жизнь: 240.
- Хайкин С. 2019. Нейронные сети. Полный курс. Вильямс: 1104.
- Харбанс Р. 2024. Грокаем алгоритмы искусственного интеллекта. Питер, Серия Библиотека программиста: 368.
- Чубаров И.М., Попова Т.А., Сенцова К.А. 2024. Цифровой Другой: проблемы идентичности в парадигме искусственного интеллекта. *Международный научно-исследовательский журнал*. № 3(141). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=63639507> (дата обращения: 16.11.2024).
- Шнайдер С. 2022. Искусственный ты: машинный интеллект и будущее нашего разума: научно-популярное издание. Москва: Альпина нонфикшн: 245.
- Шумский С. 2021. Воспитание машин. Новая история разума. Альпина нон-фикшн: 174.
- Эффективность цифрового образования. 2024. Материалы Юрайт. Академии. Вып. 8. Д.М. Антипина [и др.]; сост. Д.М. Антипина, А.И. Каленкова, А.А. Сафонов; под общ. ред. Н.В. Рыбкиной. Москва: Юрайт: 159.
- Юницкий А.Э. 2022. Искусственный интеллект и отчуждение человека от разума: причины, механизмы, последствия. Сборник материалов V международной научно-технической конференции «Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты», № 1: 138–143.

References

- Agrawal A., Gans D., Goldfarb A. 2019. Artificial Intelligence in the Service of Business. How Machine Forecasting Helps with Decision Making. MYTH, MYTH Series. IT: 336.
- Broussard M. 2020. Artificial Intelligence: The Limits of the Possible. Alpina Publisher: 362.
- Bootle R. 2023. Artificial Intelligence and the Economy. Work, Wealth, and Well-Being in the Age of Thinking Machines. Alpina PRO: 424.
- Volkova O.N., Kurukina Yu.S., Ustinova E.I. 2023. Application of artificial neural networks in the educational process of higher education: problems and prospects. International scientific and practical conference "Education in the digital age: experience, problems and prospects" (21–23.12.2023): 65–68. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65610147>
- Goodfellow J., Bengio I., Courville A. 2017. Deep learning. DMK Press: 652.
- Kai-Fu Lee, Chen Qiufan. 2022. AI-2041. Ten images of our future. MYTH: 432.
- Lekun Ya. 2021. How a Machine Learns. Alpina Publisher: 335.
- Markoff D. 2017. Homo Roboticus? People and Machines in Search of Mutual Understanding. Alpina Non-Fiction: 406.



- Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E. 2024. Deep Learning. Immersion in the World of Neural Networks. Piter, Programmer's Library Series: 480 p.
- Ross A. 2017. Industries of the Future. AST: 352.
- Sergeeva V.S., Bysova T.V., Ponachugin A.V. 2021. Problems of the Firm's Activity in Modern Conditions. Economy and Management: Problems, Solutions. Vol. 2. No. 11 (119): 20–28.
- Sysoev P.V. 2023. Artificial Intelligence in Education: Awareness, Readiness, and Practice of Applying Artificial Intelligence Technologies in Professional Activities by Higher School Teachers. *Higher Education in Russia*. No. 10: 9–33 (in Russian).
- Thomas I.S., Wang J., GPT-3. 2023. Artificial Intelligence Answers Humanity's Greatest Questions. AST, Series Psyche and Life: 240.
- Khaikin S. 2019. Neural Networks. Complete Course. Williams: 1104.
- Harbans R. 2024. Grokking Artificial Intelligence Algorithms. Peter, Series Programmer's Library: 368.
- Chubarov I.M., Popova T.A., Sentsova K.A. 2024. Digital Other: Problems of Identity in the Paradigm of Artificial Intelligence. *International Research Journal*, No. 3(141) (in Russian). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=63639507> (accessed: 16.11.2024).
- Schneider S. 2022. Artificial You: Machine Intelligence and the Future of Our Mind: Popular Science Edition. Moscow: Alpina Non-Fiction: 245.
- Shumsky S. 2021. Raising Machines. A New History of Reason. Alpina Non-Fiction: 174.
- The Effectiveness of Digital Education. 2024. Proceedings of the Yurait Academy. Issue 8 / D. M. Antipina [et al.]; compiled by D. M. Antipina, A. I. Kalenkova, A. A. Safonov; under the general editorship of N. V. Rybkina. Moscow: Yurait: 159.
- Yunitskiy A.E. 2022. Artificial Intelligence and Human Alienation from Reason: Causes, Mechanisms, Consequences. Collection of materials of the V international scientific and technical conference "Non-rocket industrialization of near space: problems, ideas, projects", no. 1: 138–143.

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 16.11.2024

Поступила после рецензирования 05.03.2025

Принята к публикации 12.03.2025

Received November 16, 2024

Revised March 05, 2025

Accepted March 12, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волкова Оксана Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационных систем и цифровых сервисов в управлении, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, г. Нижний Новгород, Россия

Домбровский Дмитрий Алексеевич, студент группы ИСТ-23-1, факультет информационных технологий, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, г. Нижний Новгород, Россия

Иванцова Екатерина Арменовна, студентка группы ИСТ-22-1, факультет информационных технологий, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, г. Нижний Новгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oksana N. Volkova, PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Services in Management, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russia

Dmitry A. Dombrovsky, Student of the IST- 23-1 group, Faculty of Information Technology, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russia

Ekaterina A. Ivantsova, Student of the IST-22-1 group, faculty of Information Technology, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.396.94

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-203-214

Повышение эффективности использования метеорного канала связи на основе предварительной оценки его характеристик

¹ Белов С.П., ² Орехов А.О.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
belovssergei@gmail.com, orekhovip@yandex.ru

Аннотация. В статье предложен способ увеличения объема информации, переданного с использованием каналов метеорной связи, позволяющий увеличить коэффициент использования канала. Применение предварительной оценки образованного канала метеорной связи возможно благодаря всенаправленному характеру распространения радиоволн от метеорного следа. Использование вычислений на передающей стороне, основанных на понимании характеристик образованных каналов на метеорных вспышках, позволяет за счет применения многопозиционной модуляции своевременно увеличить начальный объем передаваемых данных в момент, когда электронная плотность канала близка к максимальной. Результаты проведенных симуляций подтвердили целесообразность использования предварительной оценки характеристик канала связи для средних и больших размеров кадра. Актуальность данного исследования определена развитием реализации удаленного взаимодействия между абонентами, в том числе и в арктических широтах, с использованием метеорной связи.

Ключевые слова: инфокоммуникационная система метеорной связи, многопозиционная модуляция, коэффициент использования метеорного канала, предварительная оценка канала связи

Для цитирования: Белов С.П., Орехов А.О. 2025. Повышение эффективности использования метеорного канала связи на основе предварительной оценки его характеристик. *Экономика. Информатика*, 52(1): 203–214. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-203-214

Improving the Efficiency of Meteor Burst Communication Channel Utilization Based on Initial Evaluation of Its Properties

¹ Sergey P. Belov, ² Andrey O. Orekhov

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
belovssergei@gmail.com, orekhovip@yandex.ru

Abstract. The paper proposes a method to increase the volume of information transmitted using meteor communication channels, allowing to increase the channel utilization factor. The use of pre-evaluation of the created meteor communication channel is possible due to the omni-directional character of radio wave transmission from the meteor trail. The use of computing on the transmitting side based on the

© Белов С.П., Орехов А.О., 2025

understanding of the characteristics of the formed channels on meteor bursts allows increasing the initial volume of transmitted data at a time when the electronic density of the channel is close to the maximum. This is achieved through the use of multi-position modulation. The results of the simulations confirmed the feasibility of pre-evaluation of the communication channel characteristics for medium and large frame sizes. The relevance of this study is determined by the progress of remote interaction between subscribers, including those in the Arctic latitudes, using meteor-burst communication.

Keywords: meteor-burst communication system, multi-position modulation, meteor channel utilization factor, preliminary channel estimation

For citation: Belov S.P., Orekhov A.O. 2025. Improving the Efficiency of Meteor Burst Communication Channel Utilization Based on Initial Evaluation of Its Properties. *Economics. Information technologies*, 52(1): 203–214. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-203-214

Введение

В настоящее время имеют актуальность проблемы устойчивой связи в арктических широтах. Согласно Единому плану мероприятий по реализации основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года и Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года существует потребность в современных системах связи для указанных зон. Метеорная радиосвязь, применяемая в арктических широтах, обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами радиосвязи. Метеорные каналы связи обеспечивают обмен данными на довольно существенных расстояниях [Метеорная связь..., 1961; Бабаджанов, 1987; Карпов и др., 2008; Белькович, 2008], благодаря тому что в канале связи присутствует довольно низкий уровень шума и наблюдается незначительная зависимость характеристик среды передачи от возмущений ионосферы, применяются радиопередатчики относительно малой мощности для получения устойчивого канала связи. Эти особенности и образуют основные преимущества предложенного вида связи. Учитывая вышесказанное, наряду с другими видами связи, метеорная связь является базовым видом связи для приполярных областей, а также в непредсказуемых ситуациях может оказаться единственным способом связи, восстановленным за короткий срок.

Увеличение коэффициента использования метеорного канала связи является актуальной задачей, так как основную неопределенность представляет вероятностный характер моментов возникновения метеорных следов [Капралов, Кирик, 2018], подходящих для организации канала связи, и сложно прогнозируемая длительность существования ионизированного облака. Для решения этой задачи предлагается использовать предварительную оценку образованного канала связи на передающей стороне, проведение которой возможно благодаря всенаправленному характеру распространения радиоволн от метеорного следа. Основываясь на результатах предварительной оценки, можно выбрать и применить для передачи подходящий способ многопозиционной модуляции и сократить временные затраты на принятие такого решения.

Метеорный канал связи. Оценка его характеристик

Эффективность использования канала метеорной связи напрямую зависит от выбора протоколов передачи и их особенностей. Поиск оптимальных параметров протокола передачи, особенно в случае метеорной связи, является трудоемкой задачей, сопряженной со значительными вычислительными и временными затратами. Так как максимальная электронная плотность существует в момент возникновения канала связи и со временем затухает, вопрос передачи большего количества информации в начальный момент является актуальным. [Theory of Meteor Reflection. Электронный ресурс] В работе предлагается оценить характеристики канала в момент возникновения на передающей стороне и подобрать настройки модуляции с учетом теоремы Шеннона

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (1)$$

где C – количество информации, B – ширина полосы пропускания, S – уровень сигнала, N – уровень шума. Мощность приёмника $P_R(t)$ после рассеяния на ненасыщенных трассах на частотах, используемых на практике:

$$P_R(t) = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma a_1 a_2(t) a_2(t_0) a_3}{64 \pi^3 R_1^2 R_2^2}, \quad (2)$$

где λ – длина волны, σ – площадь метеорного следа, a_1 – коэффициент потерь из-за конечного начального радиуса следа, a_2 – коэффициент потерь из-за диффузии следа, a_3 – коэффициент потерь из-за ионосферного поглощения, T – время в секундах, измеренное от момента полного формирования первой зоны Френеля, t_0 – половина времени, необходимого метеору для прохождения первой зоны Френеля, P_T – мощность передатчика, P_R – чувствительность приемника, G_T – усиление передающей антенны относительно изотропной антенны в свободном пространстве, G_R – усиление приемной антенны относительно изотропной антенны в свободном пространстве, (предполагается отсутствие потерь в тракте питателя), R_1, R_2 – расстояния между антеннами и метеорным следом

$$\alpha_2(t) = A_0 \times \exp^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (3)$$

где T – время, прошедшее с момента образования следа, A_0 – амплитуда сигнала в момент $t = 0$ (максимум), τ – характерное время затухания.

Подставив (2) в (1), учитывая экспоненциальное затухание со временем (3), можно определить, что наибольшее количество информации можно передать через метеорный канал в начальный момент времени. [Crook, Sytsma, 1989] Учитывая принцип работы действующих систем, когда базовая станция в полудуплексном режиме постоянно отправляет несколько кадров и ожидает обратную связь от приемника, и только после получения ответа от приемника оценивает параметры канала, предлагается иной подход к определению параметров канала метеорной связи. Благодаря физической особенности данного канала отражать радиоволну в том числе и в сторону передатчика, практически сразу после возникновения канала связи на стороне передатчика существует возможность оценить параметры канала и подобрать оптимальную сигнально-кодую конструкцию с точки зрения максимизации количества передаваемой информации с учетом требований достоверности приема.

Определить появление ненасыщенного метеорного следа можно по нескольким значениям отсчетов, полученным на передающей стороне, в общем случае удовлетворяющим упрощенной теоретической модели метеорного канала:

$$\alpha_2(t_n) = m \alpha_2(t_{n-1}) \times \exp^{-\frac{t_n}{\tau}}, \quad (4)$$

где m – некоторый пороговый коэффициент, вычисляемый для каждой конкретной системы метеорной связи. Применяв формулу (3), можно оценить величину τ для конкретного метеорного следа по двум измеренным спустя определенный интервал времени значениям $\alpha_2(t)$ и $\alpha_2(t_n)$.

Протокол передачи данных в метеорном канале связи

В зависимости от установленного режима работы в системе связи между удаленными узлами, участвующими в обмене информацией, необходимо наличие канала связи выбранного типа. [Машкова, Завьялов, 2020] Наиболее простой в реализации – вещательный протокол передачи данных, в котором отправка сообщений производится непрерывно от передатчика к получателям. В таком протоколе факт образования канала связи не

регистрируется и отсутствует обратная связь, что не позволяет подтвердить передачу данных. [Максимова и др., 2020] Рассмотрим более подходящий протокол связи – полудуплексный. В таком режиме узлы системы связи выполняют задачи как отправки, так и приема информации, но не имеют возможности одновременно решать эти задачи. В выбранный момент времени узлы, участвующие в обмене информацией, способны ее транслировать только в одном направлении. Из этого вытекает основной недостаток такого протокола – наличие временных затрат на изменение режима работы узлов связи с одного направления передачи на обратное. Принимая во внимание недостаток, данный протокол обмена данными успешно решает задачу контроля получения данных, при этом используется вся выделенная полоса пропускания канала, что в условиях использования метеорного канала связи является преимуществом. На рис. 1 приведена блок-схема использованной модели метеорной системы связи, использованной для симуляций. В примере базовая (БС) и абонентская (АС) станции являются узлами систем связи.

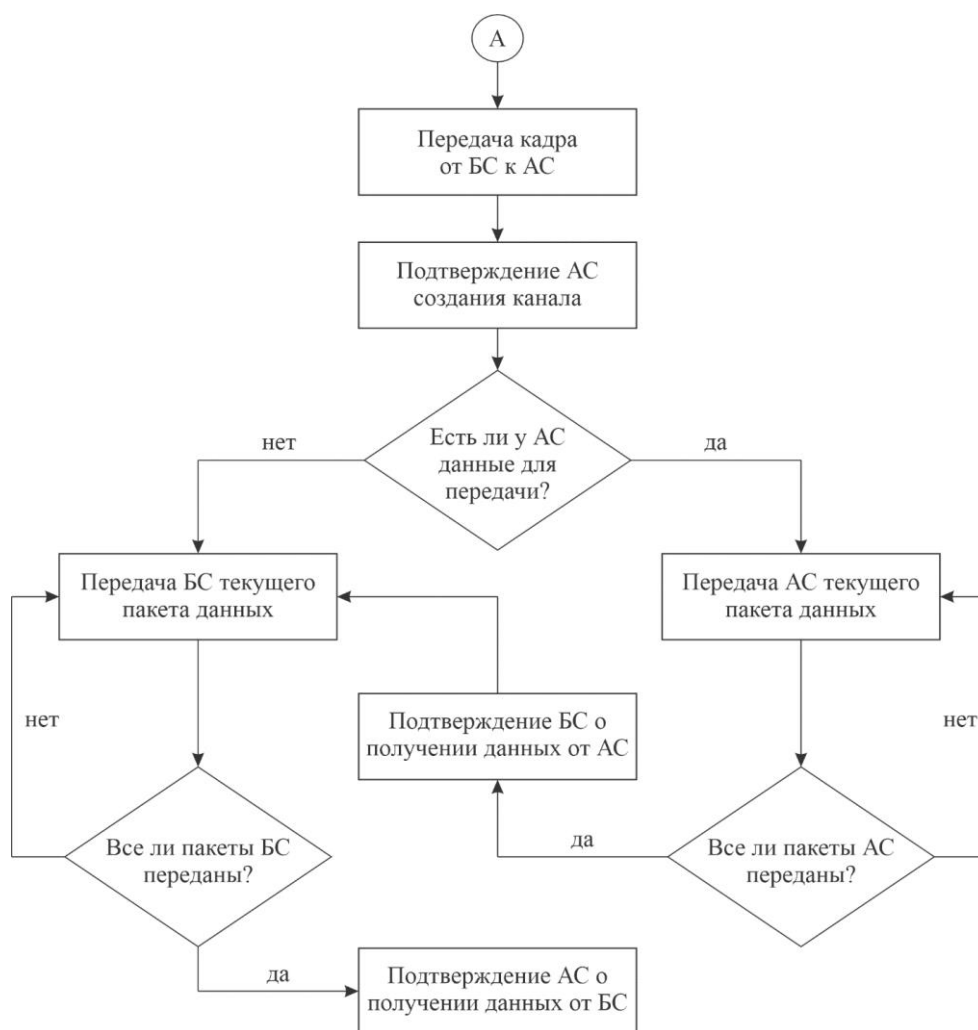


Рис. 1. Блок-схема полудуплексного протокола связи
 Fig. 1. Block diagram of half-duplex communication protocol

Следует отметить, что на практике же в метеорных системах связи вместо передачи зондирующего сигнала в канал сразу передаются кадры, несущие информацию, для того чтобы максимизировать время использования метеорного следа. При достаточно большой длительности кадра (для стандартного значения Ethernet MTU 1500 Байт при скорости передачи 5000 бит/с длительность составит примерно 2,5 секунды) времени существования метеорного следа может быть недостаточно для передачи данных. Канал для передачи также может возникнуть не синхронно с началом кадра, так заголовок фрейма с

синхроимпульсом (для OFDM) могут оказаться переданными до возникновения канала, при этом теряется весь кадр. В радиосвязи используется меньшее значение размера кадра, чем в проводных сетях, при этом возникают сложности на стыке двух систем, а также снижается коэффициент передачи информации. Для увеличения коэффициента использования канала предлагается использовать зондирующий сигнал, принимаемый на стороне передатчика (БС). На рис. 2 отражена часть блок-схемы для реализации данной задачи, стыкуемая в точке А с блок-схемой полудуплексного протокола связи.

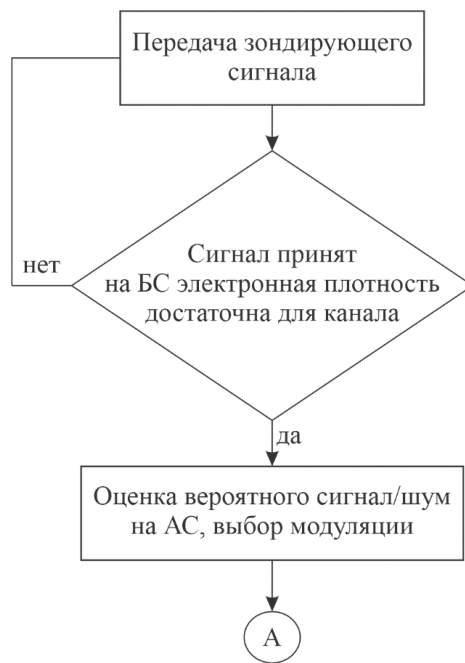


Рис. 2. Блок-схема использования зондирующего сигнала, принимаемого на передающей стороне
Fig. 2. Block diagram of using the probing signal received at the transmitting side

Параметры симуляции

Моделирование процессов передачи данных по каналам метеорной связи, а также подсчет вероятного количества ошибок производились в среде MATLAB. Для определения преимуществ и возможности повышения эффективности использования метеорного канала на основе предварительной оценки его характеристик можно зафиксировать некоторые параметры модели канала. Для проведения сравнительной оценки способов передачи определим высоту возникновения следа и установим ее в 90 км (рис. 3, 4), мощность передатчика примем из существующих портативных систем (рис. 5), например, BLOSSOM – 650 Вт. Расстояние передачи в контексте проводимого исследования зафиксируем 1200 км. [Melville, Fraser, 1993] Базовая скорость передачи 2,4 Кбод/сек. Для использования в модели канала метеорной связи выберем мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. Ширина полосы пропускания с защитными интервалами 35 МГц выровнена и находится в интервале от 52,5 до 87,5 МГц. Виды многопозиционной модуляции – BPSK, QPSK. [Белокопытов, 2015] Более емкие виды модуляции не могут обеспечить достаточное соотношение сигнал/шум в заданных условиях (рис. 6). Размеры кадров заданы 280, 140, 70, 35 и 24 бод. [Першин, 2013] Задержка в 0,03 секунды введена как время для оценки параметров канала связи и переключения оборудования в режим передачи. Значение получено из описания популярного SDR приемопередатчика (RTL-SDR V3 PRO) и может быть уменьшено за счет применения более узконаправленного оборудования. Пороговое значение, при котором кадр считался принятым с вероятностью ошибки в одном бите (BER), $1e10^5$. [Благов, Волвенко, 2010]

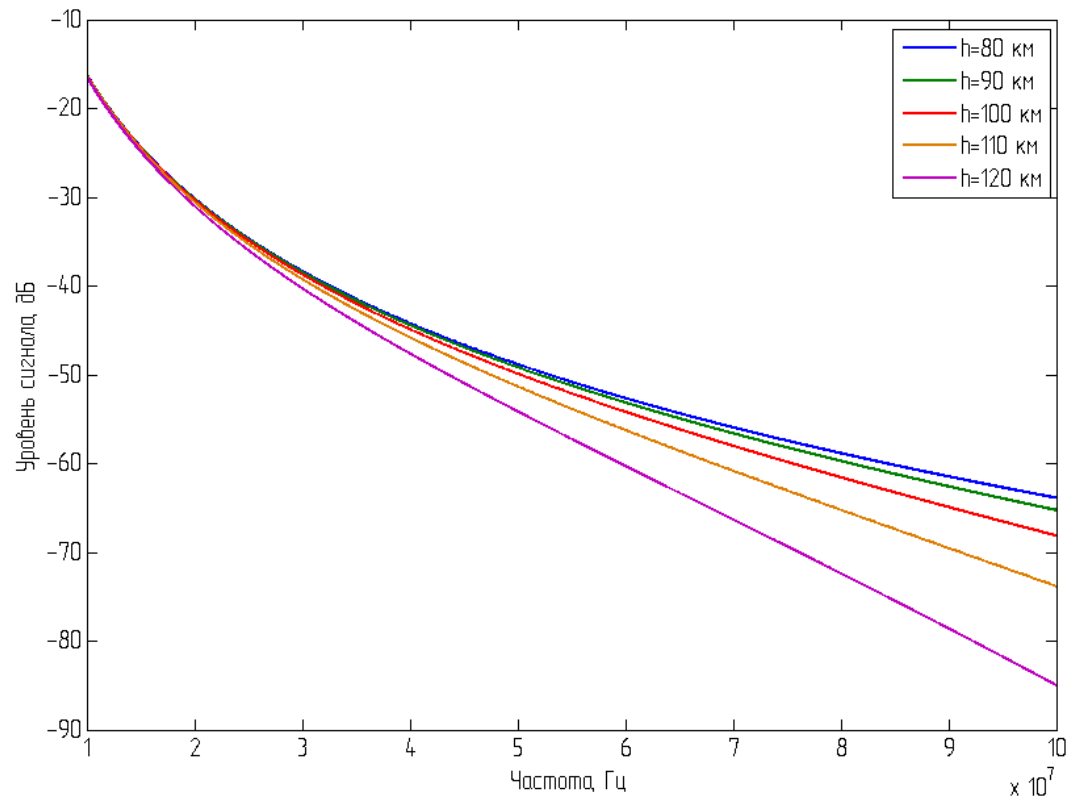


Рис. 3. АЧХ метеорного канала связи в зависимости от высоты образования следа
Fig. 3. AFC of the meteor communication channel as a function of the height of trail formation

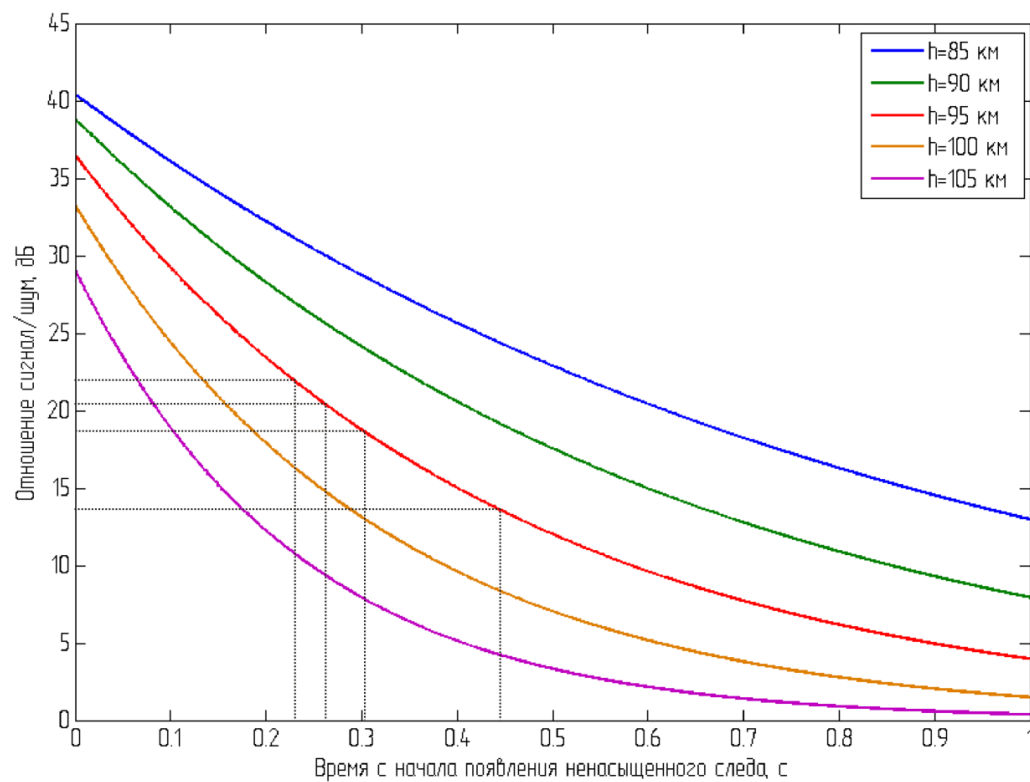


Рис. 4. Отношение сигнал/шум в зависимости от времени с начала появления следа
Fig. 4. Signal-to-noise ratio as a function of time from the beginning of the trail occurrence

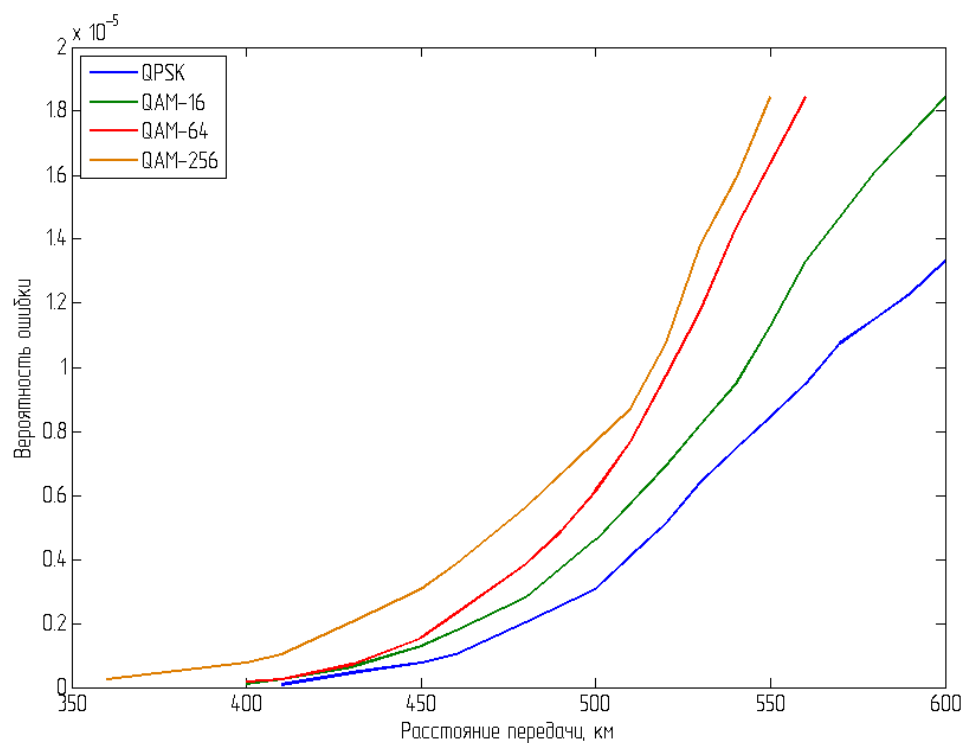


Рис. 5. Вероятность возникновения ошибки от дальности метеорной линии при мощности передатчика 300 Вт, коэффициент усиления антенн – 13 дБ

Fig. 5. Dependence of error probability on communication range at transmitter power of 300 W, antenna gain – 13 dB

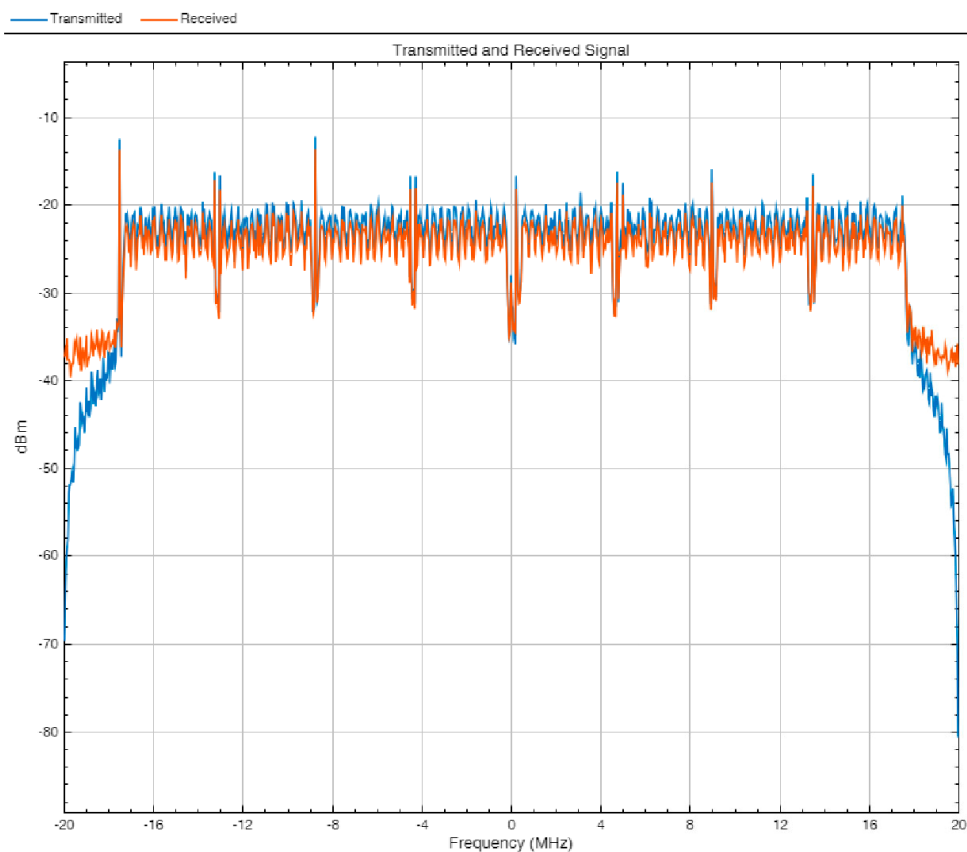


Рис. 6. Спектры переданного и полученного сигналов

Fig. 6. Transmitted and received signal spectra

Результаты проведения симуляций

Для каждого вида многопозиционной модуляции и для каждого размера кадра была проведена одна тысяча симуляций и получены данные, которые внесены в табл. 1. Следует отметить, как правило, после применения предварительной оценки вероятного уровня сигнала в канале становилось доступным применение многопозиционной модуляции с большим уровнем кодирования как минимум для первого фрейма, что позволяет увеличить коэффициент использования канала. Результаты симуляций показывают, что при длине кадра 70 бод и более целесообразно использовать метод предварительной оценки канала связи (рис. 7). Увеличение коэффициента использования канала при высоких длинах кадра может достигать 20 %.

Таблица 1

Table 1

Оценка количества полученных бит за время существования метеорного следа

с применением предварительной оценки и без нее

Estimation of the received bits counts per meteor burst lifetime with and without applying
a pre-estimate

	Символов / кадр	Кадров / след	бит/след синхронизация без потерь	бит/след с потерей первого пакета	Потери полудуплексе	Кадров/след с задержкой 0,03с	Предв. оценка канала бит/след	Предв. оценка канала потери
BPSK	280	4,46	1230,17	954,2	22,4%	4,23	1154,48	6,2%
	140	8,91	1212,34	1076,3	11,2%	8,50	1143	5,7%
	70	17,83	1176,68	1110,7	5,6%	17,10	1115,6	5,2%
	35	35,66	1105,37	1074,4	2,8%	33,60	1028,6	6,9%
	24	52,00	1040	1020,0	1,9%	49,00	7	7,0%
QPSK	280	4,46	2460,34	1920,3	21,9%	4,37	2399,24	2,5%
	140	8,91	2424,686	2151	11,3%	8,70	2353,4	2,9%
	70	17,83	2353,37	2220,9	5,6%	17,10	2244,2	4,6%
	35	35,66	2210,74	2146,2	2,9%	34,60	2132,2	3,6%
	24	52,00	2080	2043	1,8%	50,20	1995	4,1%

Заключение

Метеорная радиосвязь является перспективным видом связи на дальнее расстояние, в том числе и в недоступных регионах, особенно в северных широтах. Решение задачи увеличения плотности информации при передаче через метеорные каналы является актуальным. Результаты исследования подтверждают возможность и актуальность использования предварительной оценки образованного канала связи на передающей стороне, которая позволяет увеличить коэффициент использования метеорной связи. Такой подход позволяет компенсировать неточность в определении момента возникновения канала, вызванную вероятностным характером метеорной вспышки. Предварительная оценка параметров канала с высокой достоверностью позволяет определить оптимальный вид многопозиционной модуляции и сократить временные затраты на принятие такого решения. Такой подход, благодаря всенаправленному характеру распространения радиоволн от метеорного следа, может быть использован и для предварительной оценки частотных характеристик вероятного канала связи, что позволит сократить защитные интервалы в OFDM, тем самым еще увеличить коэффициент использования канала. Учитывая высокую чувствительность сигналов OFDM к эффекту Доплера, описанный способ является перспективным для применения в подстройке частоты на передающем узле в подвижных системах метеорной радиосвязи.

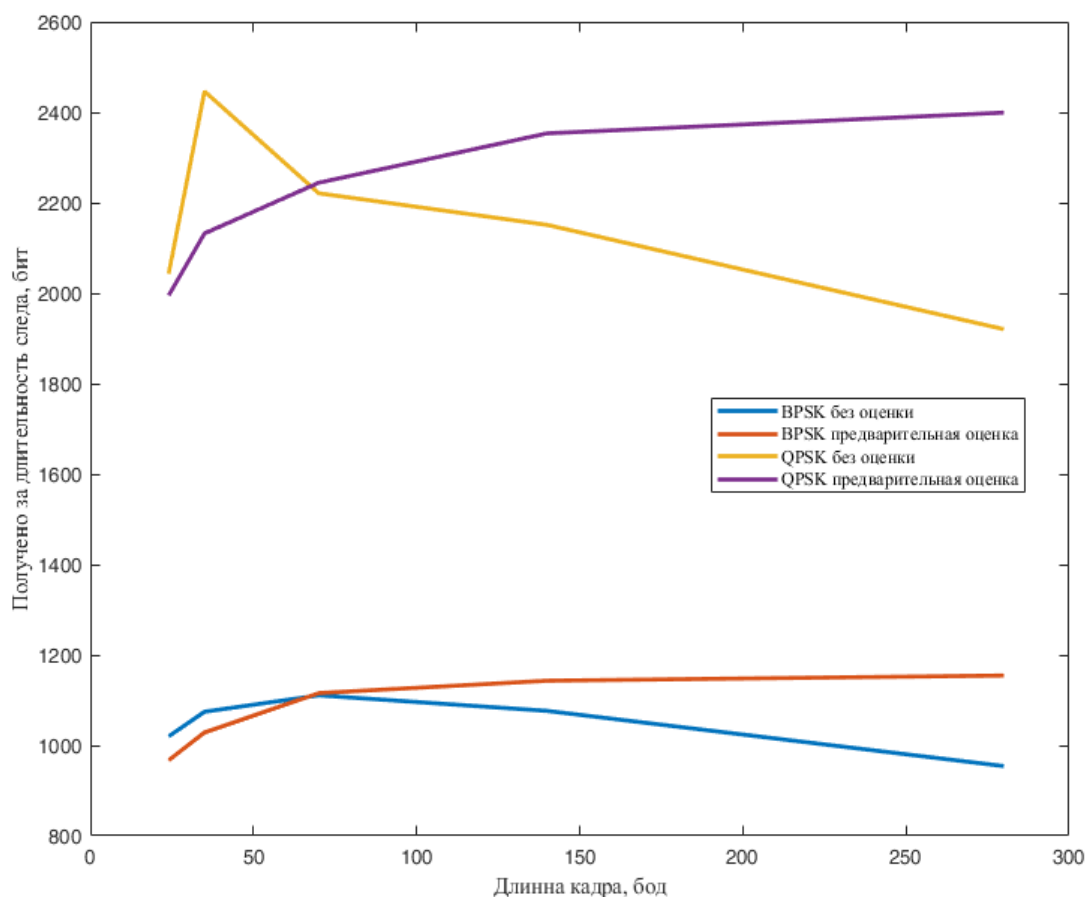


Рис. 7. Количество полученных бит за время существования метеорного следа с применением предварительной оценки и без нее

Fig. 7. Number of received bits for the meteor trail lifetime with and without the application of preliminary estimation

Список источников

- Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: https://minec.gov-murman.ru/activities/strat_plan/arkticzone/ (дата обращения 09.01.2025).
- Theory of Meteor Reflection. The International Meteor Organization (IMO) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/reflection/> (дата обращения 09.01.2025).

Список литературы

- Бабаджанов П.Б. 1987. Метеоры и их наблюдение. М.: Наука. 176 с.
- Белокопытов А.Е. 2015. Выбор эффективного вида цифровой модуляции в системах радиосвязи по критериям эффективности. *Научный альманах*, 11-3(13): 35–38. DOI:10.17117/na.2015.11.03.035
- Белькович О.И. 2008. Метеорное распространение радиоволн. Справ. пособие. Зеленодольск. 48 с.
- Благов Д.С., Волвенко С.В. 2010. Повышение скорости передачи информации в метеорных системах связи путем использования сигналов переменной длительности. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*, 5(108): 7–13.
- Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. 1986. Теория передачи сигналов. Изд. 2, перераб. и дополн. Москва: Радио и связь. 304 с.

- Капралов Д.Д., Кирик Д.И. 2018. Стохастическая модель метеорного радиоканала. *Труды учебных заведений связи*, 4(3): 54–64. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-54-64
- Карпов А.В., Сидоров В.В., Сулимов А.И. 2008. Метеорная генерация секретных ключей шифрования для защиты открытых каналов связи. *Информационные технологии и вычислительные системы*, 3: 45–54
- Качнов А.И., Пенкин А.А., Рыбаков А.В. 2016. Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, Россия, 10–11 марта 2016). Сборник научных статей. СПб.: СПбГУТ. 177–181.
- Максимова Е.И., Лавренюк И.И., Волвенко С.В. 2020. Уменьшение времени доставки сообщения для вещательного протокола метеорной системы радиосвязи за счёт совершенствования схем модуляции. Сборник докладов 75-й научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова. 116–118.
- Машкова Е.Д., Завьялов С.В. 2020. Оценка времени доставки сообщений в метеорном канале радиосвязи при использовании полудуплексного протокола. Сборник докладов 75-й научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова. 123–126.
- Метеорная связь на ультракоротких волнах. 1961. Сборник статей. под ред. А.Н. Казанцева. М.: Изд-во иностр. литературы. 287 с.
- Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. 2019. Основные направления развития метеорной связи. *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*, 11(4): 30–47. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277
- Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. 2016. Территориально распределенный стенд ПАО «Интелтех» и новые возможности проведения НИР и ОКР по созданию перспективных комплексов связи. *Морская радиоэлектроника*, 3: 50–55.
- Першин А.С. 2013. Методы пространственной фильтрации помех. *Доклады ТУСУРа*, 3(29): 43–46.
- Рябов И.В., Толмачев С.В., Лебедева А.А. 2016. Аппаратно-программный комплекс для обнаружения метеорных следов с изменяемой полосой пропускания. *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*, 4(24): 66–75.
- Титков С.Б. 2006. Технические предложения по использованию метеорной связи. *Защита информации. Инсайд*. 3: 74–80.
- Crook A.G., Sytsma D. 1989. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. 178: 9–17.
- Melville S.W., Fraser D.D. 1993. Meteor-Burst Communications: A Review. *The transactions of the SA institute of electrical engineers*, 84(2): 60–68.

References

- Babadzhanov P.B. 1987. *Meteory i ikh nablyudeniye* [Meteors and their observations]. M.: Nauka, Gl. red. fizmat, lit., 176 p.
- Belokopytov A.E. 2015. Vybory effektivnogo vida tsifrovoy modulyatsii v sistemakh radiosvyazi po kriteriyam effektivnosti [The choice of an effective form of digital modulation in the radio communication systems according to the criteria of efficiency]. *Nauchnyy al'manakh* [Scientific Almanac]. 11-3(13): 35–38. DOI:10.17117/na.2015.11.03.035
- Bel'kovich O. I. 2008. *Meteornoye rasprostraneniye radiovoln. Sprav. posobie* [Meteoric propagation of radio waves. Handbook]. Zelenodol'sk. 48 p.
- Blagov D.S., Volvenko S.V. 2010. Povysheniye skorosti peredachi informatsii v meteornykh sistemakh svyazi putem ispol'zovaniya signalov peremennoy dlitel'nosti [Increasing the data transmission rate in meteor communication systems by using variable-duration signals]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Management]. 5(108): 7–13.
- Zyuko A.G., Klovskiy D.D., Nazarov M.V., Fink L.M. 1986. *Teoriya peredachi signalov. Izd. 2, pererab. i dopoln* [Theory of signal transmission. 2nd edition, revised and supplemented]. Moskva: Radio i svyaz'. 304 p.
- Kapralov D.D., Kirik D.I. 2018. Stokhasticheskaya model' meteornogo radiokanala [Stochastic model of meteor-burst radio channel]. *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazi* [Proceedings of educational institutions of communication], 4(3): 54–64. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-54-64

- Karpov A.V., Sidorov V.V., Sulimov A.I. 2008. Meteorная генерация секретных ключей шифрования для защиты открытых каналов связи [Meteor Generation of Secret Encryption Keys for Protecting Open Communication Channels]. *Информационные технологии и вычислительные системы* [Information Technologies and Computing Systems], 3: 45–54
- Kachnov A.I., Penkin A.A., Rybakov A.V. 2016. Razrabotka mobil'noy sistemy informatsionnogo obespecheniya s ispol'zovaniem kanalov meteornoy svyazi [The development of mobile information provision systems using meteor communication channels]. V Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii» (Sankt-Peterburg, Rossiya, 10–11 marta 2016). Sbornik nauchnykh statey. SPb.: SPbGUT. 177–181.
- Maksimova E.I., Lavrenyuk I.I., Volvenko S.V. 2020. Umen'shenie vremeni dostavki soobshcheniya dlya veshchatel'nogo protokola meteornoy sistemy radiosvyazi za schet sovershenstvovaniya skhem modulyatsii [Reducing the message delivery time for the broadcast protocol of the meteor radio communication system by improving the modulation schemes]. Sbornik dokladov 75-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova. 116–118.
- Mashkova E.D., Zav'yalov S.V. 2020. Otsenka vremeni dostavki soobshcheniy v meteornom kanale radiosvyazi pri ispol'zovanii poludupleksnogo protokola [Estimation of the message delivery time in the meteor radio communication channel using the half-duplex protocol]. Sbornik dokladov 75-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova. 123–126.
- Meteorная связь на ультракоротких волнах [Meteor communication on ultrashort waves]. 1961. Sbornik statey. pod red. A. N. Kazantseva. M.: Izd-vo inostr. literatury. 287 p.
- Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. 2019. Osnovnye napravleniya razvitiya meteornoy svyazi [The main directions of development of meteor communication]. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli* [High-tech technologies in space research of the Earth], 11(4): 30–47. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277
- Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. 2016. Territorial'no raspredelennyi stand PAO «Inteltek» i novye vozmozhnosti provedeniya NIR i OKR po sozdaniyu perspektivnykh kompleksov svyazi [The "Inteltek" pjsc geographically distributed test bench (stand) and the new possibilities of RDT&E for creation of the next-generation communication systems]. *Morskaya radioelektronika* [Marine electronics], 3: 50–55.
- Pershin A.S. 2013. Metody prostranstvennoy fil'tratsii pomekh [The spatial noise filtering]. *Doklady TUSURa*, 3(29): 43–46.
- Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. 2016. Apparatno-programmnyy kompleks dlya obnaruzheniya meteornykh sledov s izmenyaemoy polosoy propuskaniya [Hardware and software package for meteor trails detection having variable bandwidth]. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy* [Radiotechnical and Telecommunication Systems], 4(24): 66–75
- Titkov S.B. 2006. Tekhnicheskie predlozheniya po ispol'zovaniyu meteornoy svyazi [Technical proposals for the use of meteor communication]. *Zashchita informatsii. Insayd* [Information security. Inside], 3. p. 74–80.
- Crook A.G., Sytsma D. 1989. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. 178: 9–17.
- Melville S.W., Fraser D.D. 1993. Meteor-Burst Communications: A Review. *The transactions of the SA institute of electrical engineers*, 84(2): 60–68.

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 09.01.2025
Поступила после рецензирования 28.02.2025
Принята к публикации 04.03.2025

Received January 09, 2025
Revised February 28, 2025
Accepted March 04, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия,

Орехов Андрей Олегович, аспирант кафедры информационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Andrey O. Orekhov, Graduate student of the Department of Information Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.934.5

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226

Об алгоритмах сегментации цифровых изображений автомобильных дорог

¹ Лазарев Д.А., ² Фуников А.Д., ² Болгова Е.В., ² Черноморец А.А., ² Фефелов О.С.

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия
funikov@bsuedu.ru

Аннотация. В данной работе изложены результаты проведения вычислительных экспериментов по применению алгоритмов сегментации к изображениям дорожного покрытия. В ходе проведения исследования показано применение алгоритмов сегментации, таких как алгоритм пороговой сегментации Оцу, алгоритм К-средних, алгоритм сдвига среднего, алгоритм водораздела и алгоритм активного контура в двух случаях: входное изображение предварительно не изменялось и было обработано фильтром Гаусса. Результаты вычислительных экспериментов проиллюстрировали, что в качестве алгоритма поиска двух классов на входном изображении (Negative – травяное покрытие, Positive – дорожное покрытие) целесообразно применять алгоритм сдвига среднего, который показал наибольшую среднюю точность работы алгоритма 0,96.

Ключевые слова: изображение дорожного покрытия, сегментация, фильтр Гаусса, алгоритм К-средних, алгоритм сдвига среднего, точность, полнота

Для цитирования: Лазарев Д.А., Фуников А.Д., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Фефелов О.С. 2025. Об алгоритмах сегментации цифровых изображений автомобильных дорог. *Экономика. Информатика*, 52(1): 215–226. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226

On Algorithms for Segmentation of Digital Images of Motor Roads

¹ Dmitry A. Lazarev, ² Andrey D. Funikov, ² Evgeniya V. Bolgova,

² Andrey A. Chernomorets, ² Oleg S. Fefelov

¹ Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova
46 Kostyukova St, Belgorod 308012, Russia

² Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
funikov@bsuedu.ru

Abstract. This paper presents the results of computational experiments which allow investigating the application of segmentation algorithms for processing the road surface images. The conducted research shows the results of using the segmentation algorithms such as the Otsu threshold segmentation algorithm, the K-means algorithm, the mean shift algorithm, the watershed algorithm, and the active contour algorithm. The paper provides a brief analysis of these algorithms. The results of computational experiments were received for two cases. For the first case, the input image was not previously modified, and for the second, it was processed with a Gaussian filter. The results of computational experiments have illustrated that it is advisable to use the average shift algorithm as an algorithm for searching for two classes in the input image (Negative – grass surface, Positive – road surface). The average shift algorithm showed the highest average accuracy of 0.92. The K-means algorithm also showed fairly good results with average accuracy of 0.88.

Keywords: road surface image, segmentation, Gaussian filter, K-means method, mean shift algorithm, precision, recall

© Лазарев Д.А., Фуников А.Д., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Фефелов О.С., 2025

For citation: Lazarev D.A., Funikov A.D., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., Fefelov O.S. 2025. On Algorithms for Segmentation of Digital Images of Motor Roads. *Economics. Information technologies*, 52(1): 215–226 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-215-226

Введение

Одним из важнейших компонентов транспортной инфраструктуры любой страны является система автомобильных дорог. Высокий темп роста протяжённости автомобильных дорог обоснован необходимостью транспортного обеспечения большого количества населённых пунктов. Для обеспечения безопасности движения как в городской среде, так и между населёнными пунктами требуется поддерживать дорожное покрытие в состоянии, пригодном для перемещения транспорта. Различные виды повреждений дорожного покрытия не только затрудняют перемещение транспорта, но и могут становиться причинами дорожно-транспортных происшествий. Для поддержания дорог в пригодном к эксплуатации состоянии необходимо своевременно обнаруживать факты разрушений дорожного покрытия, что становится сложной задачей в условиях, когда системы автомобильных дорог растягиваются на многие тысячи километров [Оценка моделей ML/DL...].

Для решения задачи обработки информации о состоянии дорожного покрытия эффективным подходом является компьютерное зрение, входными данными для которого являются соответствующие цифровые изображения. Изображение дорожного покрытия может быть получено различными способами (фото со спутника, съёмка при помощи БПЛА, съёмка при помощи дорожных лабораторий). Задача компьютерной обработки изображений дорожного покрытия заключается в том, что исходные данные являются однотонными, то есть они не имеют существенно различных областей фона или объекта, которые подлежат сегментации. Чтобы снизить время решения задачи по идентификации объектов (повреждений) в таких изображениях, необходима предварительная обработка данных, при которой из исходного изображения будет извлечена избыточная информация. Под избыточной информацией понимается часть изображения, которая не является дорожным покрытием [Lenin, Rao, Rajesh, 2021]. Ввиду того, что дорожное покрытие имеет различную ширину, на исходные данные часто попадают такие элементы, как части обочин, тротуары и травяное покрытие [Журавлев, Аксенов, 2023]. В рамках данного исследования проведены вычислительные эксперименты с применением различных алгоритмов обработки изображений для сегментации исходного изображения на два класса – дорожное покрытие и иное покрытие, не относящееся к дорожному [Соболь и др., 2019; Васильев, Сеничев, 2020].

Анализ алгоритмов сегментации изображений

Одной из изучаемых задач в компьютерном зрении является задача сегментации изображений. Сегментация – результат разделения изображения на отдельные фрагменты, которые обладают общими свойствами. Основным элементом для компьютерной обработки изображения является пиксель, поэтому свойства для сегментации изображений, как правило, определяются цветом пикселя [Дубенко и др., 2021].

Рассмотрим некоторые алгоритмы сегментации изображений.

Алгоритм сегментации изображения по алгоритму Оцу. Данный алгоритм относится к алгоритмам пороговой обработки изображения, поэтому для вычислений в нём используется порог – признак, при помощи которого область изображения делится на классы. Расчёт порога производится таким образом, чтобы внутриклассовая дисперсия была минимальной. Процесс порогового разделения заключается в сопоставлении показателя яркости каждого пикселя изображения в соответствии с заданным значением порога. Алгоритм Оцу предполагает построение гистограммы изображения для расчёта порога. В данной гистограмме

N приравнивается к количеству пикселей, значение i – уровень яркости, а p_i считается количеством пикселей с уровнем яркости i . Достоинствами алгоритма Оцу является простота реализации и скорость вычислений. Недостатком алгоритма можно считать его чувствительность к неравномерной яркости изображения. Однако в настоящее время проблема учета в алгоритме Оцу проблемы неравномерной яркости решается введением нескольких локальных порогов вместо одного глобального [Лукашик, 2022].

В обработке изображений часто применяется алгоритм К-средних, в котором необходимо задавать априори количество искомых на изображении кластеров (сегментов). Для обработки изображения алгоритмом К-средних необходимо проделать следующие действия:

- 1) выбирается значение k (количество искомых сегментов);
- 2) произвольно назначаются точки данных для всех кластеров;
- 3) вычисляется центр кластеров;
- 4) вычисляется расстояние от точек данных до центра каждого кластера;
- 5) в зависимости от расстояния каждый пиксель изображения присваивается тому или иному кластеру;
- 6) повторно вычисляются центры кластеров;
- 7) шаги 4, 5 и 6 алгоритма повторяются, пока точки данных не перестанут изменять кластеры или пока не достигнуто заданное количество итераций.

Алгоритм сдвига среднего (MeanShift). MeanShift – алгоритм кластеризации данных, который можно использовать для поиска сегментов на изображении. Алгоритм основывается на сходстве в пространстве цветовых характеристик изображения. Алгоритм сдвига среднего имеет ряд преимуществ, таких как автоматическое определение количества искомых кластеров K , возможность работы с кластерами различной структуры, операция сдвиг среднего, которая делает алгоритм устойчивым к выбросам. Также имеется ряд недостатков, таких как высокая вычислительная сложность и зависимость от различных параметров, например, размер области для вычисления сдвига [Айзенберг, 1997].

Сегментация на основе активного контура. Данный алгоритм позволяет выделить сегмент изображения путём создания замкнутой кривой на некоторой области изображения. Активный контур состоит из двух основных компонентов: модели формы и модели энергии. Модель формы представляет собой математическое описание формы объекта, который необходимо выделить. Модель энергии определяет, какие точки на изображении должны быть притянуты или отталкиваться от контура, чтобы определить его конечную форму. Основными этапами работы алгоритма активного контура являются: выбор начального положения на изображении, вычисление энергии контура (состоит из двух частей – внутренней и внешней энергии). Преимуществами алгоритма являются способность выделять объекты со сложными формами и текстурами, а также гибкость алгоритма к различным контурам. К недостаткам можно отнести сложность подбора параметров алгоритма, которые влияют на результат сегментации, и невысокую точность выделения мелких деталей на изображении [Лукашик, 2022].

Алгоритм водораздела. При использовании алгоритма водоразделов для сегментации полутоновое изображение представляется в виде поверхностей уровня, на котором значения пикселей являются высотами. Для построения так называемого «водораздела» используется алгоритм преобразования расстояния, которое заключается в вычислении расстояния до ближайшего пикселя с ненулевым расстоянием в преобразованном бинарном изображении [Алтынбай, Кусаинова, 2024].

Группа алгоритмов сегментации на основе движения. При применении данных алгоритмов поиск сегментов в области изображения производится на основе цветовых и яркостных характеристик пикселей, однако зачастую такой информации недостаточно. В этом случае происходит обработка нескольких кадров (обработка последовательности кадров в видеофрагменте). Такой подход требует большего количества вычислительных

ресурсов, однако наличие нескольких кадров позволяет значительно увеличить качество сегментации фрагментов на изображении [Алтынбай, Кусаинова, 2024].

Оценку работоспособности рассматриваемых алгоритмов обработки изображений предлагается выполнять при помощи специальных метрик: precision и recall [Оценка моделей ML/DL...].

Данные метрики в работе вычисляются для случая классификации изображения на два сегмента – обочина и дорожное покрытие (бинарная классификация). В случае бинарной классификации применим следующие параметры для расчёта метрик работоспособности (табл. 1):

–TP (TruePositive) – объект представляет собой дорожное покрытие и алгоритм его идентифицирует как дорожное покрытие (представляет верно);

–FP (FalsePositive) – объект представляет собой травяное покрытие, алгоритм его идентифицирует как дорожное покрытие (ошибается);

–TN (TrueNegative) – объект представляет собой травяное покрытие и алгоритм его идентифицирует как травяное покрытие (представляет верно);

–FN (FalseNegative) – объект представляет собой дорожное покрытие, алгоритм его идентифицирует как травяное покрытие (ошибается).

Таблица 1
Table 1

Параметры расчёта метрик работоспособности алгоритма
Parameters for calculating the algorithm performance metrics

		Ответ алгоритма	
		0	1
Истина	0	True Negative	False Positive
	1	False Negative	True Positive

Метрика Precision определяется следующим образом [Оценка моделей ML/DL...]:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}. \quad (1)$$

Метрика Precision интерпретируется как доля объектов, которые алгоритм отнёс к Positive и которые действительно являются Positive.

Метрика Recall рассчитывается по формуле (2):

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (2)$$

Метрика Recall характеризуется как полнота работы алгоритма и показывает способность алгоритма обнаруживать класс Positive в целом.

Результаты вычислительных экспериментов

Задачей проведенных вычислительных экспериментов является оценивание их работоспособности для сегментации изображений дорожного покрытия. Для проведения вычислительных экспериментов выбрано 3 изображения дорожного покрытия в различных условиях (рисунки 1а, 2а, 3а) и предварительно оператором проведена разметка изображений. Целью разметки изображений является задание оператором тестовых областей на изображении, соответствующих обочине и дорожному покрытию.

На рисунках 1–3 приведены следующие результаты:

- (а) – исходное изображение;
- (б) – изображение, обработанное фильтром Гаусса;
- (в) – разметка оператором входного изображения;
- (г) – сегментация алгоритмом ОЦУ;

- (д) – сегментация алгоритмом k-средних;
- (е) – сегментация алгоритмом MeanShift;
- (ж) – сегментация алгоритмом активных контуров;
- (з) – сегментация алгоритмом водораздела.

На рис. 1 представлены результаты вычислительных экспериментов для изображения № 1.

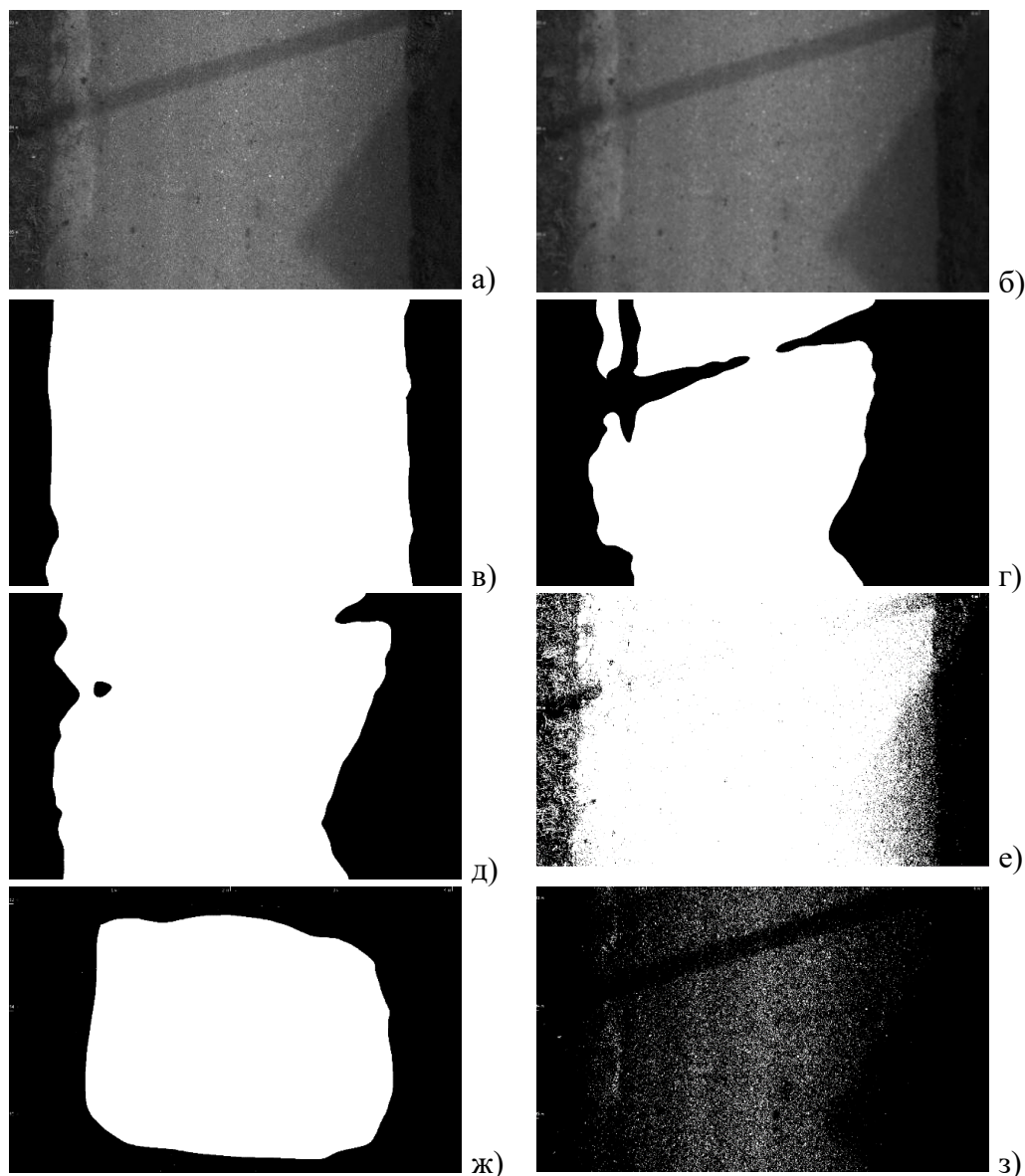


Рис. 1. Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 1
Fig. 1. Results of computational experiments for image No 1

Для изображения № 1 результаты вычислительных экспериментов представлены в табл. 2. В табл. 2 представлены значения точности и полноты работы алгоритма в зависимости от наличия или отсутствия предварительной обработки изображения фильтром Гаусса [Дудко и др., 2015; Алтынбай, Кусаинова, 2024]. При применении фильтра Гаусса используется радиус размытия 13×13 пикселей.

Для изображения № 2 результаты вычислительного эксперимента представлены в табл. 3. В табл. 3 представлены значения точности и полноты работы алгоритма в зависимости от наличия или отсутствия предварительной обработки изображения фильтром Гаусса [Дудко и др., 2015; Алтынбай, Кусаинова, 2024]. При применении фильтра Гаусса используется радиус размытия 13×13 пикселей.

Таблица 2
Table 2

Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 1
Results of computational experiments for image No 1

Применяемый алгоритм	Параметры	Исходное изображение	Применён фильтр Гаусса
Алгоритм Оцу	Precision	0,63	0,65
	Recall	0,98	1
Алгоритм K-means	Precision	0,69	0,82
	Recall	0,99	1
Алгоритм MeanShift	Precision	0,94	0,94
	Recall	0,85	0,85
Алгоритм активных контуров	Precision	0,64	0,64
	Recall	1	1
Алгоритм водораздела	Precision	0,4	0,4
	Recall	1	1

На рис. 2 представлены результаты вычислительных экспериментов для изображения № 2.

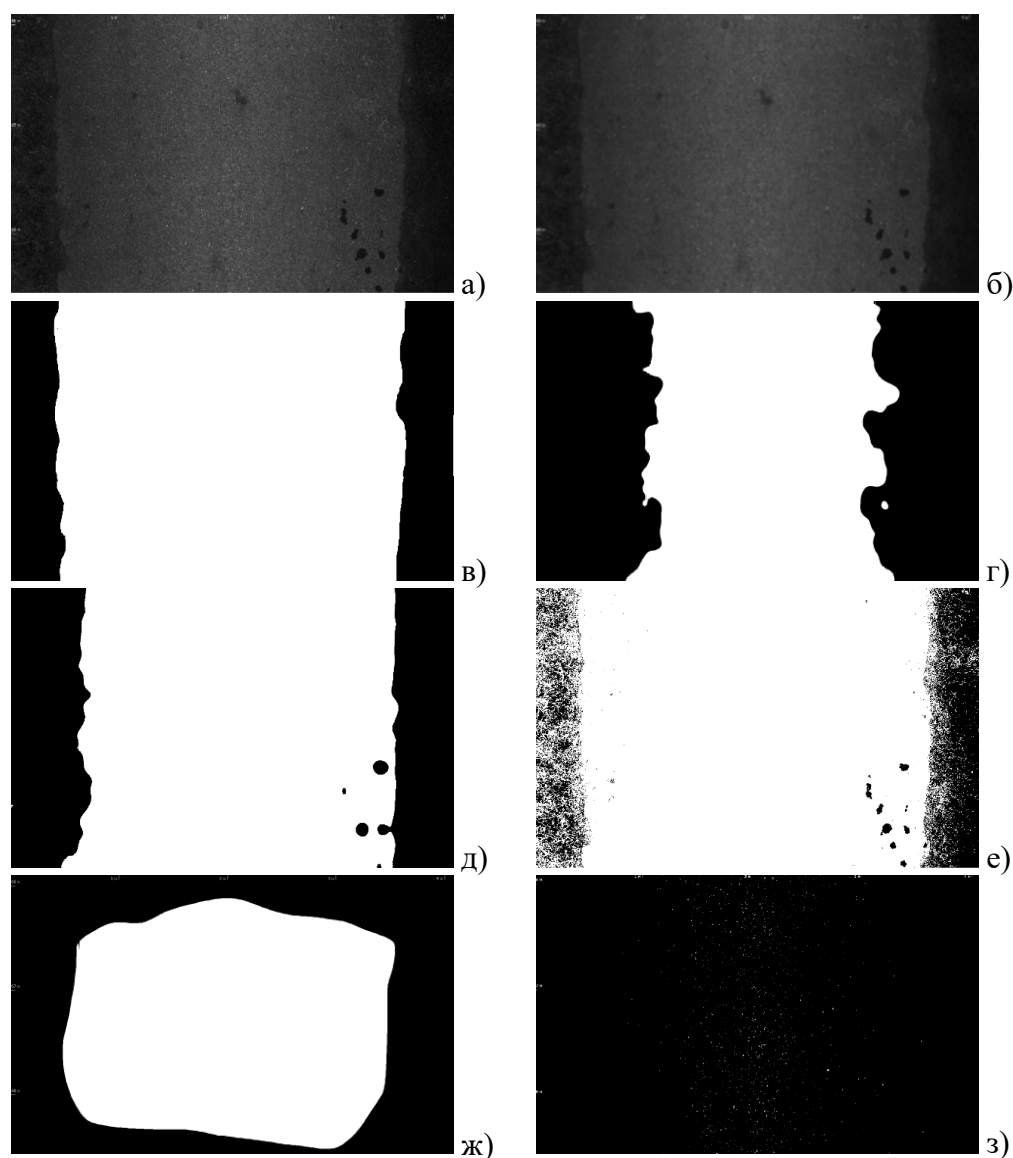


Рис. 2. Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 2
Fig. 2. Results of computational experiments for image No 2

Таблица 3
Table 3

Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 2
Results of computational experiments for image No 2

Применяемый алгоритм	Параметры	Без фильтра Гаусса	С фильтром Гаусса
Алгоритм Оцу	Precision	0,69	0,82
	Recall	0,99	1
Алгоритм К-means	Precision	0,72	0,91
	Recall	0,99	1
Алгоритм MeanShift	Precision	0,96	0,96
	Recall	0,72	0,72
Алгоритм активных контуров	Precision	0,72	0,72
	Recall	1	1
Алгоритм водораздела	Precision	0,02	0,02
	Recall	1	1

На рис. 3 представлены результаты вычислительных экспериментов для изображения № 3.

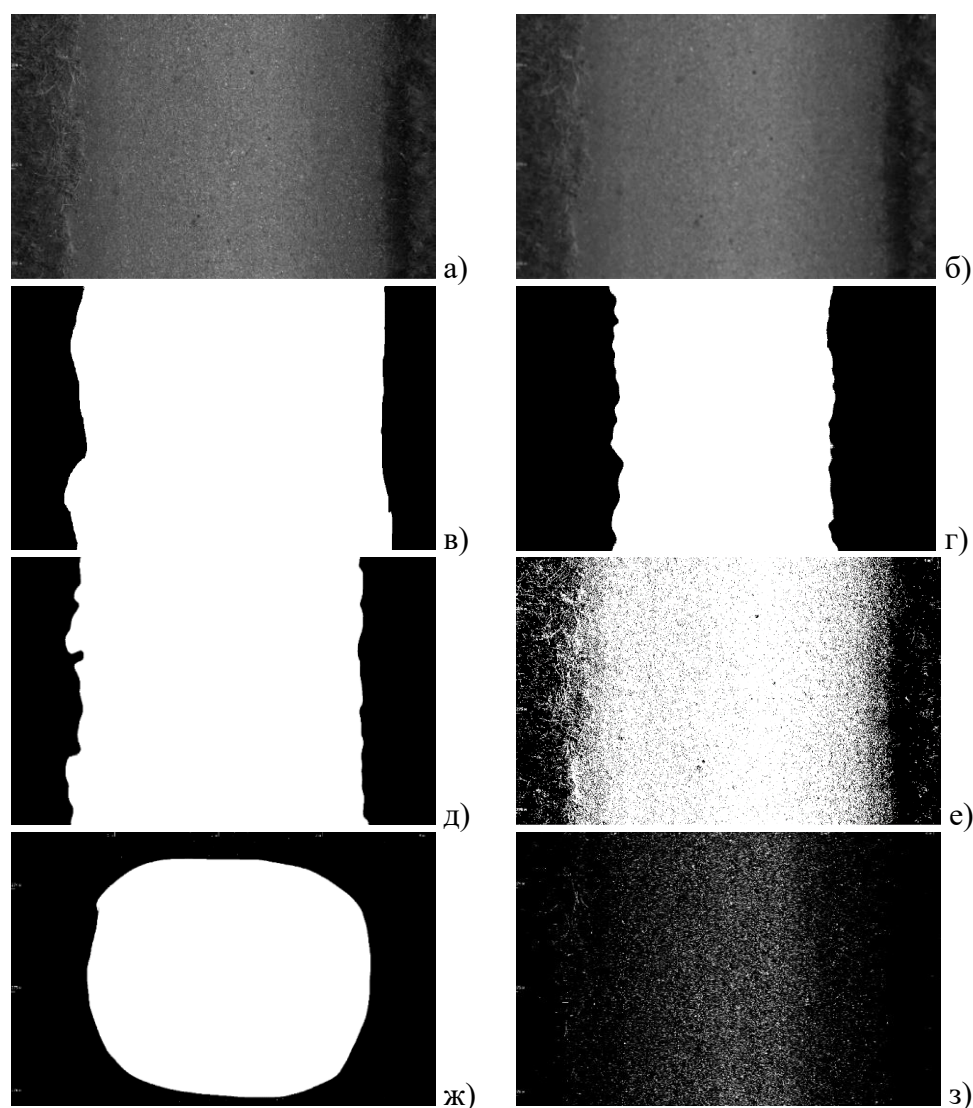


Рис. 3. Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 3
Fig. 3. Results of computational experiments for image No 3

Для изображения № 3 результаты вычислительных экспериментов представлены в табл. 4. В табл. 4 представлены значения точности и полноты работы алгоритма в зависимости от наличия или отсутствия предварительной обработки изображения фильтром Гаусса [Дудко и др., 2015; Алтынбай, Кусайнова, 2024]. При применении фильтра Гаусса используется радиус размытия 13×13 пикселей.

Таблица 4

Table 4

Результаты вычислительных экспериментов для изображения № 3
Results of computational experiments for image No 3

Применяемый алгоритм	Параметры	Исходное изображение	Применён фильтр Гаусса
Алгоритм Оцу	Precision	0,66	0,7
	Recall	0,93	1
Алгоритм K-means	Precision	0,69	0,92
	Recall	0,92	0,98
Алгоритм MeanShift	Precision	0,88	0,88
	Recall	0,87	0,87
Алгоритм активных контуров	Precision	0,69	0,69
	Recall	1.0	1.0
Алгоритм водораздела	Precision	0,45	0,45
	Recall	0,94	0,94

На рис. 4 представлена гистограмма, иллюстрирующая зависимость значений Recall и Precision от применения анализируемых алгоритмов для сегментации исходных изображений.

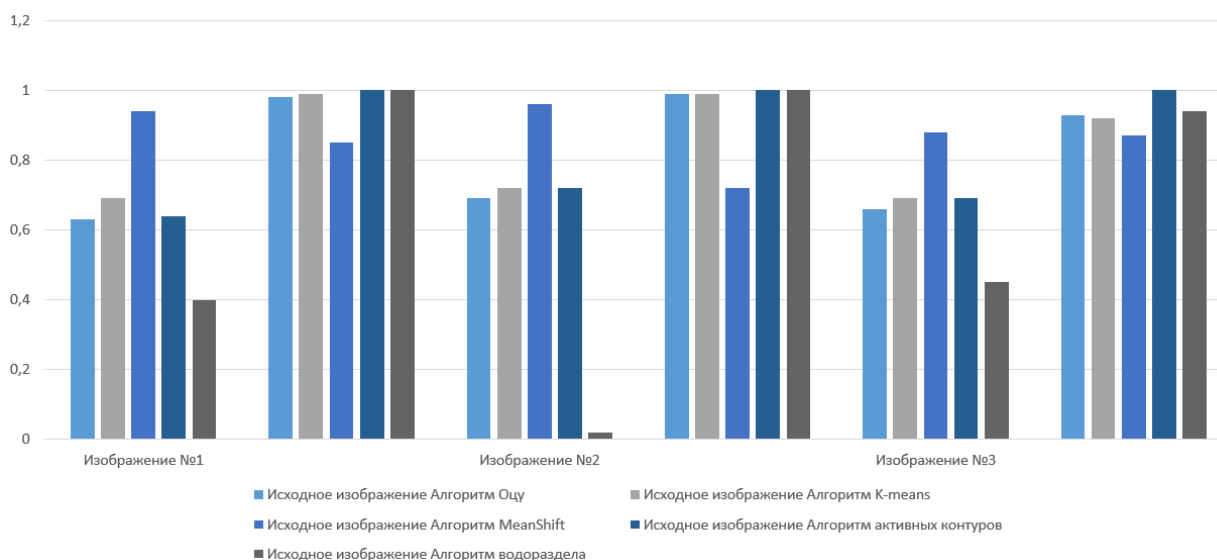


Рис. 4. Сравнение метрик Precision и Recall при обработке исходного изображения различными алгоритмами сегментации

Fig. 4. Comparison of Precision and Recall metrics when processing the original image using different segmentation algorithms

На рис. 5 аналогичная интерпретация результатов вычислительных экспериментов представлена для случая предварительной обработки входного изображения фильтром Гаусса.

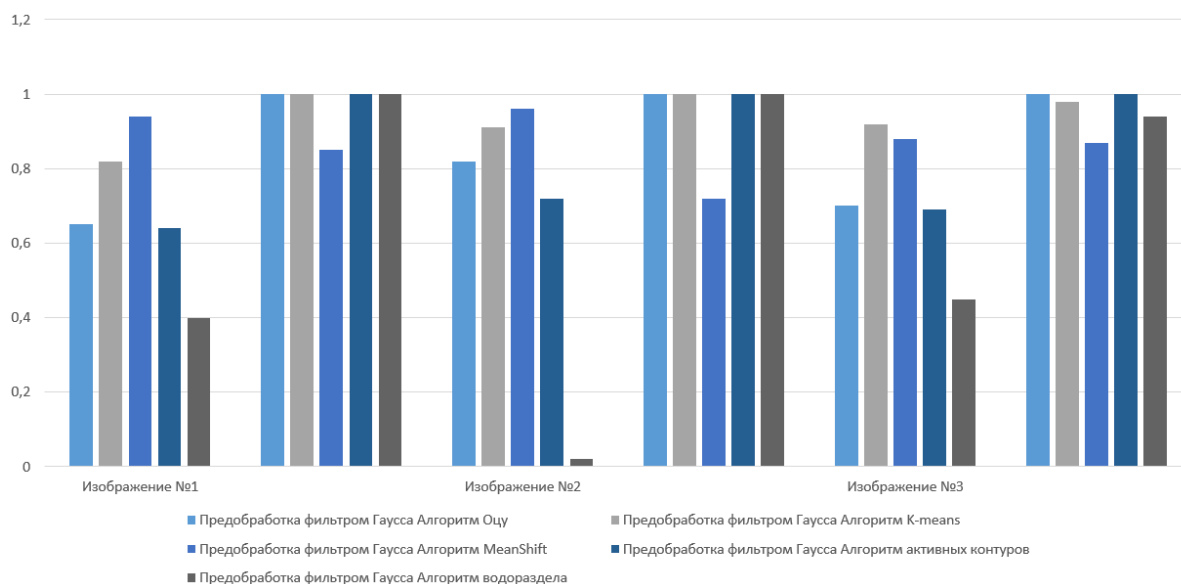


Рис. 5. Сравнение метрик Precision и Recall при обработке размытого изображения различными алгоритмами сегментации

Fig. 5. Comparison of Precision and Recall metrics when processing a blurred image using different segmentation algorithms

Результаты, приведённые в табл. 2–4 и на рис. 4–5, демонстрируют, что при сегментации на изображениях дорожного покрытия метод сдвига среднего имеет некоторые преимущества.

Заключение и выводы

Результаты вычислительных экспериментов продемонстрировали, что алгоритм сдвига среднего (MeanShift) позволяет выделить искомые области как при обработке исходного изображения, так и в условиях предварительного размытия изображения. Для данного алгоритма средний показатель Precision по трём изображениям составляет 0,92. При этом наибольшее полученное значение показателя (0,96) соответствует второму изображению, на котором чистое асфальтовое покрытие полностью закрыто тенью (лесополоса). Также достаточно высокие результаты показывает алгоритм К-средних, который в среднем по трём изображениям имеет показатель Precision равный 0,88. При этом для третьего изображения значение Precision при применении алгоритма К-средних выше, чем для алгоритма сдвига среднего (0,92 и 0,88 соответственно).

Таким образом, результаты проведенных вычислительных экспериментов продемонстрировали, что для сегментации изображений автомобильной дороги в большинстве случаев целесообразно применять алгоритм сдвига среднего.

Список литературы

- Айзенберг И.Н. 1997. Некоторые алгоритмы обработки изображений и их реализация на нейросетях. *Компьютерная оптика*, 17: 134–142.
- Алтынбай А.Н., Кусаинова У.Б. 2024. Эффективная цифровая обработка изображений в информационных системах. *Вестник науки*, 6(75): 1372–1376.
- Брынь М.Я., Баширова Д.Р., Багишян А.Г. 2021. Сравнительная оценка мобильного лазерного сканирования, аэрофотосъемки с беспилотной авиационной системы и съемки с комплексной дорожной лаборатории при выполнении диагностики автомобильных дорог. *Известия Петербургского университета путей сообщения*, 18(2): 211–221.
- Васильев П.В., Сеничев А.В. 2020. Применение нейросетевых технологий в задаче контроля поверхностных дефектов. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*, 205(1): 33–40.

- Гизатуллин З.М., Ляшева С. А., Морозов О.Г., Шлеймович М.П. 2020. Метод обнаружения контуров на основе весовой модели изображения. *Компьютерная оптика*, 3(44): 393–400.
- Дубенко Ю.В., Дышкант Е.Е., Тимченко Н.Н., Рудешко Н.А. 2021. Метод реконструкции трехмерных сцен, основанный на применении сверточных нейронных сетей, фильтрации по дистанции и с помощью «Октодерева». *Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки*, 4: 43–54. doi:10.21685/2072-3059-2021-4-4
- Дудко И.С., Ефимов А.И., Логинов А.А., Ломтева О.А., Муратов Е.Р. 2015. Автоматизация исследования и отладки алгоритмов и программ обработки изображений. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 9: 87–95.
- Журавлев А.А., Аксенов К.А. 2023. Повышение качества изображений дорожного покрытия на основе подходов морфологической обработки. *Инженерный вестник Дона*, 7(103): 404–413.
- Катаев М.Ю., Карташов Е.Ю., Авдеев В.Д. 2023. Методика обнаружения дефектов дорог с использованием изображений, полученных с беспилотных летательных аппаратов. *Компьютерная оптика*, 3(47): 464–473. doi:10.18287/2412-6179-СО-1209
- Лукашик Д.В. 2022. Анализ современных методов сегментации изображений. *Экономика и качество систем связи*, 2(24): 57–65.
- Мельникова И.С., Дайнеко К.Н. 2016. Выявление дефектов дорожных асфальтобетонных и цементобетонных покрытий тепловизионным методом и автоматизированная обработка результатов контроля. *Вестник Белорусско-Российского университета*, 3(52): 136–145.
- Нгуен Тху Хыонг, Нгуен Тхе Лонг. 2016. Алгоритмическое и программное обеспечение автоматического обнаружения и классификации дефектов дорожного покрытия с помощью метода разреза графов и алгоритма случайных лесов. *iPolytech Journal*, 10 (117): 111–118.
- Оценка моделей ML/DL: матрица ошибок, Accuracy, Precision и Recall. URL: <https://pythonru.com/baza-znaniy/metriki-accuracy-precision-i-recall> (дата обращения: 12.12.2024).
- Соболев Б.В., Соловьев А.Н., Васильев П.В., Подколзина Л.А. 2019. Модель глубокой сверточной нейронной сети в задаче сегментации трещин на изображениях асфальта. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*, 1(19): 63–73.
- Чочиа П.А. 2014. Трехмерные и двумерные изображения: модели, алгоритмы и области анализа. *International Journal of Open Information Technologies*, 11(2): 1–9.
- Abd Mukti S.N., Tahar K.N. 2022. Detection of potholes on road surfaces using photogrammetry and remote sensing methods (review). *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 3(22): 459–471.
- Lenin Kumar Reddy S., Rao C.V., Rajesh Kumar P. 2021. Road feature extraction from LANDSAT-8 and RESOURCESAT-2 images. *RJES*. 3(21): 6.

References

- Aizenberg I.N. 1997. Nekotorye algoritmy obrabotki izobrazhenij i ih realizaciya na nejrosetyah [Some image processing algorithms and their implementation on neural networks]. *Komp'yuternaya optika*, 17: 134–142.
- Altynbay A.N., Kusainova U.B. 2024. Effektivnaya cifrovaya obrabotka izobrazhenij v informacionnyh sistemah [Efficient digital image processing in information systems]. *Vestnik nauki*, 6 (75): 1372–1376.
- Bryn M.Ya., Bashirova D.R., Bagishyan A.G. 2021. Sravnitel'naya ocenka mobil'nogo lazernogo skanirovaniya, aerofotos"emki s bespilotnoj aviacionnoj sistemy i s"emki s kompleksnoj dorozhnoj laboratorii pri vypolnenii diagnostiki avtomobil'nyh dorog [Comparative evaluation of mobile laser scanning, aerial photography from an unmanned aerial system and surveying from an integrated road laboratory when performing diagnostics of highways]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya*, 18(2): 211–22.
- Vasiliev P.V., Senichev A.V. 2020. Primenenie nejrosetevykh tekhnologij v zadache kontrolya poverhnostnykh defektov [Application of neural network technologies in the problem of monitoring surface defects]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 205 (1): 33–40.
- Gizatullin Z.M., Lyasheva S.A., Morozov O.G., Shleimovich M.P. 2020. Metod obnaruzheniya konturov na osnove vesovoj modeli izobrazheniya [Contour detection method based on a weighted image model]. *Komp'yuternaya optika*, 3(44): 393–400.
- Dubenko Yu.V., Dyshkant E.E., Timchenko N.N., Rudeshko N.A. 2021. A method for reconstructing three-

dimensional scenes based on the use of convolutional neural networks, filtering by distance and using the "Octotree". *News of universities. Volga region. Technical sciences*, 4: 43–54 (in Russian). doi:10.21685/2072-3059-2021-4-4.

- Dudko I.S., Efimov A.I., Loginov A.A., Lomteva O.A., Muratov E.R. 2015. Avtomatizaciya issledovaniya i otladki algoritmov i programm obrabotki izobrazhenij [Automation of research and debugging of image processing algorithms and programs]. *Vestnik Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 9: 87–95.
- Zhuravlev A.A., Aksenov K.A. 2023. Povyshenie kachestva izobrazhenij dorozhnogo pokrytiya na osnove podhodov morfologicheskoy obrabotki [Improving the quality of road surface images based on morphological processing approaches]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 7(103): 404–413.
- Kataev M.Yu., Kartashov E.Yu., Avdeenko V.D. 2023. Metodika obnaruzheniya defektov dorog s ispol'zovaniem izobrazhenij, poluchennyh s bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Methodology for detecting road defects using images obtained from unmanned aerial vehicles]. *Komp'yuternaya optika*, 3(47): 464–473. doi:10.18287/2412-6179-CO-1209
- Lukashik D.V. 2022. Analiz sovremennyh metodov segmentacii izobrazhenij [Analysis of modern methods of image segmentation]. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi*, 2 (24): 57–65.
- Melnikova I.S., Daineko K.N. 2016. Vyyavlenie defektov dorozhnyh asfal'tobetonnyh i cementobetonnyh pokrytij teplovizionnym metodom i avtomatizirovannaya obrabotka rezul'tatov kontrolya [Detection of defects of road asphalt concrete and cement concrete pavements by the thermal imaging method and automated processing of inspection results]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*, 3(52): 136–145.
- Nguyen Thu Huong, Nguyen The Long. 2016. An algorithm and software for pavement defect automatic detection and classification based on a graph cut method and a random forest algorithm. *iPolytech Journal*, 10(117): 111–118 (in Russian).
- Evaluation of ML/DL Models: Error Matrix, Accuracy, Precision, and Recall. URL: <https://pythonru.com/baza-znaniy/metriki-accuracy-precision-i-recall> (Accessed: 12.12.2024).
- Sobol B.V., Soloviev A.N., Vasiliev P.V., Podkolzina L.A. 2019. Model' glubokoj svertochnoj nejronnoj seti v zadache segmentacii treshchin na izobrazheniyah asfal'ta [Deep Convolutional Neural Network Model for Asphalt Crack Segmentation]. *Perspektivnye inzhenernye issledovaniya (Rostov-na-Donu)*, 1(19): 63–73.
- Chochia P.A. 2014. Trekhmernye i dvumernye izobrazheniya: modeli, algoritmy i oblasti analiza [Three-Dimensional and Two-Dimensional Images: Models, Algorithms, and Analysis Areas]. *Mezhdunarodnyj zhurnal otkrytyh informacionnyh tekhnologij*, 11(2): 1–9.
- Abd Mukti S.N., Tahar K.N. 2022. Detection of potholes on road surfaces using photogrammetry and remote sensing methods (review). *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 3(22): 459–471.
- Lenin Kumar Reddy S., Rao C.V., Rajesh Kumar P. 2021. Road feature extraction from landsat-8 and resourcesat-2 images. *RJES*. 3 (21): 6.

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 31.01.2025

Поступила после рецензирования 28.02.2025

Принята к публикации 04.03.2025

Received January 31, 2025

Revised February 28, 2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лазарев Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry A. Lazarev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation and Organization of Motor Transport Traffic, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia



Фуников Андрей Дмитриевич, ассистент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey D. Funikov, Assistant of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya V. Bolgova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

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

Фефелов Олег Сергеевич, ассистент кафедры автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Oleg S. Fefelov, Assistant of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-227-238

Модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата

¹ Карви Дж.К.Дж., ² Польщиков К.А., ² Маматов М.Е., ² Голдобин Д.А.

¹ Университет Мустансирия, Ирак, 10001, г. Багдад, ул. Аль-Кадисия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет

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

jalalalqaisy1@gmail.com, polshchikov@bsuedu.ru, 1333190@bsuedu.ru, denis.goldobin@printgrad.ru

Аннотация. В статье предлагается в процессе выпаса животных передавать данные о местоположении контролируемых особей на панель оператора-пастуха с применением беспроводной сети интернета вещей. В случаях опасного приближения животного к границе пастбища оператор имеет возможность воспользоваться беспилотным летательным аппаратом, чтобы с его помощью направить это животное в область безопасного местоположения. Исследование посвящено разработке математической модели доставки сообщений, отправляемых геопозиционными трекерами по сети для контроля местоположения выпасаемых животных. Проведены вычислительные эксперименты, иллюстрирующие возможность применения предлагаемой модели для обоснования значений периода отправки сообщений трекерами, при которых обеспечивается своевременное использование беспилотного аппарата с учетом классов местоположения животных.

Ключевые слова: управление выпасом животных, геопозиционирование, трекер, беспилотный летательный аппарат, мультикоптер, интернет вещей, протокол LoRaWAN

Для цитирования: Карви Дж.К.Дж., Польщиков К.А., Маматов М.Е., Голдобин Д.А. 2025. Модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата. *Экономика. Информатика*, 52(1): 227–238. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-227-238

Message Delivery Model for Animal Grazing Control Using the Internet of Things and Unmanned Aerial Vehicle

¹ Jalal Q.J. Karwi, ² Konstantin A. Polshchykov, ² Mikhail E. Mamatov,

² Denis A. Goldobin

¹ Mustansiriyah University, AL-Qadisiya St, Baghdad, 10001, Iraq

² Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia

jalalalqaisy1@gmail.com, polshchikov@bsuedu.ru, 1333190@bsuedu.ru, denis.goldobin@printgrad.ru

Abstract. The study is devoted to the development of a mathematical model for delivering messages sent by geopositioning trackers over the network to monitor the location of grazing animals. The authors propose to transmit data on the location of monitored individual animals to the operator-shepherd panel using a wireless Internet of Things network during the grazing process. In cases where an animal dangerously approaches the pasture boundary, the operator can use an unmanned aerial vehicle to direct the animal to a safe location. The scientific novelty of the model lies in considering the influence of the parameters of the pasture, the monitored herd, the multicopter, and the wireless devices used on the values of time intervals between the moments of delivering data sent by trackers placed on the animals to the operator panel. The proposed model is based on the original classification of the location of monitored objects. Depending on the distance to the pasture boundary, four classes

© Карви Дж.К.Дж., Польщиков К.А., Маматов М.Е., Голдобин Д.А., 2025



of animal location are distinguished. Computational experiments were carried out illustrating the possibility of using the proposed model to justify the values of the period of sending messages by trackers, which ensures the timely use of the unmanned vehicle, taking into account the classes of animal location.

Keywords: animal grazing control, geo-positioning, tracker, unmanned aerial vehicle, multicopter, internet of things, LoRaWAN protocol

For citation: Karwi J.Q.J., Polshchykov K.A., Mamatov M.E., Goldobin D.A. 2025. Message Delivery Model for Animal Grazing Control Using the Internet of Things and Unmanned Aerial Vehicle. *Economics. Information technologies*, 52(1): 227–238 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-227-238

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются в различных сферах, прежде всего, для решения задач наблюдения за контролируемыми объектами [Mahdi et al., 2021; Jameel et al., 2022]. Наибольшее распространение получили мультироторные БПЛА, в частности, квадрокоптеры и гексакоптеры, имеющие по 4 или 6 несущих винтов [Hamandi et al., 2021; Peksa, Mamchur, 2024]. Такие беспилотные летательные аппараты именуются мультикоптерами [Lee, Kim, Chu, 2021; Subramaniam, Salim, 2024]. На их базе могут функционировать беспроводные самоорганизующиеся сети, предназначенные для обеспечения связи в специфических условиях [Константинов, Польщиков, Лазарев, 2015; Польщиков, 2015; Константинов и др., 2016; Джамил, Лихошерстов, Польщиков, 2022]. В последние годы БПЛА применяются в сфере «умного животноводства», в том числе для выпаса скота [Кузьмина, Кузьмин, 2021; El-Fiqi, Kasmarik, Abbass, 2021; Yaxley et al., 2023]. Как показывает опыт и результаты многочисленных испытаний, выпасаемые животные реагируют на звук, издаваемый летящим мультикоптером, и перемещаются в нужном для пастуха направлении, например, в безопасные зоны, места кормления, доения и т. д. [Priyadharshini, Balamurugan, 2022]. При этом постоянное наблюдение за стадом обеспечивается за счет передачи фотографий и трансляции видеопотоков, снимаемых камерами БПЛА [Montalván et al., 2024], а также формирования с их помощью актуальных карт контролируемой местности [Башилов, Королев, 2023]. Реализация такого подхода требует, чтобы в процессе наблюдения за животными мультикоптеры находились в полете в течение длительного времени [Yaxley, Joiner, Abbass, 2021], что является существенным недостатком.

Другой подход к автоматизированному управлению выпасом стада животных, по нашему мнению, является более предпочтительным. Он заключается в том, что на каждой особи размещается трекер, представляющий собой приемо-передающее устройство беспроводной связи. Это устройство способно определять свое текущее местоположение с помощью глобальной системы геопозиционирования (Global Positioning System, GPS), т. е. выполнять функции GPS-приемника. Для передачи данных о координатах местоположения трекеров разворачивается беспроводная сеть, функционирующая по принципу интернета вещей (Internet of Things, IoT) [Afrianto, Wahjuni, Djatna, 2020; Балакшин, Польщиков, 2024]. Трекеры в качестве сетевых устройств отправляют эти данные в виде сообщений на сетевой шлюз. Затем эта информация поступает на сетевой сервер и выводится на интерактивный экран панели управления оператора-пастуха, который в случае необходимости принимает решение об отправке мультикоптера в конкретное место для обеспечения безопасности выпасаемого животного. Наиболее универсальным решением для реализации данного подхода является использование IoT-трекеров и шлюзов, которые функционируют в соответствии с протоколом LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) [Yaser, Polshchykov, Polshchikov, 2023; Alipio, Chaguile, Bures, 2024], что дает возможность обеспечить работу беспроводной сети в местах, где отсутствует GSM-связь [Ясир, Польщиков, Федоров, 2023; Alipio, Bures, 2024].

Решаемая научная задача

В настоящее время разработчиками предлагаются в основном 8-канальные и 16-канальные LoRa-шлюзы, имеющие ограниченную производительность. В условиях подключения в сеть нескольких сотен трекеров, интенсивно передающих сообщения, нагрузка радиоканалов шлюзов может достигать существенных значений, при которых появляются неприемлемо высокие задержки доставки данных. Это, в свою очередь, может привести к несвоевременному реагированию оператора на возникающие на пастбище ситуации. Чтобы исключить подобные негативные явления, требуется рационально управлять периодом отправки сообщений из трекеров на сетевой шлюз. С одной стороны, необходимо стремиться к минимизации указанного периода, чтобы обеспечить оперативность управления выпасом животных. С другой стороны, чрезмерное уменьшение этой величины является недопустимым, т. к. приводит к сетевой перегрузке и к росту задержек доставки данных, отправляемых трекерами.

Данная работа посвящена решению научно-технической задачи, состоящей в разработке математической модели доставки сообщений при управлении выпасом стада на основе применения IoT-сети и БПЛА, позволяющей обосновать значения периода отправки данных о текущем местоположении контролируемых животных. Проведен анализ литературы по теме исследования, который показал, что получены результаты по поддержке безопасного расстояния между мультикоптером и выпасаемыми животными [Yaxley, Joiner, Abbass, 2021]; обоснован ряд параметров беспилотной системы, предназначенной для мониторинга выпасаемых животных, в частности, вычислены рекомендуемые значения мощности ретрансляционной аппаратуры на борту летательного аппарата, высоты, скорости, длительности его полета, а также дальности связи с транспондером животного [Шигимага, Файзуллин, Осокина, 2023]; разработан алгоритм управления БПЛА для отслеживания движущейся границы следа животных, который позволяет дронам избегать столкновений [Li et al., 2022]. В то же время вопросам выбора периода отправки трекерами сообщений с данными о местоположении контролируемых животных в научных публикациях уделено недостаточно внимания. В этой связи задача, решаемая в настоящей статье, представляется актуальной.

Разработка модели

Допустим, пастбище имеет форму круга радиуса R . Фрагмент пастбища представлен на рис. 1. В зависимости от удаленности до границы пастбища различаются четыре класса местоположения животного. Местоположение 0 класса имеют животные, находящиеся на безопасной части пастбища. Менее безопасным является местоположение 1 класса. Животные, относящиеся к этому классу местоположения, требуют особого наблюдения. При попадании животного в область пастбища, соответствующую 1 классу местоположения, оператору необходимо приготовиться к тому, что, возможно, через некоторое время потребуются использование мультикоптера для того, чтобы направить эту особь в безопасную часть пастбища. Более опасным является местоположение 2 класса. Если животное оказывается в области местоположения этого класса, то требуется немедленная отправка мультикоптера для того, чтобы направить особь в безопасный участок пастбища. Остальная территория перед границей пастбища и за ней относится к местоположению 3 класса. Она представляет собой самую опасную область. Если обнаружено, что животное переместилось в эту область, также требуется немедленное использование мультикоптера, но эта мера уже не будет гарантировать обеспечение безопасности особи. В связи с вышеуказанным, необходимо стремиться к тому, чтобы не пропустить попадание животного в область местоположения 2 класса, чтобы своевременно отправить мультикоптер для обеспечения его безопасности.

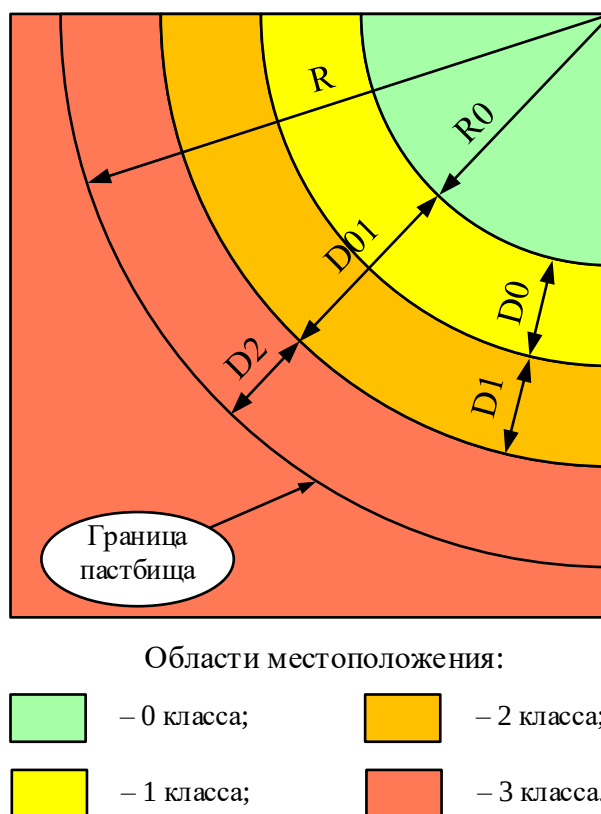


Рис. 1. Фрагмент пастбища
Fig. 1. Fragment of the pasture

Известны следующие величины: N – число выпасаемых животных; AR – площадь, необходимая для выпаса одного животного; VCM – максимальная скорость длительного перемещения животного по пастбищу; VU – средняя скорость полета мультикоптера. Кроме того, известно, что к категории особого наблюдения может быть отнесено не более $N1$ выпасаемых животных. Животные, входящие в это число, могут иметь местоположение классов 1, 2 и 3. Остальные животные относятся к категории обычного наблюдения. Они имеют местоположение 0 класса и находятся на безопасной части пастбища, площадь которой должна в N раз превышать площадь AR . С учетом этого радиус безопасной части пастбища вычисляется по формуле:

$$R0 = \sqrt{\frac{N \cdot AR}{\pi}}. \quad (1)$$

Рассмотрим ситуацию, когда животное оказалось на границе местоположения 2 класса. В таком случае мультикоптер успеет своевременно долететь до условной точки пересечения этим животным границы пастбища, если расстояние от границы местоположения 2 класса до границы пастбища будет составлять не менее

$$D2 = \frac{2 \cdot R \cdot VCM}{VU}. \quad (2)$$

Вычислив $D2$, можно оценить расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 2 класса с помощью выражения:

$$D01 = R - R0 - D2. \quad (3)$$

Оказавшись на границе местоположения 0 класса и направляясь по кратчайшему пути к границе пастбища со скоростью VCM , животное преодолеет расстояние $D01$ в течение времени

$$T01 = \frac{D01}{VCM}. \quad (4)$$

Чтобы не пропустить перемещение животного из области местоположения 0 класса в область местоположения 2 класса и своевременно отправить мультикоптер для обеспечения безопасности выпасаемой особи, необходимо выполнение условия:

$$DEL0 < T01, \quad (5)$$

где $DEL0$ – интервал времени между моментами доставки на панель оператора данных, отправляемых трекером, который находится в области местоположения 0 класса.

Величину $DEL0$ можно оценить с помощью выражения:

$$DEL0 = PR0 + WQ, \quad (6)$$

где $PR0$ – период отправки сообщений трекерами, находящимися в области местоположения 0 класса; WQ – время ожидания передачи сообщения из трекера на сетевой шлюз, обусловленное временным отсутствием свободных каналов.

Значение величины WQ можно оценить по формуле для вычисления длительности нахождения запроса в очереди многоканальной системы массового обслуживания:

$$WQ = \frac{\frac{(\lambda \cdot \tau)^n}{n!} \cdot \sum_{u=n}^{n+m} \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{n} \right)^{u-n}}{\left(\frac{(\lambda \cdot \tau)^n}{n!} \cdot \sum_{u=1}^m \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{n} \right)^u + \sum_{x=0}^n \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{x!} \right)^x \right) \cdot \left(\frac{n}{\tau} - \lambda \right)}, \quad (7)$$

где λ – суммарная интенсивность передачи сообщений трекерами на сетевой шлюз; τ – среднее время приема одного сообщения; n – число каналов в сетевом шлюзе; m – максимальное число сообщений, которые могут находиться в ожидании отправки (освобождения каналов).

Суммарную интенсивность передачи сообщений трекерами на сетевой шлюз можно оценить с помощью выражения:

$$\lambda = \frac{N1}{PR1} + \frac{N - N1}{PR0}, \quad (8)$$

где $PR1$ – период отправки сообщений трекерами, находящимися в областях местоположения 1, 2 или 3 классов.

Кроме того, чтобы обеспечить особое наблюдение за животными, находящимися за пределами области местоположения 0 класса, необходимо выполнение условия:

$$DEL1 \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $DEL1$ – интервал времени между моментами доставки на панель оператора данных, отправляемых трекером, находящимся в области местоположения 1, 2 или 3 классов.

Оценить величину $DEL1$ можно с помощью выражения:

$$DEL1 = PR1 + WQ. \quad (10)$$

Далее необходимо обосновать значения периодов $PR0$ и $PR1$, при которых будут выполняться условия (5) и (9). Такое обоснование можно сделать, проведя вычислительные эксперименты с использованием представленных выше выражений.

Результаты вычислительных экспериментов

В табл. 1 содержатся исходные данные, при которых в ходе проведения вычислительных экспериментов получены следующие значения: $T01 = 41,9$ с и $D2 = 128,8$ м.

Для указанных исходных данных проведены вычислительные эксперименты, результаты которых показаны в виде диаграмм на рис. 2–7.

Таблица 1
Table 1

Исходные данные
Initial data

№ п/п	Величины	Значения	Единицы измерения
1	N	1000	-
2	$N1$	20	-
3	AR	100	m^2
4	R	412	m
5	VCM	2,5	m/c
6	VU	16	m/c
7	n	16	-
8	m	1000	-
9	τ	0,6	c

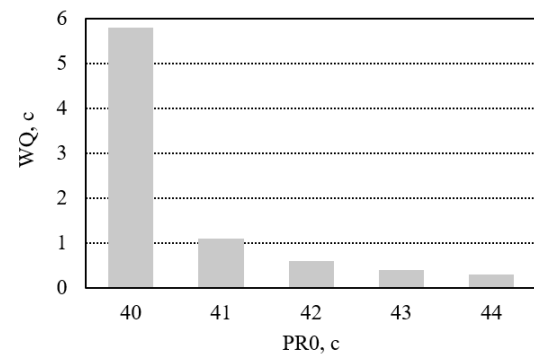
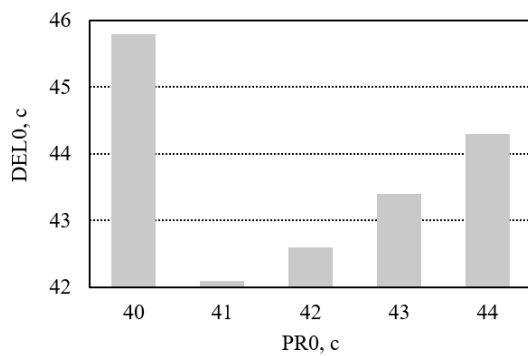


Рис. 2. Диаграммы зависимости величины $DEL0$ (а) и величины WQ (б) от значений $PR0$ при $PR1 = 10$ с

Fig. 2. Diagrams of the dependence of the value $DEL0$ (a) and the value WQ (b) on the values $PR0$ at $PR1 = 10$ s

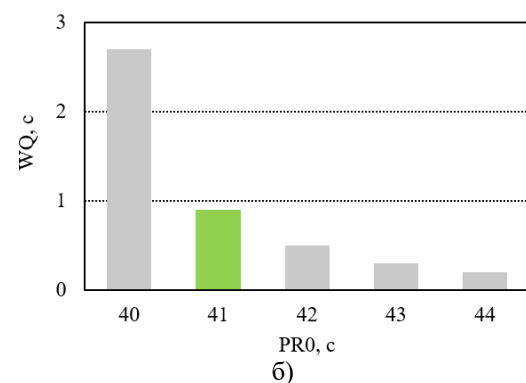
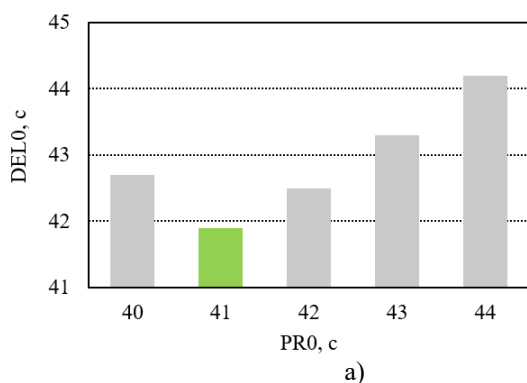


Рис. 3. Диаграммы зависимости величины $DEL0$ (а) и величины WQ (б) от значений $PR0$ при $PR1 = 11$ с

Fig. 3. Diagrams of the dependence of the value $DEL0$ (a) and the value WQ (b) on the values $PR0$ at $PR1 = 11$ s

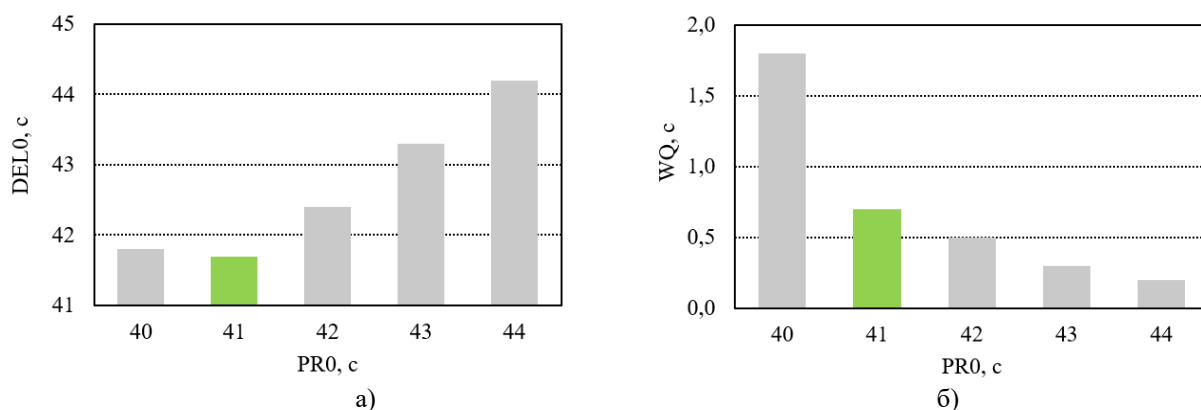


Рис. 4. Диаграммы зависимости величины $DEL0$ (а) и величины WQ (б) от значений $PR0$ при $PR1 = 12$ с

Fig. 4. Diagrams of the dependence of the value $DEL0$ (a) and the value WQ (b) on the values $PR0$ at $PR1 = 12$ s

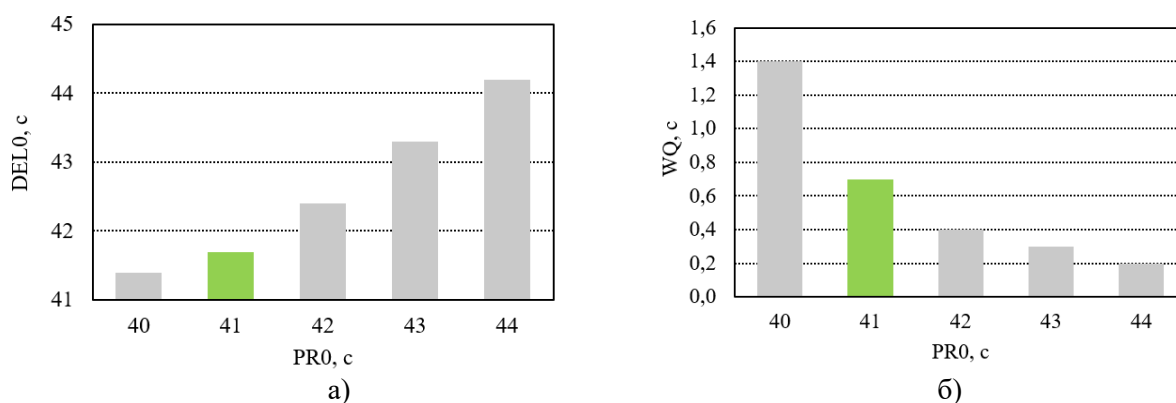


Рис. 5. Диаграммы зависимости величины $DEL0$ (а) и величины WQ (б) от значений $PR0$ при $PR1 = 13$ с

Fig. 5. Diagrams of the dependence of the value $DEL0$ (a) and the value WQ (b) on the values $PR0$ at $PR1 = 13$ s

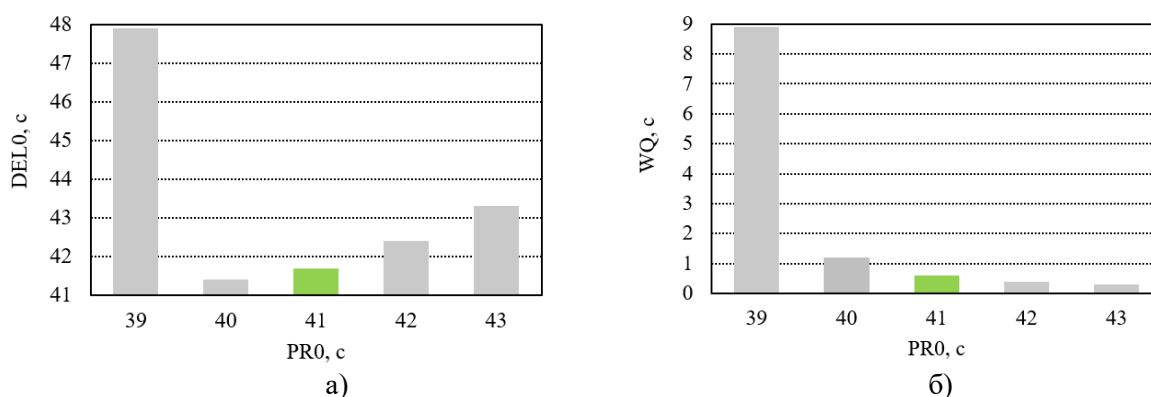


Рис. 6. Диаграммы зависимости величины $DEL0$ (а) и величины WQ (б) от значений $PR0$ при $PR1 = 14$ с

Fig. 6. Diagrams of the dependence of the value $DEL0$ (a) and the value WQ (b) on the values $PR0$ at $PR1 = 14$ s

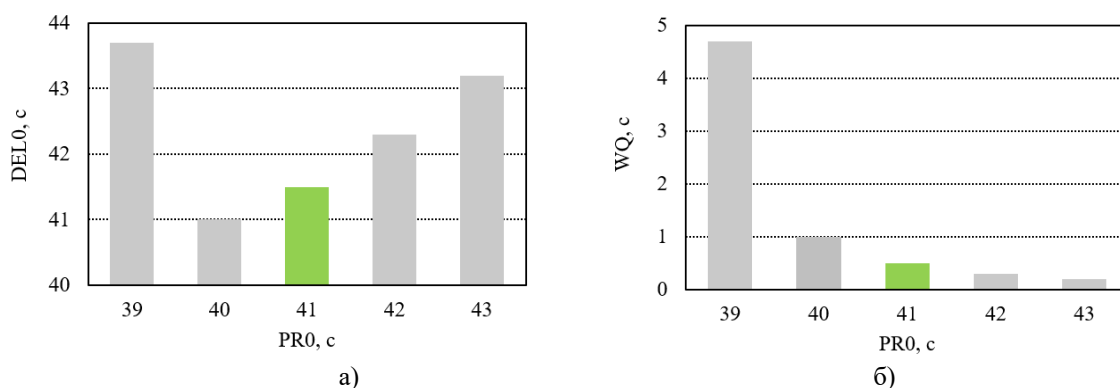


Рис. 7. Диаграммы зависимости величины $DEL0$ (а) и величины WQ (б) от значений $PR0$ при $PR1 = 15$ с

Fig. 7. Diagrams of the dependence of the value $DEL0$ (a) and the value WQ (b) on the values $PR0$ at $PR1 = 15$ s

Анализ данных диаграмм показывает, что условие (5) выполняется при $PR0 = 41$ с и $PR1 > 10$ с. Для обоснования выбираемого значения $PR1$ построена диаграмма, показанная на рис. 8. Из этой диаграммы видно, что условие (9) выполняется при $PR1 = 11$ с.

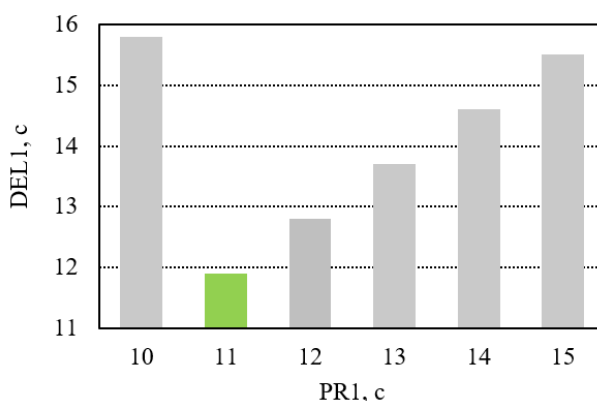


Рис. 8. Диаграммы зависимости величины $DEL1$ от значений $PR1$ при $PR0 = 41$ с

Fig. 8. Diagrams of the dependence of the value $DEL1$ on the values $PR1$ at $PR0 = 41$ s

Допустим, животное оказалось на границе местоположения 1 класса. Тогда, чтобы не пропустить перемещение животного в область местоположения 2 класса и своевременно отправить мультикоптер для обеспечения его безопасности, необходимо при интервале $DEL1$ между моментами доставки сообщений иметь расстояние от границы местоположения 1 класса до границы местоположения 2 класса не менее

$$D1 = VCM \cdot DEL1. \quad (11)$$

Наконец, расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 1 класса можно оценить как разность

$$D0 = D01 - D1. \quad (12)$$

При обоснованных выше значениях $PR0 = 41$ с и $PR1 = 11$ с, используя выражения (6), (10)–(12), получим: $DEL0 = 41,9$ с; $DEL1 = 11,9$ с; $D1 = 29,7$ м; $D0 = 75,1$ м.

Таким образом, использование представленных выше выражений дает возможность для различных классов местоположения контролируемых животных обосновать значения периода отправки сообщений трекерами на панель управления оператора.

Заключение

В статье для управления выпасом животных предложено выполнение следующих процедур:

- 1) с помощью размещенных на животных GPS-трекеров определяется текущее местоположение каждой выпасаемой особи;
- 2) с использованием сети интернета вещей геопозиционные данные передаются на панель управления оператора-пастуха;
- 3) в случаях обнаружения опасного местоположения животных оператором-пастухом используется мультикоптер, с помощью которого выпасаемые особи направляются в безопасную часть пастбища.

Разработана модель доставки сообщений в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотного летательного аппарата (мультикоптера). Научная новизна модели состоит в учете влияния параметров пастбища, контролируемого стада, мультикоптера и применяемых беспроводных устройств на значения временных интервалов между моментами доставки данных, отправляемых размещенными на животных трекерами на панель оператора. Предложенная модель базируется на оригинальной классификации местоположения контролируемых объектов. В зависимости от удаленности до границы пастбища различаются четыре класса местоположения животных. Применение разработанной модели позволяет обосновать такие значения периода отправки сообщений трекерами, при которых обеспечивается своевременное использование мультикоптера для управления местоположением животных.

Дальнейшие исследования в рамках представленной тематики планируется посвятить разработке алгоритма выбора значений периода отправки геопозиционных сообщений, функционирующего на основе предложенной модели.

Список литературы

- Балакшин М.С., Польщиков К.А. 2024. Оценивание характеристик доставки данных в системе промышленного Интернета вещей. *Современные наукоемкие технологии*, 8: 35–40. DOI 10.17513/snt.40109.
- Башилов А.М., Королев В.А. 2023. Аэромобильные устройства в технологиях пастбищного животноводства. *Вестник аграрной науки Дона*, 16(1): 54–65. DOI: 10.55618/20756704_2023_16_1_54-65.
- Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А. 2022. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети. *Экономика. Информатика*, 49(2): 403–415. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Константинов И.С., Пилипенко О.В., Польщиков К.А., Иващук О.Д. 2016. К вопросу обеспечения связи в процессе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах строительства. *Строительство и реконструкция*, 1(63): 40–46.
- Константинов И.С., Польщиков К.А., Лазарев С.А. 2015. Имитационная модель передачи информационных потоков в мобильной радиосети специального назначения. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*, 13 (210): 156–163.
- Кузьмина Т.Н., Кузьмин В.Н. 2021. Технические разработки для механизации овцеводства. *Техника и технологии в животноводстве*, 2(42): 53–58. DOI 10.51794/27132064-2021-2-53.
- Польщиков К.А. 2015. Оценка вероятностно-временных характеристик доставки данных в беспроводной самоорганизующейся сети. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*, 7(204): 183–187.
- Шигимага В.А., Файзуллин Р.А., Осокина А.С. 2023. Обоснование параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга животных на пастбище. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 24(1): 132–140. DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140.
- Ясир М.Д.Я., Польщиков 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.

- Afrianto I., Wahjuni S., Djatna T. 2020. Model of Ubiquitous Precision Livestock System 4.0: A Technological Review. *Proceedings of the 2nd Faculty of Industrial Technology International Congress International Conference*. Bandung: 156–162.
- Alipio M., Chaguile C.C., Bures M. 2024. A review of LoRaWAN performance optimization through cross-layer-based approach for Internet of Things. *Internet of Things*, 28: 101378. DOI: 10.1016/j.iot.2024.101378.
- Alipio M., Bures M. 2024. Current testing and performance evaluation methodologies of LoRa and LoRaWAN in IoT applications: Classification, issues, and future directives. *Internet of Things*, 25: 101053. DOI: 10.1016/j.iot.2023.101053.
- El-Fiqi H., Kasmarik K., Abbass H.A. 2021. Logical Shepherd Assisting Air Traffic Controllers for Swarm UAV Traffic Control Systems. *Unmanned System Technologies*. DOI: 10.1007/978-3-030-60898-9_1.
- Hamandi M., Usai F., Sablé Q., Staub N., Tognon M., Franchi A. 2021. Design of multirotor aerial vehicles: A taxonomy based on input allocation. *The International Journal of Robotics Research*, 40(8-9): 1015–1044. DOI: 10.1177/02783649211025998.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Likhoshesterov R.V., Kiselev V.E. 2022. Development of a mathematical model of video monitoring based on a self-organizing network of unmanned aerial vehicles. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 10(6): 84–95.
- Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system/ *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4): 1138–1145. DOI 10.21533/pen.v10i1.2584.
- Montalván S., Arcos P., Sarzosa P., Rocha R.A., Yoo S.G., Kim Y. 2024. Technologies and Solutions for Cattle Tracking: A Review of the State of the Art. *Sensors*, 24(19): 6486. DOI 10.3390/s24196486.
- Lee C., Kim S., Chu B. 2021. A Survey: Flight Mechanism and Mechanical Structure of the UAV. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22: 719–743. DOI 10.1007/s12541-021-00489-y.
- Li X., Huang H., Savkin A.V., Zhang J. 2022. Robotic Herding of Farm Animals Using a Network of Barking Aerial Drones. *Drones*, 6(2): 29. DOI: 10.3390/drones6020029.
- Peksa J., Mamchur D. 2024. A Review on the State of the Art in Copter Drones and Flight Control Systems. *Sensors*, 24(11): 3349. DOI: 10.3390/s24113349.
- Priyadharshini S.P., Balamurugan P. 2022. Unmanned Aerial Vehicle in the Smart Farming Systems: Types, Applications. *IEEE Xplore*. DOI: 10.1109/ICSES55317.2022.9914070.
- Subramaniam K., Salim W.S.-I.W. 2024. A Review of Experimental Approaches for Investigating the Aerodynamic Performance of Drones and Multicopters. *Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer*, 14(1): 1–24. DOI 10.37934/arefmht.14.1.124.
- Yaxley K.J., Joiner K.F., Abbass H. 2021. Drone approach parameters leading to lower stress sheep flocking and movement: sky shepherding. *Scientific Reports*, 11: 7803. DOI 10.1038/s41598-021-87453-y.
- Yaxley K.J., Reid A., Kenworthy C., Hossny M., Baxter D.P., Allworth M.B., McGrath S.R., Joiner K.F., Abbass H. 2023. Building a Sky Shepherd for the future of agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 3: 100137.
- Yaser M.J., Polshchykov 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. DOI 10.21533/pen.v11i4.3779.

References

- Balakshin M.S., Polshchykov K.A. 2024. Assessing data delivery characteristics in industrial internet of things system. *Modern High Technologies*, 8: 35–40 (in Russian). DOI: 10.17513/snt.40109.
- Bashilov A.M., Korolev V.A. 2023. Airmobile devices in technologies for pasture animal farming. *Don agrarian science bulletin*, 16(1): 54–65 (in Russian). DOI: 10.55618/20756704_2023_16_1_54-65.
- Jameel K.J.Q., Likhoshesterov R.V., Polshchikov K.A. 2022. Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network. *Economics. Information technologies*, 49(2): 403–415 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Konstantinov I., Pilipenko O., Polshchykov K., Ivaschuk O. The issue of communication in the process of prevention and liquidation of emergency situations at construction sites. *Construction and re-construction*, 1(63): 40–46 (in Russian).

- Konstantinov I.S., Polshchikov K.A., Lazarev S.A. 2015. Simulation model of information flows transmission in mobile ad-hoc network for special purpose. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*, 13 (210): 156–163. (in Russian).
- Kuzmina T.N., Kuzmin V.N. 2021. Technical developments for sheep farming mechanization. *Machinery and technologies in livestock*, 2 (42): 53–58. (in Russian). DOI 10.51794/27132064-2021-2-53.
- Polshchikov K.A. 2015. Probability-time characteristics estimates of data delivery in the wireless ad hoc network. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*, 7 (204): 183–187. (in Russian).
- Shigimaga V.A., Fayzullin R.A., Osokina A.S. 2023. The substantiation of the parameters of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture. *Agricultural Science Euro-North-East*, 24 (1): 132–140. ((in Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140.
- Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I. 2023. Message Delivery Model in a LowPower Sensor Network. *Economics. Information technologies*, 50(2): 439–447 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447.
- Afianto I., Wahjuni S., Djatna T. 2020. Model of Ubiquitous Precision Livestock System 4.0: A Technological Review. Proceedings of the 2nd Faculty of Industrial Technology International Congress International Conference. Bandung: 156-162.
- Alipio M., Chaguile C.C., Bures M. 2024. A review of LoRaWAN performance optimization through cross-layer-based approach for Internet of Things. *Internet of Things*, 28: 101378. DOI: 10.1016/j.iot.2024.101378.
- Alipio M., Bures M. 2024. Current testing and performance evaluation methodologies of LoRa and LoRaWAN in IoT applications: Classification, issues, and future directives. *Internet of Things*, 25: 101053. DOI: 10.1016/j.iot.2023.101053.
- El-Fiqi H., Kasmarik K., Abbass H.A. 2021. Logical Shepherd Assisting Air Traffic Controllers for Swarm UAV Traffic Control Systems. *Unmanned System Technologies*. DOI: 10.1007/978-3-030-60898-9_1.
- Hamandi M., Usai F., Sablé Q., Staub N., Tognon M., Franchi A. 2021. Design of multirotor aerial vehicles: A taxonomy based on input allocation. *The International Journal of Robotics Research*, 40(8-9): 1015–1044. DOI: 10.1177/02783649211025998.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Likhoshesterov R.V., Kiselev V.E. 2022. Development of a mathematical model of video monitoring based on a self-organizing network of unmanned aerial vehicles. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 10(6): 84–95.
- Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Polshchikov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system/ *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4): 1138–1145. DOI 10.21533/pen.v10i1.2584.
- Montalván S., Arcos P., Sarzosa P., Rocha R.A., Yoo S.G., Kim Y. 2024. Technologies and Solutions for Cattle Tracking: A Review of the State of the Art. *Sensors*, 24(19): 6486. DOI 10.3390/s24196486.
- Lee C., Kim S., Chu B. 2021. A Survey: Flight Mechanism and Mechanical Structure of the UAV. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22: 719–743. DOI 10.1007/s12541-021-00489-y.
- Li X., Huang H., Savkin A.V., Zhang J. 2022. Robotic Herding of Farm Animals Using a Network of Barking Aerial Drones. *Drones*, 6(2): 29. DOI: 10.3390/drones6020029.
- Peksa J., Mamchur D. 2024. A Review on the State of the Art in Copter Drones and Flight Control Systems. *Sensors*, 24(11): 3349. DOI: 10.3390/s24113349.
- Priyadharshini S.P., Balamurugan P. 2022. Unmanned Aerial Vehicle in the Smart Farming Systems: Types, Applications. IEEE Xplore. DOI: 10.1109/ICSES55317.2022.9914070.
- Subramaniam K., Salim W.S.-I.W. 2024. A Review of Experimental Approaches for Investigating the Aerodynamic Performance of Drones and Multicopters. *Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer*, 14(1): 1–24. DOI 10.37934/arefmht.14.1.124.
- Yaxley K.J., Joiner K.F., Abbass H. 2021. Drone approach parameters leading to lower stress sheep flocking and movement: sky shepherding. *Scientific Reports*, 11: 7803. DOI 10.1038/s41598-021-87453-y.
- Yaxley K.J., Reid A., Kenworthy C., Hossny M., Baxter D.P., Allworth M.B., McGrath S.R., Joiner K.F., Abbass H. 2023. Building a Sky Shepherd for the future of agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 3: 100137.
- Yaser M.J., 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. DOI 10.21533/pen.v11i4.3779.



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 31.01.2025

Поступила после рецензирования 28.02.2025

Принята к публикации 04.03.2025

Received January 31, 2025

Revised February 28, 2025

Accepted March 04, 2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Карви Джалал Каис Джамил, магистр наук, преподаватель Университета Мустансирия, г. Багдад, Ирак

Польшиков Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Маматов Михаил Евгеньевич, аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Голдобин Денис Анатольевич, аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Karwi Jalal Qais Jameel, MSc, Assistant Lecturer of the Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq

Konstantin A. Polshchykov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Mikhail E. Mamatov, Postgraduate Student, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Denis A. Goldobin, Postgraduate Student, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia