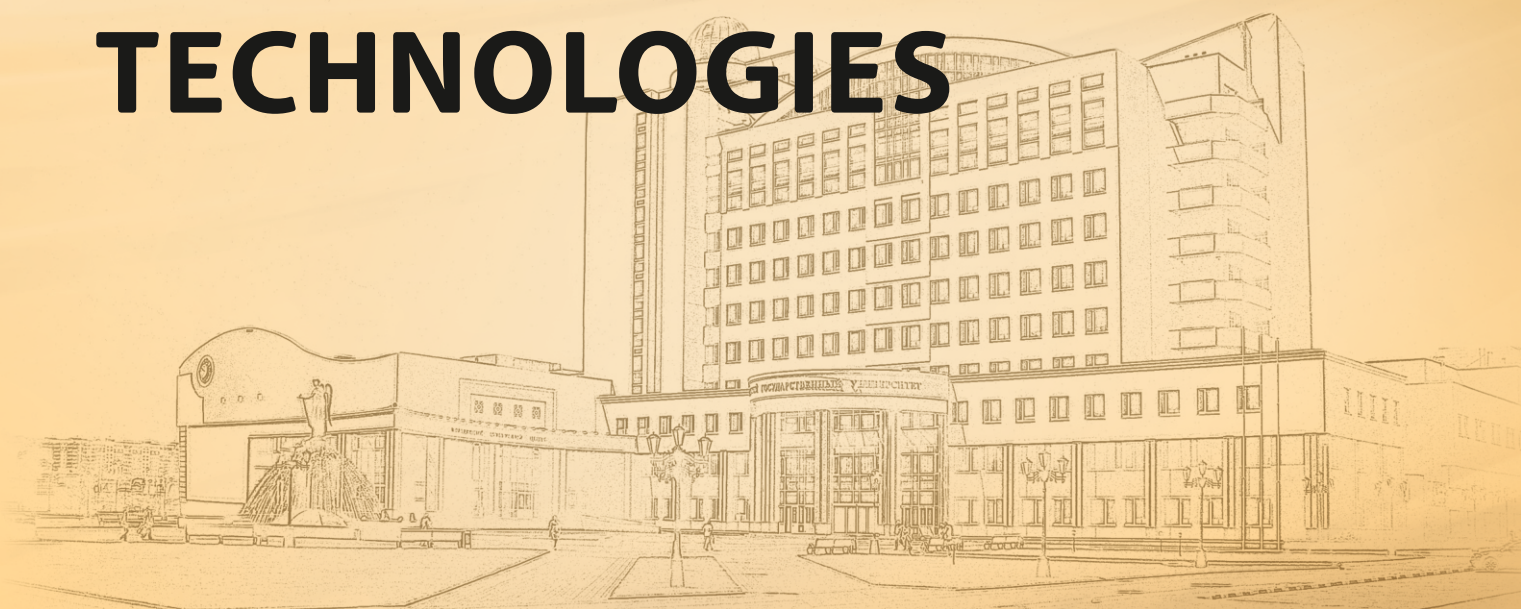


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

# ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2023. Том 50, № 4



# ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

## 2023. Том 50, № 4

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

Основан в 1995 г.

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

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

**Издатель:** НИУ «БелГУ» Издательский дом «БелГУ».

Адрес редакции, издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

#### Главный редактор

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

#### Ответственные секретари

*Ю.В. Лыжицкова*, 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. Ивацук*, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных и робототехнических систем (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

*А.В. Косыкин*, 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 (Карагадинский 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. Ивахненко. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Т.В. Мезеря. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 24.8. Дата выхода 30.12.2023. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 735 **Глотов Д.С.**  
Оценка эффективности межрегионального взаимодействия в системе обеспечения конкурентоспособности региона
- 743 **Дрягина Л.А.**  
Развитие региональной политики импортозамещения в Центральном федеральном округе в условиях новых санкционных ограничений
- 756 **Куприянов С.В., Сычева И.И., Климов А.В., Герасимова Н.А.**  
Особенности формирования политики развития приграничных регионов в контексте обеспечения их финансовой безопасности
- 768 **Михайличенко М.Ю.**  
Трансформация парадигмы сбалансированного пространственного развития региона: отечественный и зарубежный опыт

### ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 781 **Казаков О.Д., Азаренко Н.Ю., Лысенко А.Н.**  
Цифровой реинжиниринг моделей бизнес-процессов на основе их метрик качества
- 792 **Леонтьев Н.Я., Самаров Д.А., Абрамов А.А., Лукашевич А.О.**  
Применение матричного метода DSM для планирования взаимодействия с заинтересованными сторонами организации

### ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 806 **Авилова В.В.**  
О значимости стратегии устойчивого развития промышленного комплекса России в турбулентной экономической среде
- 813 **Горошко Н.В., Пацала С.В.**  
Потенциал Новосибирской области в развитии темного туризма

### ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 825 **Дорофеев М.Л.**  
Исследование доходного неравенства в Российской Федерации на основе межстранового сравнительного анализа методом «конверт значений»
- 836 **Эльдиева Т.М., Черстов А.А.**  
Государственная региональная поддержка малого и среднего предпринимательства: кредитный аспект

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 848 **Гольцов Ю.А., Абдирасулов А.З., Яночкина О.О., Коломиец Е.А., Кижук А.С.**  
О возникновении резонансной динамики в импульсной системе управления энергообеспечением нагревательной установки для производства монокристаллов сапфира
- 859 **Жихарев А.Г., Киданов В.В., Корсунов Н.И.**  
Системно-объектное моделирование смарт-контрактов
- 873 **Мельников А.В., Сумин В.И., Кобяков Н.С.**  
Модель оценки эффективности организационных мер для обеспечения информационной безопасности АСН при появлении неизвестной вредоносной программы

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 883 **Кукушкин Л.С., Бурданова Е.В., Заливин А.Н.**  
Метод пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде
- 893 **Солдатов Е.С.**  
Алгоритмы обработки информации в задачах контроля и прогнозирования состояния криогенного оборудования
- 901 **Коськин А.В., Федоров В.И., Ясир М.Д.Я., Алгазали С.**  
Энергосберегающий метод управления формированием передаваемых сигналов в беспроводной сенсорной сети
- 913 **Родионов А.М., Иванов С.А.**  
Анализ современных моделей и информационных систем при прогнозировании и мониторинге лесных пожаров
- 924 **Петросов Д.А., Андриянов Н.А., Алюнов А.Н., Нежданов Е.В.**  
Представление данных о состоянии популяции и обучение искусственной нейронной сети в задаче управления работой генетическим алгоритмом

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 936 **Урсол Д.В., Болгова Е.В.**  
Оценка импульсной характеристики канала связи на основе ортогонального субполосного базиса
- 944 **Балабанова Т.Н., Абрамов К.В., Болдышев А.В., Долбин Д.М.**  
Автоматическое обнаружение гнева и агрессии в речевых сигналах
- 955 **Ширяев А.А., Махов Ф.С., Олейник И.И., Прохоренко Е.И.**  
Инновационные проблемно-ориентированные методы мониторинга и помехоустойчивой передачи полученной информации в беспроводных телекоммуникационных системах

# ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

## 2023. Volume 50, No. 4

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

Founded in 1995

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

**Founder:** Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod National Research University».

**Publisher:** Belgorod National Research University «BelSU» Publishing House.

Address of editorial office, 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. Stryakova*, 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. Volchkov*, Doctor of Technical Sciences, Professor (Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

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

Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor Y.V. Ivakhnenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by T.V. Mezerya. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 24.8. Date of publishing 30.12.2023. The layout was prepared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia



## CONTENTS

### REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

- 735 **Glotov D.S.**  
Assessment of the Effectiveness of Interregional Cooperation in the System of Ensuring the Competitiveness of the Region
- 743 **Dryagina L.A.**  
Development of Regional Import Substitution Policy in the Central Federal District in the Context of New Sanctions Restrictions
- 756 **Kupriyanov S.V., Sycheva I.I., Klimov A.V., Gerasimova N.A.**  
Features of the Formation of a Policy for the Development of Border Regions in the Context of Ensuring their Financial Security
- 768 **Mikhailichenko M.Yu.**  
Transformation of the Paradigm of Balanced Spatial Development of the Region: Domestic and Foreign Experience

### INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 781 **Kazakov O.D., Azarenko N.Yu., Lysenko A.N.**  
Digital Reengineering of Business Process Models Based on their Quality Metrics
- 792 **Leontiev N.Ya., Samarov D.A., Abramov A.A., Lukashevich A.O.**  
Application of the DSM Matrix Method for Planning Interaction with Organizational Stakeholders

### SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 806 **Avilova V.V.**  
On the Importance of the Strategy of Sustainable Development of the Industrial Complex of Russia in a Turbulent Economic Environment
- 813 **Goroshko N.V., Patsala S.V.**  
Potential of the Novosibirsk Region in the Development of Dark Tourism

### FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

- 825 **Dorofeev M.L.**  
Study of Income Inequality in the Russian Federation on the Basis of Inter-country Comparative Analysis using the "Envelope of Values" Method
- 836 **Eldieva T.M., Chervov A.A.**  
State Regional Support of Small and Medium-sized Businesses: Credit Aspect

### COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 848 **Gol'tsov Yu.A., Abdirasulov A.Z., Yanochkina O.O., Kolomiets E.A., Kizhuk A.S.**  
On the Appearance of Resonant Dynamics in the Pulse Control System for the Energy Supply of a Heating Plant for Growing Sapphire Crystals
- 859 **Zhikharev A.G., Kidanov V.V., Korsunov N.I.**  
System-Object Modeling of Smart Contracts
- 873 **Melnikov A.V., Sumin V.I., Kobayakov N.S.**  
Model for Assessing the Effectiveness of Organizational Measures to Ensure Information Security of ASSN When an Unknown Malware Appears

### SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 883 **Kukushkin L.S., Burdanova E.V., Zalivin A.N.**  
Method for Passive Monitoring Small-Sized Objects Moving in Water
- 893 **Soldatov E.S.**  
Information Processing Algorithms in Tasks of Monitoring and Predicting the State of Cryogenic Equipment
- 901 **Koskin A.V., Fedorov V.I., Yaser M.J.Y., Alghazali S.**  
Energy-Saving Method for Controlling the Formation of Transmitted Signals in a Wireless Sensor Network
- 913 **Rodionov A.M., Ivanov S.A.**  
Analysis of Modern Models and Information Systems in Forecasting and Monitoring Forest Fires
- 924 **Petrosov D.A., Andriyanov N.A., Alyunov A.N., Nezhdanov E.V.**  
Presentation of Data on the State of the Population and Training of an Artificial Neural Network in the Problem of Controlling the Operation of a Genetic Algorithm

### INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 936 **Ursol D.V., Bolgova E.V.**  
Estimation the Impulse Response of a Wireless Channel Using an Orthogonal Subband Basis
- 944 **Balabanova T.N., Abramov K.V., Boldyshev A.V., Dolbin D.M.**  
Automatic Detection of Anger and Aggression in Speech Signals
- 955 **Shiryaev A.A., Makhov F.S., Oleinik I.I., Prokhorenko E.I.**  
Innovative Problem-Oriented Methods of Monitoring and Noise-Resistant Transmission of Received Information in Wireless Telecommunication Systems

# РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.14

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-735-742

## Оценка эффективности межрегионального взаимодействия в системе обеспечения конкурентоспособности региона

Глотов Д.С.

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,  
Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д.95  
E-mail: 301709@mail.ru

**Аннотация.** Современные реалии позволяют рассматривать конкурентоспособность региона не только с точки зрения соперничества, но и с точки зрения межрегионального сотрудничества. Способность региона налаживать отношения с другими регионами внутри страны и на международном уровне выступает его уникальной компетенцией и фактором повышения конкурентоспособности. Сотрудничество позволяет на основе кооперации и обмена использовать конкурентные преимущества других регионов, их достижения, модели развития. Обзор научной литературы позволил отметить, что внимание определению эффективности межрегионального сотрудничества или условий ее достижения почти не уделялось. В статье предложена авторская система показателей эффективности межрегионального взаимодействия, а также алгоритм комплексной оценки конкурентоспособности, который позволит очертить направления развития регионов.

**Ключевые слова:** регион, межрегиональное сотрудничество, оценка эффективности, конкурентоспособность региона, экономический рост, система показателей

**Для цитирования:** Глотов Д.С. 2023. Оценка эффективности межрегионального взаимодействия в системе обеспечения конкурентоспособности региона. Экономика. Информатика, 50(4): 735-742. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-735-742

## Assessment of the Effectiveness of Interregional Cooperation in the System of Ensuring the Competitiveness of the Region

Denis S. Glotov

Oryol State University named after I.S. Turgenev  
95 Komsomolskaya St, Orel, 302026, Russian Federation  
E-mail: 301709@mail.ru

**Abstract:** Modern realities allow us to consider the competitiveness of the region not only from the point of view of competition, but also from the point of view of interregional cooperation. The region's ability to establish relations with other regions within the country and internationally is its unique competence and a factor in increasing competitiveness. Cooperation allows using the competitive advantages of other regions, their achievements, and development models on the basis of cooperation and exchange. A review of the scientific literature made it possible to note that almost no attention was paid to determining the effectiveness of interregional cooperation or the conditions for achieving it. The article proposes the author's system of indicators of the effectiveness of interregional cooperation, as well as an algorithm for a comprehensive assessment of competitiveness, which will outline the directions of regional development.

**Keywords:** region, interregional cooperation, efficiency assessment, competitiveness of the region, economic growth, system of indicators

**For citation:** Glotov D.S. 2023. Assessment of the Effectiveness of Interregional Cooperation in the System of Ensuring the Competitiveness of the Region. Economics. Information technologies, 50(4): 735-742 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-735-742

## Введение

Характер движущих процессов в современной общественной жизни переносит центр тяжести рыночных преобразований на региональный уровень. В современных условиях функционирования экономики, которые сопровождаются углублением трансформационных и рыночных реформ, актуализируются вопросы обеспечения межрегионального сотрудничества как предпосылки гарантии национальной безопасности и устойчивого экономического роста регионов и страны в целом. Межрегиональное сотрудничество сможет обеспечить эффективное использование потенциала территорий (природно-ресурсного, научно-технического, трудового, производственного и др. преимуществ специализации территорий) и в итоге будет способствовать их социально-экономическому росту и повышению конкурентоспособности региона [Григорян, Рязанов, 2018; Дубровская, 2018].

Межрегиональное сотрудничество чрезвычайно важно для обеспечения успешного развития экономики, что требует постоянных коммуникаций участников этого процесса, позволяет наметить приоритетные направления инвестиционных, инновационных и производственных процессов. Кроме того, такое сотрудничество позволяет средним и малым предприятиям приспосабливаться к постоянным изменениям рыночной конъюнктуры, частично не зависеть от негативных трансформаций мировой экономики, а для крупных национальных и транснациональных компаний аккумулировать значительные финансовые ресурсы. Специалисты оценивают вклад межрегиональных отношений в конечное потребление макрорегионов в 50% [Лукин, 2016].

В настоящий момент наблюдается императивный характер территориальных, природных, географических, трудовых и других факторов развития регионов, что указывает на значительную внутреннюю асимметрию их возникновения и последствий влияния на экономику территорий в целом. Поэтому существует необходимость в разработке такой концепции развития территорий, которая позволила бы их экономике обеспечить равновесие, максимально использовать свои природные, общественные и физические свойства и объединить воедино экономическую, социальную и экологическую составляющие. Стимулирование межрегионального сотрудничества является одной из приоритетных задач региональных органов власти [Никитюк, 2023].

Это актуализирует создание соответствующего инструментария воздействия не столько на характер межрегионального сотрудничества и связанных с ним социально-экономических процессов, сколько на создание условий для устранения препятствий их развития.

Для выполнения этой задачи необходимо проведение исследования практики межрегионального сотрудничества в аспекте определения основных параметров воздействия на его развитие. Применение верной методики анализа и соответствующей системы показателей позволяет получить точную информацию о состоянии социально-экономических процессов, которые происходят в регионах. Сделанные на основе такой оценки выводы позволяют определить те территории, в которых сложились оптимальные условия для активизации межрегионального сотрудничества.

## Материалы и методы

Методологической основой настоящего исследования послужили работы отечественных и зарубежных авторов в области региональной экономики, пространственного

развития и межрегионального сотрудничества, были использованы как общенаучные, так и ориентированные на решение конкретных научных проблем методы: контент-анализ нормативных и плановых документов, систематизация, сопоставление и сравнение, логический анализ и синтез.

При наличии значительного количества методов анализа, которые могут быть использованы в процессе оценки межрегионального сотрудничества, существуют единичные исследования методики измерения возможного синергетического эффекта сотрудничества и элементы оценки результатов в комплексных исследованиях социально-экономического состояния.

Предложенные авторами качественные характеристики и количественные показатели обеспечивают системный подход к изучению процессов межрегионального экономического сотрудничества, что позволяет рассматривать их как инструменты, используемые для создания и эффективного принятия управленческих решений на региональном и национальном уровнях.

### Результаты исследования

Межрегиональное сотрудничество является современным и действенным инструментом экономического роста и прогрессивной составляющей региональных стратегий развития [Бакуменко, 2018; Рубцов, Литвиненко, 2019]. При наличии такой связи логично предположить применение утвержденного порядка проведения мониторинга и оценки реализации региональных стратегий развития для характеристики состояния межрегионального сотрудничества. Однако это нецелесообразно из-за громоздкости и других причин. Больше соответствует поставленной задаче использование комплексного анализа системы показателей, которые характеризуют состояние межрегиональных связей или являются отражением их результатов.

Его проведение должно позволять получать результаты реализации программ и проектов регионального развития, включая соответствующие направления специализации между субъектами разных территорий, информационной базой для принятия решений органами власти, предприятиями и физическими лицами или их объединениями. Однако важным моментом является формирование такой системы показателей, которая бы обеспечивала полную информативность и системность проведения анализа с одной стороны, а с другой не была бы слишком объемной, усложняя работу аналитиков [Козоногова, Дубровская, Носов, 2020]. Для выполнения поставленной задачи предлагается методика анализа, которая схематично представлена в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Качественные и количественные характеристики межрегионального взаимодействия  
Qualitative and quantitative characteristics of inter-regional cooperation

Сфера межрегионального экономического сотрудничества	Качественная характеристика	Количественный показатель
Органы государственного регионального управления	Взаимодействие региональных органов государственной власти	Количество соглашений и программ сотрудничества между региональными органами государственной власти
Производство	Взаимодействие производственных компаний реального сектора экономики регионов	Количество созданных интегрированных структур
Инновации	Взаимодействие региональных инновационных систем	Количество инновационных соглашений между органами власти и бизнес-структурами

Окончание табл. 1

End table 1

Инвестиции	Взаимодействие региональных органов власти и бизнес структур по созданию благоприятных условий инвестирования	Количество инвестиционных соглашений между органами власти и бизнес-структурами
Наука	Взаимодействие научных учреждений	Количество совместных проектов и программ
Образование	Взаимодействие образовательных учреждений	Количество совместных образовательных проектов и программ
Бизнес	Взаимодействие хозяйствующих субъектов на рынках товаров и услуг	Товарооборот между регионами

Количественные характеристики межрегионального сотрудничества представим в виде относительных показателей интенсивности развития (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Система показателей оценки эффективности межрегионального взаимодействия  
The system of indicators for evaluating the effectiveness of interregional cooperation

Показатель	Способ расчета
Коэффициент взаимодействия региональных органов власти	$\frac{\text{Количество соглашений и программ сотрудничества между региональными органами власти}}{\text{Число работников в органах власти взаимодействующих регионов}}$
Коэффициент производственного взаимодействия	$\frac{\text{Количество созданных интегрированных структур}}{\text{Число предприятий и организаций в изучаемых регионах}}$
Коэффициент инновационного взаимодействия	$\frac{\text{Количество инновационных соглашений}}{\text{Число инновационных предприятий в изучаемых регионах}}$
Коэффициент инвестиционного взаимодействия	$\frac{\text{Количество инвестиционных соглашений}}{\text{Инвестиции в основной капитал в изучаемых регионах}}$
Коэффициент эффективности научного взаимодействия	$\frac{\text{Число совместных научных проектов и программ}}{\text{Число организаций, выполняющих научные исследования и разработки во взаимодействующих регионах}}$
Коэффициент эффективности взаимодействия в сфере образования	$\frac{\text{Число совместных образовательных проектов и программ}}{\text{Число образовательных организаций взаимодействующих регионов}}$
Коэффициент межрегионального товарооборота	$\frac{\text{Объем товарооборота между взаимодействующими регионами}}{\text{Товарооборот организаций регионов}}$



Данные коэффициенты показывают эффект межрегионального сотрудничества. И чем выше значение каждого из перечисленных ниже показателей, тем больше уровень конкурентоспособности региона. Таким образом, общий прирост уровня конкурентоспособности будет определяться динамикой изучаемых показателей.

Количественные соотношения могут быть получены из официальных статистических данных, а также официальных веб-сайтов учреждений, агентств, региональных и межрегиональных структур, предоставляющих соответствующие услуги, или рассчитаны в соответствии с ними.

Однако значения показателей, представленных в числителе рассматриваемых выше коэффициентов, на данный момент отсутствуют в органах государственной статистики, что не дает возможности проведения количественной оценки эффективности межрегионального сотрудничества. Предлагаем возложить на территориальные органы государственной статистики полномочия по сбору, обработке и анализу статистических данных в сфере межрегионального сотрудничества в рамках, предусмотренных выше показателей.

С целью оценки эффективности межрегионального сотрудничества и разработки мероприятий по повышению региональной конкурентоспособности предложен методический подход интегральной оценки конкурентоспособности с учетом компоненты межрегионального взаимодействия. Алгоритм комплексной оценки конкурентоспособности с учетом межрегионального сотрудничества представлен на рисунке 1, который может быть определен в следующей последовательности:

- 1) выявление взаимосвязи между уровнем конкурентоспособности территории и показателями межрегионального взаимодействия методом множественного корреляционно-регрессионного анализа;
- 2) проверка адекватности построенной модели;
- 3) включение блока показателей межрегионального сотрудничества в интегральную оценку конкурентоспособности территории;
- 4) расчет частных и интегральных показателей конкурентоспособности;
- 5) интерпретация полученных результатов;
- 6) построение прогнозных оценок уровня конкурентоспособности с целью формирования стратегии межрегионального взаимодействия.

Ожидаемыми экономическими эффектами межрегионального взаимодействия могут стать:

- рост внутренней торговли за счет развития специализации;
- снижение уровня цен за счет эффекта масштаба;
- уменьшение монополизации и развитие конкурентного механизма;
- достижение оптимального распределения ресурсов через свободное движение факторов производства;
- развитие разделения труда на основе специализации;
- рост производительности труда;
- развитие стабильного регионального рынка;
- выравнивание уровней регионального развития;
- усиление международной конкурентоспособности регионов и страны в целом;
- положительный эффект от совместного использования инфраструктуры.

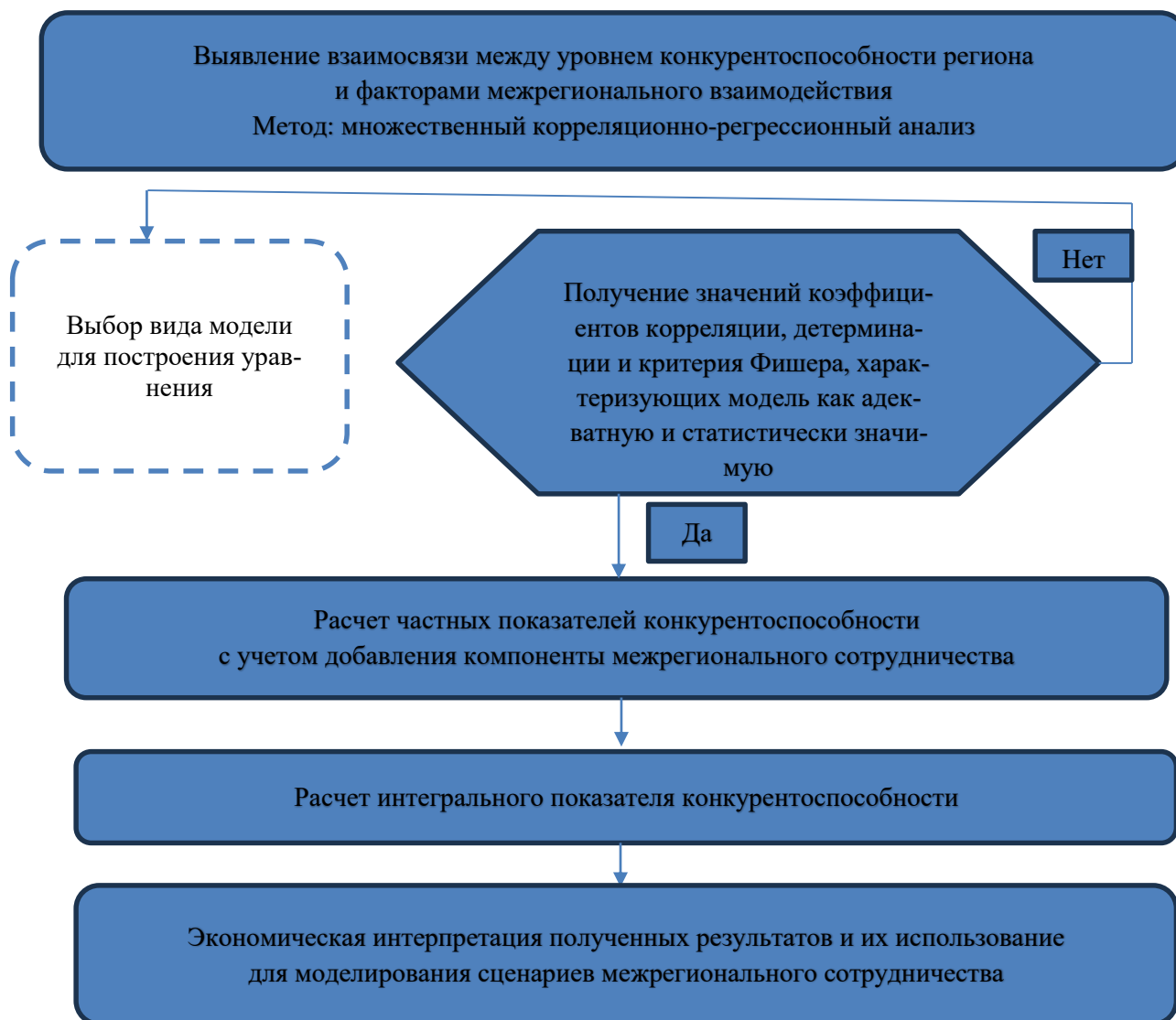


Рис. 1. Алгоритм оценки конкурентоспособности региона с учетом компоненты межрегионального взаимодействия  
Fig. 1. The algorithm for assessing the competitiveness of the region, taking into account the components of interregional interaction

Активизация межрегионального сотрудничества в долгосрочном периоде предусматривает формирование и реализацию стратегий и программ межрегионального сотрудничества. Для определения перспективных направлений и наиболее эффективных его форм необходимо использование информации о результатах развития такого сотрудничества на территории страны и ее соответствующая обработка и оценка. Применение с этой целью методов анализа специализированной системы показателей межрегионального сотрудничества должно упрощать формализацию его результатов и их интерпретацию в перспективное планирование.

### Заключение

Предложенный алгоритм оценки конкурентоспособности на основе межрегионального взаимодействия определяет перспективные направления при планировании дальнейшего развития регионов, мероприятий системного продвижения местных производителей на региональных потребительских рынках, географические ориентиры межрегионального инвестиционно-производственного сотрудничества, локализацию центров эко-

номического роста в пределах страны. Полученные оценки позволят очертить ориентиры внесения коррективов в региональные стратегии или планы действий местной власти совместно с заинтересованными субъектами хозяйствования и общественности.

### Список литературы

- Бакуменко О.А. 2018. Организационно-экономический механизм управления межрегиональным взаимодействием субъектов РФ (на примере Северо-Западного федерального округа). Региональная экономика, 3 (11): 117-131.
- Григорян К.А., Рязанов В.В. 2018. Межрегиональное взаимодействие в условиях перехода к шестому технологическому укладу. Вектор науки ТГУ. Экономика и управление, 1 (32): 19-24.
- Данилина М.П. 2017. Деятельность ассоциаций экономического взаимодействия субъектов Российской Федерации в рамках интеграции регионов. Вестник НГУЭУ, 2: 237–238.
- Дубровская Ю.В. 2018. Систематизация подходов к обоснованию роли межрегионального взаимодействия в развитии социально-экономических систем. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки, 4: 197–206.
- Козоногова Е.В., Дубровская Ю.В., Носов И.А., 2020. Систематизация подходов к количественной оценке межрегионального взаимодействия хозяйствующих субъектов. Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки, 1: 193-203.
- Лукин Е.В., Ускова Т.В. 2016. Межрегиональное экономическое сотрудничество: состояние, проблемы, перспективы: монография. Вологда: ИСЭРТ РАН, 148 с.
- Никитюк Н.Н. 2023. Межрегиональное взаимодействие как инструмент достижения стратегических целей социально-экономического развития региона. Вестник евразийской науки, 3: 32-46.
- Рахимова Ю.Ф. 2014. Основные направления межрегионального экономического взаимодействия в условиях трансформации экономики России на инновационные стратегии развития. Современные проблемы науки и образования, 6.
- Ростанец В., Топилин А. 2016. Институты координации межрегиональных экономических связей в Российской Федерации: десять лет развития. Экономист, 7: 32–37.
- Рубцов Г.Г., Литвиненко А.Н. 2019. Роль межрегионального сотрудничества в системе современной региональной экономики РФ. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки, 1: 97–110.
- Серебрякова С.В. 2009. Макрорегион: социологический анализ моделей взаимодействия субъектов РФ (на примере Приволжского федерального округа). Вестник Башкирского Университета, 1 (14): 256-260.
- Сибирская Е.В., Старцева О.А. 2007. Субъекты регулирования экономического взаимодействия регионов. Инвестрегион, 4: 9-11.
- Ускова Т.В., Лукин Е.В. 2013. Межрегиональное взаимодействие как фактор роста экономики: моногр. Ин-т соц.-экон. развития территорий РАН, 76 с.
- Ускова Т.В., Лукин Е.В. 2016. О перспективах развития региона на основе меж-регионального сотрудничества. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 3 (45): 60-81.
- Шеломенцев А.Г. Терентьева Т.В., Козлова О.А., Макарова М.Н. 2014. Межрегиональное сотрудничество как институт реализации стратегий развития регионов дальнего востока. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 11: 417-422.
- Cortright J. 2006. Making sense of clusters: regional competitiveness and economic development. The Brookings Institution Metropolitan Policy Program. – Impresa: 66.
- Woolford, J., Amanatidou, E., Gerussi, E. and Boden, J.M. 2021. Interregional Cooperation and Smart Specialisation: a Lagging Regions Perspective, EUR 30691 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg: 43.

### References

- Bakumenko O.A. 2018. Organizational and economic mechanism of management of interregional interaction of the subjects of the Russian Federation (on the example of the North-Western Federal District). Regional Economics, 3 (11): 117-131.

- Grigoryan K.A., Ryazanov V.V. 2018. Interregional cooperation in the conditions of transition to the sixth technological order. *Vector of Science TSU. Economics and Management*, 1 (32): 19-24.
- Danilina M.P. 2017. The activity of associations of economic cooperation of the subjects of the Russian Federation within the framework of regional integration. *Bulletin of the NGUEU*, 2: 237-238.
- Dubrovskaya Yu.V. 2018. Systematization of approaches to substantiating the role of interregional interaction in the development of socio-economic systems. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic Sciences*, 4: 197-206.
- Kozonogova E.V., Dubrovskaya Yu.V., Nosov I.A., 2020. Systematization of approaches to the quantitative assessment of interregional interaction of economic entities. *Bulletin of PNRPU. Socio-economic Sciences*, 1: 193-203.
- Lukin E.V., T.V. Uskova. 2016. *Interregional economic cooperation: state, problems, prospects: monograph. Vologda: ISERT RAS*, 148 p.
- Nikityuk N.N. 2023. Interregional cooperation as a tool for achieving strategic goals of socio-economic development of the region. *Bulletin of Eurasian Science*, 3: 32-46.
- Rakhimova Yu.F. 2014. The main directions of interregional economic cooperation in the context of the transformation of the Russian economy into innovative development strategies. *Modern problems of science and education*, 6.
- Rostanets V., Topilin A. 2016. Institutes for the Coordination of interregional Economic relations in the Russian Federation: ten years of development. *The Economist*, 7: 32-37.
- Rubtsov G.G., Litvinenko A.N. 2019. The role of interregional cooperation in the system of modern regional economy of the Russian Federation. *Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State University. Economic Sciences*, 1: 97-110.
- Serebryakova S.V. 2009. Macroregion: a sociological analysis of models of interaction between the subjects of the Russian Federation (on the example of the Volga Federal District). *Bulletin of Bashkir University*, 1 (14): 256-260.
- Sibirskaya E.V., O.A. Startseva. 2007. Subjects of regulation of economic interaction of regions. *Investregion*, 4: 9-11.
- Uskova T.V., Lukin E.V. 2013. *Interregional cooperation as a factor of economic growth: monogr. Institute of Social and Economic Development of the Territories of the Russian Academy of Sciences*, 76 p.
- Uskova T.V., Lukin E.V. 2016. On the prospects for the development of the region on the basis of inter-regional cooperation. *Economic and social changes: Facts, trends, forecast*, 3 (45): 60-81.
- Shelomentsev A.G. Terentyeva T.V., Kozlova O.A., Makarova M.N. 2014. Interregional cooperation as an institution for the implementation of strategies for the development of the regions of the Far East. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 11:417-422.
- Cortright J. 2006. *Making sense of clusters: regional competitiveness and economic development. The Brookings Institution Metropolitan Policy Program. Impresa*: 66.
- Woolford, J., Amanatidou, E., Gerussi, E. and Boden, J.M. 2021. *Interregional Cooperation and Smart Specialisation: a Lagging Regions Perspective*, EUR 30691 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg: 43.

**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 16.09.2023

Поступила после рецензирования 26.10.2023

Принята к публикации 27.10.2023

Received September 16, 2023

Revised October 26, 2023

Accepted October 27, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Глотов Денис Сергеевич**, аспирант кафедры экономики, финансов и бухгалтерского учета, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Denis S. Glotov**, Postgraduate Student of the Department of Economics, Finance and Accounting, Oryol State University named after I.S. Turgenev, Orel, 302026, Russia

УДК 332.146

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-743-755

## **Развитие региональной политики импортозамещения в Центральном федеральном округе в условиях новых санкционных ограничений**

**Дрягина Л.А.**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85  
E-mail: konshina\_l@bsu.edu.ru

**Аннотация.** На протяжении длительного времени ведущие предприятия регионов Центрального федерального округа ввиду географической расположенности и налаженной транспортной логистической инфраструктуры активно взаимодействовали с международными партнерами, что повлекло за собой негативную тенденцию зависимости отечественного производства от иностранного технологического оборудования и увеличения сырьевого экспорта. Риск возникновения экономического давления со стороны западных стран привел к внедрению государственной политики поддержки отечественного производства (импортозамещения). В свою очередь, неоднократное ужесточение санкций против России в 2022 году ускорило формирование данной политики в регионах РФ. В силу масштабирования процесса импортозамещения в отечественной экономике, существующих исследований, рассматривающих проблемы развития региональной политики импортозамещения, в настоящий момент времени недостаточно. Целью данного исследования является оценка развития региональной политики импортозамещения в Центральном федеральном округе (далее – ЦФО). Исследование проводилось на основе сравнительного анализа социально-экономического положения регионов ЦФО, их географической и продовольственной структуры импорта, метода классификации, статистических методов. Результаты исследования открывают новое теоретическое направление в исследовании проблем формирования региональной политики импортозамещения в современных экономико-политических реалиях. В частности, дана авторская трактовка понятию «региональная политика импортозамещения», выделены предпосылки развития элементов внешнеэкономической деятельности. На основе исследования динамики товарооборота Российской Федерации в период 2012-2022 гг., рассмотрения структуры импорта и ключевых стран-импортеров России в целом, а также в разрезе ЦФО, был выявлен перечень наиболее импортозависимых отраслей экономики. Также авторами были сформулированы проблемы дальнейшего развития региональной политики импортозамещения в ЦФО.

**Ключевые слова:** импорт, экспорт, торговый оборот, экономические санкции, импортозамещение, региональная экономика

**Для цитирования:** Дрягина Л.А. 2023. Развитие региональной политики импортозамещения в Центральном федеральном округе в условиях новых санкционных ограничений. Экономика. Информатика, 50(4): 743–755. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-743-755

---



## Development of Regional Import Substitution Policy in the Central Federal District in the Context of New Sanctions Restrictions

Lilia A. Dryagina

Belgorod State National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod, Belgorod region, 308015, Russia  
E-mail: konshina\_l@bsu.edu.ru

**Abstract.** For a long time, leading enterprises in the regions of the Central Federal District, due to their geographical location and well-established transport and logistics infrastructure, actively interacted with international partners, which resulted in a negative trend of dependence of domestic production on foreign technological equipment and an increase in raw material exports. The risk of economic pressure from Western countries led to the introduction of government policies to support domestic production (import substitution). In turn, the repeated tightening of sanctions against Russia in 2022 accelerated the formation of this policy in the regions of the Russian Federation. Due to the scaling of the import substitution process in the domestic economy, the existing studies examining the problems of developing a regional import substitution policy are currently insufficient. The purpose of this study is to assess the development of regional import substitution policy in the Central Federal District (hereinafter referred to as the CFD). The study was carried out on the basis of a comparative analysis of the socio-economic situation of the regions of the Central Federal District, their geographical and food import structure, classification method, statistical method. The results of the study open a new theoretical direction in the study of the problems of forming a regional import substitution policy in modern economic and political realities. In particular, the author's interpretation of the concept of "regional import substitution policy" is given and the prerequisites for the development of elements of foreign economic activity are highlighted. Based on a study of the dynamics of trade turnover of the Russian Federation in the period 2012–2022, consideration of the structure of imports and key importing countries of Russia in general, as well as in the context of the Central Federal District, a list of the most import-dependent sectors of the economy was identified. The authors also formulated the problems of further development of regional import substitution policy in the Central Federal District.

**Keywords:** import, export, trade turnover, economic sanctions, import substitution, regional economy

**For citation:** Dryagina L.A. 2023. Development of Regional Import Substitution Policy in the Central Federal District in the Context of New Sanctions Restrictions. Economics. Information technologies, 50(4): 743–755 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-743-755

---

### Введение

После перехода к рыночной экономической системе в России начались процессы расширения свобод предприятий в развитии внешнеэкономической деятельности. Сформировалась организационно-правовая база регулирования привлечения иностранных инвестиций и создания совместных предприятий с другими странами. Развитие внешней торговли осуществлялось в целях преодоления ограниченности национальных ресурсов, наращивания производственных мощностей, стимулирования внедрения и развития новых технологий, снижения безработицы, роста производительности труда и доходов населения. Однако есть и обратная сторона развития внешнеэкономических связей, такая как снижение государственного суверенитета и импортозависимость страны от положения на мировой арене.

Уязвимость национальной экономики от изменений конъюнктуры на мировом рынке ставит перед правительством ряд вопросов по принятию решительных шагов в сфере внешнеторговых отношений со странами-партнёрами России. Так, в связи с усложнившейся геополитической ситуацией в 2022 году, формирование государственной политики России в сфере импортозамещения приобретает особую значимость.

Политика импортозамещения – это стратегия, нацеленная на замену импортных товаров аналогами собственного производства. Её наличие необходимо в целях защиты

национальных интересов страны, формирования благоприятных условий функционирования конкурентоспособного производства, избегания валютных рисков [Круглов, 2023].

Целью реализации политики импортозамещения в общем смысле является увеличение конкурентоспособности отечественной продукции за счет модернизации производств, увеличения показателей их эффективности, а также создания качественно новых видов продукции с высокой добавленной стоимостью. Все это предполагает переход от простого производства к высокотехнологичным и наукоемким отраслям, развитие инновационных технологий. Для России это имеет особую актуальность, поскольку уровень некоторых ее производственных отраслей по отдельным категориям и технологиям значительно отстает от других стран [Коньшина, 2023].

В свою очередь, региональная политика импортозамещения, согласно авторской трактовке, представляет собой системный подход, направленный на уменьшение удельного веса импортных товаров и услуг, что позволяет активизировать интенсивное развитие технологий производства и человеческого капитала в регионе для повышения уровня его социально-экономического развития на основании достижения устойчивости, безопасности, технологичности, эффективности и конкурентоспособности экономики.

Главное место в развитии экономики страны занимает Центральный федеральный округ, поскольку является базовым макрорегионом. Связи регионов Российской Федерации, входящих в состав ЦФО, с остальными регионами страны обширны и многообразны, в том числе и в рамках реализации политики импортозамещения. При этом справедливым будет отметить, что за счет того, что субъекты ЦФО являются драйвером развития отечественной экономики, проблемы округа в той или иной степени затрагивают всю Россию [Коньшина, 2023].

Таким образом, существующие масштабы геополитических факторов, негативно влияющих на экономику большинства стран мира, ставят перед правительством России необходимость оперативных действий в отношении стремительной актуализации и реализации региональной политики импортозамещения, являющейся гарантом роста и обеспечения экономической безопасности.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования является региональная политика в ЦФО, рассматриваемая с позиции процесса импортозамещения.

Предмет исследования – экономико-управленческие отношения, возникающие в процессе развития региональной политики импортозамещения в Центральном федеральном округе.

Методологической основой работы является совокупность общенаучных и специальных методов познания, в частности, в процессе исследования использованы общенаучные и специальные методы: логический, научной абстракции, индукции и дедукции, теоретического обобщения, анализа и синтеза, структурно-функциональный, статистический и графический, системный подход.

Теоретической основой научного исследования являются концептуальные положения и системы взглядов, влияющие на процессы функционирования и развития региональной политики импортозамещения. Так, региональные особенности импортозамещения представлены в работах С.А. Алиева и Ю.В. Чернявской, Л.В. [Алиев, Чернявская, 2019], Сморгунова [Сморгунов, 2019], А.М. Рыбникова [Рыбников, 2020].

Информационно-эмпирическую основу исследования составляют законодательные и нормативные документы Президента и Правительства Российской Федерации, официальные данные Федеральной службы государственной статистики РФ.

### **Результаты и их обсуждение**

Первые санкции со стороны западных стран в отношении России были введены в марте 2014 года и затронули, главным образом, финансовый, нефтяной и оборонный сектора экономики. Это стало толчком к модернизации отечественных производств в сторону

замены импортных товаров отечественными аналогами. Россия вступила в борьбу за свой технологический суверенитет и разработала детальную программу по промышленному развитию, включая вопросы импортозамещения. В рамках данной программы, правительством России было принято решение о финансировании проектов импортозамещения в энергетике, машиностроении, сельском хозяйстве, жилищном строительстве, химическом производстве, обрабатывающей промышленности и ряде других отраслей.

Перечисленные выше отрасли финансировались на основании представленных проектов по импортозамещению, которые рассматривать в разрезе региональной специализации федеральных округов, среди которых доминирующим является Центральный федеральный округ, на который приходится более половины внешней торговли Российской Федерации.

В марте 2022 года Россия снова столкнулась с очередными мероприятиями, пытающимися сдержать ее развитие [Ваганова, 2022]. Беспрецедентные по объему западные санкции затронули энергетическую, транспортную отрасли, финансовый сектор, миграционную политику, поставку товаров, технологий, оборудования и т.д. Крупнейшие отечественные банки были отключены от системы межбанковских платежей SWIFT и платежных систем MasterCard и Visa, а активы самого Центрального банка РФ за рубежом были заморожены. Большинство иностранных компаний в различных отраслях ликвидировали свою деятельность на территории Российской Федерации, в том числе были расторгнуты инвестиционные договоренности с российскими предприятиями.

В настоящее время в России продолжается реализация программы импортозамещения – государственная программа «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», которая была запущена 15 апреля 2014 года и действует до 2024 года [Мищенко, 2023]. Помимо этого, в 2022 году Минпромторг запустил новый сервис «Биржа импортозамещения», с целью укрепления взаимодействия поставщиков и покупателей промышленной продукции и упрощения поиска аналога импортного товара.

Рассмотрение развития региональной политики импортозамещения в Центральном федеральном округе, являющееся целью данного научного исследования, базируется на рассмотрении показателей внешнеэкономической деятельности. Так, основными показателями внешнеторговой деятельности страны являются объемы экспорта и импорта за фиксированный период времени. Под экспортом мы подразумеваем вывоз отечественных товаров за территорию государства, а под импортом – ввоз зарубежных товаров, предназначенных для потребления в стране.

Общие предпосылки развития внешнеторговой деятельности страны представлены на рисунке 1.

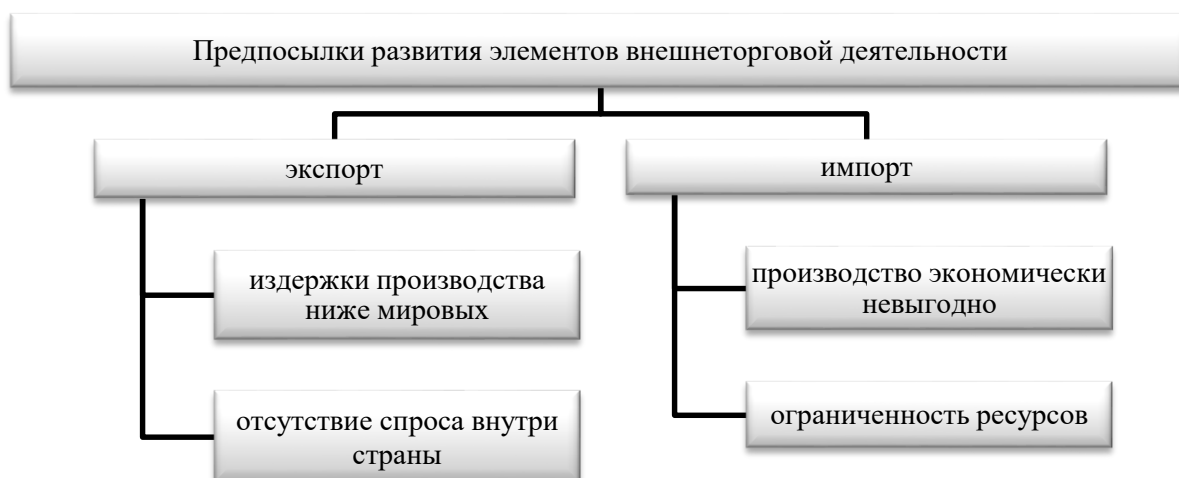


Рис. 1. Причины развития экспорта и импорта  
Fig. 1. Reasons for the development of exports and imports

Примечание. Составлено авторами

До февраля 2022 года Россия была одним из основных торговых партнёров Европейского Союза. Экспорт ЕС в 2021 году составил 99,0 млрд евро. Лидировали машины и оборудование (19,7 %), автомобили (9 %), фармацевтика (8,1 %), электрооборудование и машины (7,6 %), а также пластмассы (4,3 %). Импорт в Россию за период 2019-2020 составил 475,8 млрд долл. В основном импортировались «Машины, оборудование и аппаратура» (31 %), «Продукция химической промышленности» (13 %) [Алаухова, 2022]. Однако, несмотря на открытость и активное участие на внешнем рынке, высокого экономического роста России достичь не удалось. Так структура российского экспорта в основном была представлена отраслями нефти и газа, а импорта – промышленными товарами и продовольствием.

Ослабление международной торговли России началось ещё с первых санкций 2014 года. А после 2022 года динамика торгового оборота, по объективным причинам, резко изменилась в сторону снижения, что наглядно отражено на рисунке 2.

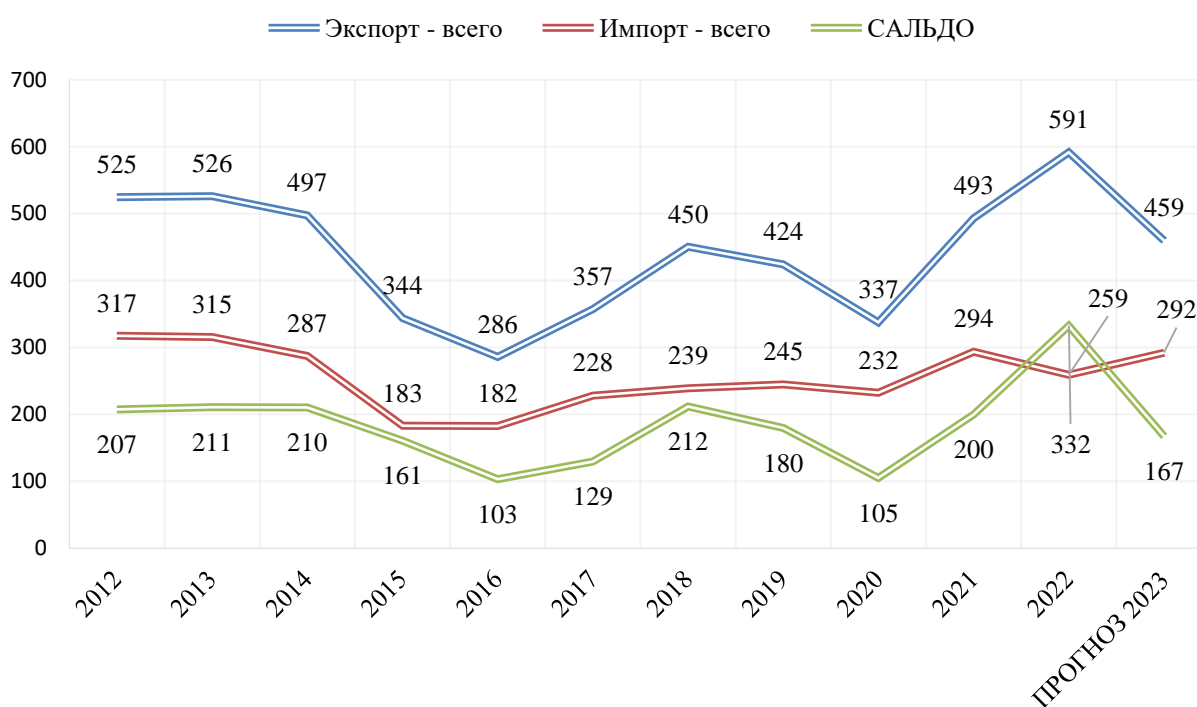


Рис. 2. Динамика товарооборота Российской Федерации за 10 лет (2012-прогноз 2023 гг.), млрд долл.

Fig. 2. Dynamics of trade turnover of the Russian Federation over 10 years (2012-2023 forecast), billion dollars

*Примечание.* Составлено авторами по данным [Внешняя торговля Российской Федерации в 2023 году, 2023], [Импорт в Центральный федеральный округ, 2021; Показатели, характеризующие импортозамещение в России, 2023; ФТС раскрыла объем внешней торговли России в 2023 году, 2023]

Исходя из данных рисунка 2, можно говорить об отрицательной динамике торгового оборота до 2016 года, причем, начиная с 2014 года, снижение составило порядка 40 %. Постепенная стабилизация ситуации к 2022 году была достигнута путем плодотворной работы по укреплению товарооборота с дружественными странами и созданию новых торговых отношений. Так, переориентация на Восток сыграла значительную роль для российской экономики в части компенсации потерь. Но тут есть некоторые сложности, так как не всегда китайские производители выпускают оборудование того уровня, который требуется нашим предприятиям.

Для поддержки развития отечественного производства применяются такие инструменты государственной поддержки, как субсидирование процентных ставок по кредитам, выдача грантов, налоговые льготы, поддержка со стороны инвестиционных фондов и др. В федеральном бюджете на 2023 год зарезервировано 5 млрд руб. на субсидирование ставки для проектов импортозамещения, а также госгарантии. До 2030 года от государства потребуются 123,6 млрд руб. на субсидирование ставки [Правительство сформировало пул проектов по импортозамещению на 5,2 трлн рублей, 2023; Экономика России, 2022].

Также стоит отметить, что нормативно-правовое регулирование импортозамещения заключается не только во внедрении финансовых мер поддержки, но и ограничении (запрете) на ввоз некоторых импортных товаров. В отраслях, где уровень импортозависимости варьируется от 30 % до 50 %, важно наладить меры государственной поддержки путем формирования региональной политики импортозамещения и регулярной адаптации ее механизмов под постоянно изменяющиеся факторы внешней и внутренней среды.

В таблице 1 представлен перечень импортируемой в Россию продукции, попавшей под санкции в 2022 г.

Таблица 1  
 Table 1

Импортируемая в Россию продукция, попавшая под санкции в 2022 году  
 Imported products to Russia subject to sanctions in 2022

№	Импортируемая продукция	США	Канада	ЕС (27 стран)	Швейцария	Великобритания	Япония	Австралия	Новая Зеландия
1	Машины, оборудование и аппаратура	+	+	+	+	+	+	+	+
2	Транспорт	+	+	+	+	+	+	–	+
3	Продукция химической промышленности	–	–	+	+	+	+	+	–
4	Пищевые продукты, напитки и табак	+	–	+	+	–	+	+	–
5	Растительные продукты	–	–	+	–	–	–	–	–
6	Металлы и изделия из них	+	–	+	+	–	–	+	–
7	Пластмассы, каучук и резина	+	–	+	+	+	–	–	–
8	Текстиль	+	–	+	+	–	+	+	–
9	Инструменты и аппараты, часы	+	+	+	+	–	+	+	–

*Примечание.* Составлено авторами

Согласно данным таблицы 1, доминирующую часть импорта в Российской Федерации занимает продукция химической промышленности, электрооборудование, авто- и компьютерная техника. При этом промышленность испытывает критическую необходимость в импортозамещении комплектующих и оборудования. Однако создать и развивать необходимые собственные товары высокого качества мешает ограниченность научно-технической базы. Помимо этого, остро встает затратный вопрос в связи с тем, что, зачастую, отечественные товары дороже по стоимости, чем импортные, и не всегда соответствуют необходимым стандартам качества.



Важно отметить, что в досанкционный период, ввиду географических масштабов, многие регионы России активно использовали закупку необходимых ресурсов в приграничных странах, нежели привозили из отдалённых регионов страны. Поскольку санкционные ограничения сделали этот процесс недоступным, целесообразным будет предпринять попытки по активному включению регионов в импортозамещение и налаживанию логистических связей внутри России.

В целях поиска новых торговых партнеров и рынков сбыта внутри страны необходимо рассмотреть географическую структуру импорта по федеральным округам Российской Федерации (рис.3).

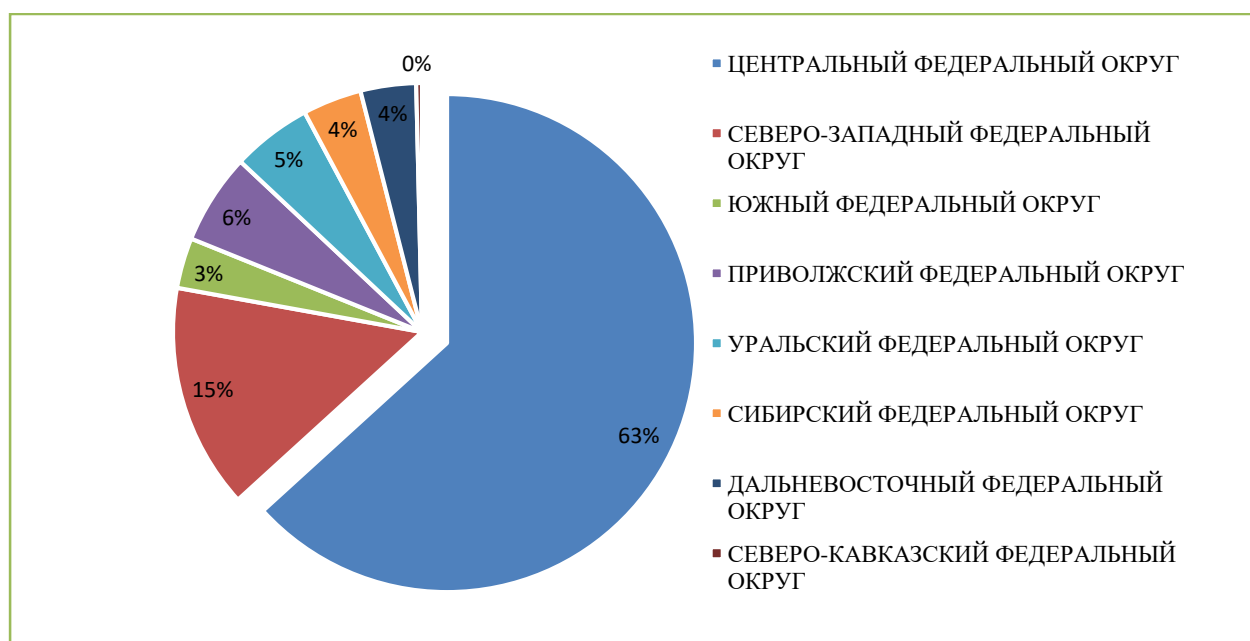


Рис. 3. Географическая структура импорта  
по федеральным округам Российской Федерации на 01.01.2022 г.  
Fig.3. Geographical structure of imports by federal districts of Russia as of 01/01/2022.

*Примечание.* Составлено авторами по данным [Показатели, характеризующие импортозамещение в России, 2023]

Из данных рисунка 3 можно сделать вывод, что наибольшая доля импорта в России на начало 2022 года пришлась на Центральный федеральный округ. При этом среди регионов ЦФО более 70% объема импорта сосредоточено в г. Москва и Московской области (рис 4). Преобладание импортозамещения в данных регионах связано с высокой концентрацией предпринимательского сектора.

Рассматривая Центральный федеральный округ, следует отметить, что он включает в себя 18 субъектов Российской Федерации – Белгородскую область, Брянскую область, Владимирскую область, Воронежскую область, Ивановскую область, Калужскую область, Костромскую область, Курскую область, Липецкую область, Москву, Московскую область, Орловскую область, Рязанскую область, Смоленскую область, Тамбовскую область, Тверскую область, Тульскую область, Ярославскую область. При этом одной из ведущих отраслей является промышленность, именно в ней задействовано порядка 22% занятых в стране. В свою очередь, промышленный комплекс ЦФО сосредоточен на машиностроении и металлообработке. Здесь развиты ракетно-космическая промышленность, авиастроение, электронная и радиопромышленность, железнодорожное машиностроение. Помимо этого, ключевыми отраслями специализации ЦФО является химическая промышленность, лёгкая промышленность, пищевая промышленность и т.д. [Коньшина, 2023].

В таблице 2 наглядно отражены ключевые-показатели социально-экономического развития ЦФО, в том числе данные об экспорте и импорте, в период 2014-2022 гг.

Таблица 2

Темпы роста ключевых показателей  
социально-экономического развития ЦФО в период 2014-2022 гг.  
Growth rates of key indicators of socio-economic development  
of the Central Federal District in the 2014-2022

Показатель	Темп роста, %								
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Численность насел., тыс. чел.	100,3	100,4	100,3	100,3	100,2	100,1	99,5	99,3	99,8
Среднегод. численность занятого насел., тыс. чел.	100,6	99,8	111,7	100,4	99,7	99,9	98,1	99,3	99,5
Среднедушевой доход в месяц, руб.	104,5	110,9	101,5	103,8	107,0	107,4	102,8	105,6	112,8
Среднемес. номинал. начисл. зарплата, руб.	110,3	105,0	109,5	105,8	112,5	111,1	107,5	110,7	112,6
ВРП, млрд руб.	109,7	109,1	106,3	108,4	112,4	112,0	102,1	99,2	109,4
Объем отгруж. товаров собств. про-ва, выпол. работ и услуг собств. силами, млрд руб.	112,1	103,4	114,9	193,9	63,9	108,0	101,7	129,4	94,1
Продукция с/х, млрд руб.	119,7	122,3	102,9	94,5	112,5	107,8	114,4	95,6	108
Оборот розн. торг., млрд руб.	112,2	102,9	102,7	1061,1	10,8	107,2	101,5	109,1	90,5
ОФ, млрд. руб.	107,8	106,7	116,7	103,8	110,1	189,3	101,6	100,2	102,3
Инвестиции в основной кап., млрд руб.	104,5	106,9	103,3	109,9	116,8	116,2	110,8	113,4	108,2
Поступление налог., сбор. и иных обяз. плат., млрд руб.	106,9	108,9	108,5	114,5	112,9	111,5	106,8	119,2	105,9
Экспорт, млрд дол. США	95,3	68,9	83,2	124,8	125,9	46,6	77,4	145,8	89,8
Импорт, млрд дол. США	91,8	63,3	99,5	124,5	109,6	61,6	95,3	126,7	100,1
Торг. сальдо, млрд дол. США	100,8	76,7	64,6	125,3	162,0	26,7	28,2	190,1	100,1

*Примечание.* Составлено авторами по данным [Официальная статистика. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики, 2023]

В целом социально-экономическое положение в ЦФО за период 2014-2022 гг. можно охарактеризовать как стабильное. Однако для регионов ЦФО характерна высокая дифференциация социально-экономического развития, обусловленная различиями природно-географического характера, социально-усиленная неоднородностью условий формирования показателей столичных и нестоличных регионов. Все эти факторы обуславливают различия в объемах импорта, что видно из рисунка 4.

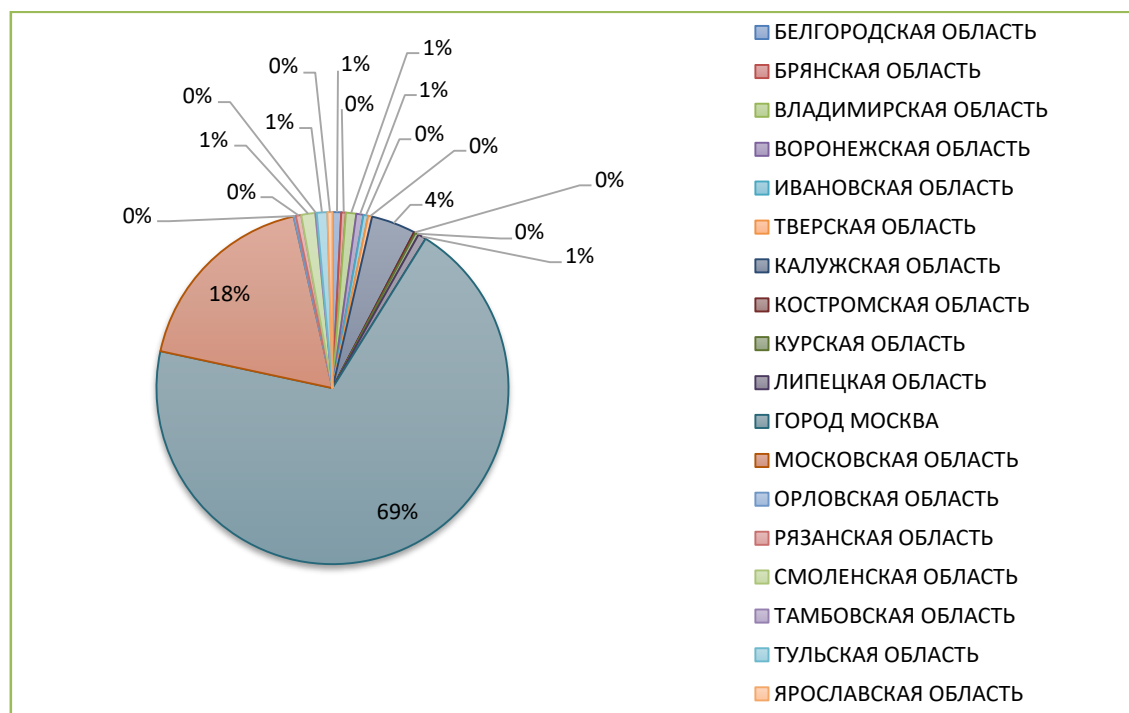


Рис. 4. Географическая структура импорта по регионам  
Центрального федерального округа России на 01.01.2022 г.  
Fig.4. Geographical structure of imports by regions  
of the Central Federal District of Russia as of 01/01/2022.

*Примечание.* Составлено авторами по данным [Показатели, характеризующие импортозамещение в России, 2023]

Таким образом, данные рисунка 4 подтверждают вышесказанное нами в отношении наибольшей доли импортозамещения в г. Москва и Московской области. При этом всем можно отметить, что регионы с высокой долей обрабатывающей промышленности в валовом региональном продукте и значительным уровнем инновационного развития стали наиболее привлекательной мишенью для введения санкций. В связи с этим в рамках нашего исследования следует проанализировать отраслевую структуру импорта субъектов Центрального федерального округа РФ, представленную в таблице 3, до введения санкционных ограничений и выявить наиболее пострадавшие отрасли.

Таблица 3

Структура импорта по группам товаров  
в Центральном федеральном округе и в России, по данным 2022 года  
Structure of imports by product groups  
in the Central Federal District and Russia, according to 2022 data

Группа товаров	ЦФО		Россия	
	Млрд долл.	Доля	Млрд долл.	Доля
Продукты животного происхождения	3,82	2,6%	6,27	2,7%
Продукты растительного происхождения	5,01	3,4%	11	4,7%
Пищевые продукты, напитки, табак	7,04	4,8%	10,3	4,5%
Продукция химической промышленности	22	15%	29,4	12,7%
Пластмассы, каучук и резина	7,9	5,4%	13	5,6%
Текстиль	8,74	5,9%	11,5	5%
Металлы и изделия из них	7,76	5,3%	15,8	6,8%
Машины, оборудование и аппаратура	48,3	32,9%	73,3	31,7%

Окончание табл. 3  
 End table 3

Транспорт	11,8	8%	20,9	9%
Инструменты и аппараты, часы	6,37	4,3%	8,51	3,7%
Разные промышленные товары	4,23	2,9%	5,79	2,5%
Скрытый раздел	5,15	3,5%	9,06	3,9%
Итого:	147		231,4	

*Примечание.* Составлено авторами по данным [Импорт в Центральный федеральный округ, 2021; Показатели, характеризующие импортозамещение в России, 2023]

Исходя из данных, представленных в таблице 3, можно говорить о том, что практически во всех регионах преобладает импорт машиностроительной продукции и химической промышленности. При этом в структуре импорта в большинстве регионов до 2022 года наибольшая доля приходилась на взаимодействие именно с западными странами-партнерами. Их постепенный уход после введения санкций отрицательно сказался на развитии российских предприятий, что в долгосрочной перспективе также будет иметь негативный характер проявления.

Чем активнее регионы привлекали зарубежных инвесторов, совместно создавали и развивали крупные новые производства до введения экономических санкций, тем сложнее оказалась их экономическая ситуация в 2022 году.

В пятерку самых импортозависимых субъектов РФ входят Калужская и Владимирская области. Калужская область пострадала от ухода западного автомобильного бизнеса. Три крупных завода – «Volkswagen», «Volvo» и «Stellantis» остановили своё производство. При этом Калужская область является одним из лидеров по производству молока и тепличных овощей, а сельскохозяйственная промышленность является одной из самых независимых отраслей России. Диверсификация экономики позволит региону сдерживать темпы падения ВРП. Так в 2023 году 1,5 млрд рублей из бюджета Калужской области было направлено на создание условий для реализации новых инвестиционных проектов в индустриальных парках и особой экономической зоне.

Во Владимирской области против 4-х заводов были введены санкции, предприятия работают в структуре госкорпорации «Росатом» и производят центрифуги для обогащения урана. Власти региона также работают над диверсификацией структуры экономики.

На экономику приграничных регионов (Белгородская, Брянская, Курская, области), помимо ухода части иностранных торговых партнеров, отрицательно отразилась и транспортно-логистическая затрудненность.

Около 130 проектов развития импортозамещения находятся на сопровождении в Московской области. Из них 24 были реализованы в 2022 году, еще 57 будут реализованы до конца текущего года. Отдельного внимания заслуживает импортозамещение в сфере ИТ-технологий, так как российские разработчики значительно отстают от зарубежных. Москва и Московская область в данной сфере занимают важную роль и входят в пятёрку лучших субъектов РФ по уровню цифровой зрелости. Многие государственные услуги на сегодняшний день предоставляются преимущественно в электронном виде. Однако надежных ИТ-разработок для промышленных предприятий пока недостаточно.

Несмотря на активную государственную поддержку импортозамещения, не стоит забывать, что уход большого количества иностранных игроков с рынка может привести к повышению уровня цен на товары (в связи с неразвитостью новых производств и отсутствием дешевых ресурсов), снижению качества новой аналоговой продукции, внеплановым бюджетным расходам на финансирование новых предприятий. Только половина российских промышленных предприятий имеет потенциал для выпуска импортозамещающей продукции, не уступающей по качеству зарубежной.

На сегодняшний день абсолютными лидерами по наличию нового отечественного оборудования, которое не уступает по качеству зарубежным аналогам, являются предприятия по добыче нефти и природного газа [Копыт, Фомин, 2023]. В других секторах экономики ситуация хуже. Так, у предприятий по добыче руды отсутствуют российские аналоги оборудования, соответствующего требованиям безопасности и мощности. Предприятия мебельной промышленности, обработки древесины, а также производства лекарственных препаратов заявляют об отсутствии качественных российских альтернатив иностранному оборудованию.

Подводя итог всему вышесказанному, следует сказать, что ключевой проблемой, способной оказать негативное влияние на перспективы развития политики импортозамещения в ЦФО и спровоцировать экономико-технологический кризис, на наш взгляд, является проблема недостаточного потенциала импортозамещения в регионах, которая в свою очередь спровоцирована следующими факторами:

- высокий уровень дифференциации регионов Центрального федерального округа по показателям среднедушевого денежного дохода населения, инвестициям в основной капитал, экологическому состоянию регионов и т.д.;
- зависимость отечественной экономики от ситуации на международной арене;
- слаборазвитая научно-техническая обеспеченность гражданских отраслей при достаточно успешном развитии военных технологий;
- необходимость реконструкции и модернизации производственных мощностей для снижения затрат на производства;
- недостаточный уровень взаимодействия между регионами ЦФО, наряду со слабым синергетическим эффектом взаимодействия региональных промышленных комплексов, выражающийся в «разрывах» цепочек добавленной стоимости;
- отсутствие необходимого количества профессиональных кадров для работы на наукоемких производствах;
- наличие системных и институциональных проблем, выражающихся в бюрократизме системы государственного аппарата и ориентации на сырьевую модель экономики и т.д. [Коньшина, 2023].

При этом, несмотря на существующую к настоящему моменту времени экономическую и политическую нестабильность, вызванную экономическими санкциями, Российской Федерации удалось успешно наладить производство товаров первой необходимости и тем самым обеспечить продовольственную безопасность страны. Так, потребление сельскохозяйственной продукции обеспечено отечественным производством более чем на 100%. Для России важно не только замещение импортных товаров, но и выход отечественной продукции на внешний рынок. Политика, проводимая Россией, является экспортоориентированной. Развитию экспортного потенциала страны способствует наличие благоприятных социально-экономических условий, которые позволят увеличить объем производства. Для этого необходимо повысить среднегодовые темпы прироста сельскохозяйственной продукции, достичь продовольственной независимости и обеспечить граждан страны необходимой продукцией, обеспечить развитие глубокой переработки сельскохозяйственной продукции и наращивание производства продукции с высокой добавленной стоимостью, а также обеспечить комплексное развитие сельских территорий [Коньшина, 2023].

### **Заключение**

Таким образом, в Российской Федерации наиболее преобладающим по экономической вовлеченности во внешний торговый оборот с западными странами является Центральный федеральный округ, что обуславливает наибольшую зависимость его регионов от политического курса и введения санкций. Отраслевая направленность и географическая приближенность округа к странам ЕС и СНГ на протяжении многих лет способствовали активному сотрудничеству, что благоприятно складывалось на экономике страны в целом.



Введение экономических санкций практически парализовало деятельность части крупных предприятий округа, однако формирование сбалансированной политики импортозамещения в регионах, преимущественным аспектом которой стала переориентация на внутренний рынок ресурсов и развитие межрегиональных внутренних связей, частично восстановило деятельность отечественных предприятий. Дальнейшее активное развитие отечественного производства ведется в области химической, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. При этом особое внимание необходимо уделить отраслям черной металлургии, пищевой, легкой промышленности, самолетостроению, а также электротехнике. Доля импорта в указанных сферах не показала явного снижения. Также 100% импортозамещения не достигнуто в области программного обеспечения, что делает IT-отрасль особо перспективной.

В современных условиях ориентации отечественной экономики на импортозамещение обеспечение успешного развития регионов приобретает особую актуальность, что отражается в реализации комплексного подхода в решении экономических и социальных задач, стоящих перед региональными властями [Коньшина, 2022].

### Список источников

- Внешняя торговля Российской Федерации в 2023 году. Официальный сайт Федеральной таможенной службы. URL: <https://customs.gov.ru/statistic/vneshn-torg/vneshn-torg-countries> (дата обращения: 20.09.2023).
- Импорт в Центральный федеральный округ URL: <https://ru-stat.com/date-Y2020-2021/RU01/import/world> (дата обращения 20.09.2023).
- Официальная статистика. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705> (дата обращения 15.09.2023).
- Показатели, характеризующие импортозамещение в России. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11188> (дата обращения: 10.10.2023).
- Правительство сформировало пул проектов по импортозамещению на 5,2 трлн рублей. URL: <https://goskaz.ranepa.ru/news/year-2022/10/pravitelstvo-sformirovalo-pul-proektov-po-importozameshheniyu-na-5,2-trln-rublej> (дата обращения 22.09.2023).
- ФТС раскрыла объем внешней торговли России в 2023 году. Какие тренды характерны сейчас для импорта и экспорта товаров. URL: <https://www.rbc.ru/economics/14/11/2023/65532b479a79471209aab87e> (дата обращения: 22.09.2023).
- Экономика России. URL: <https://skyscrapercity.su/ekonomika-i-demografiya/ekonomika-rossii/120/> (дата обращения: 15.09.2023).

### Список литературы

- Алаухова О.И. 2022. Импортозамещение в условиях преодоления внешнего санкционного давления. Вестник Евразийской науки, 14 (3): 1-10.
- Алиев С.А., Чернявская Ю.В. 2019. Импортозамещение как эффективный инструмент оптимального социально-экономического развития субъектов РФ. Modern Economy Success, 5: 27-31.
- Ваганова О.В. 2022. Россия и санкции. Научный результат. Экономические исследования, 8, 1: 4-11.
- Ваганова О.В., Коньшина Л.А., Рычкин В.В. 2023. Исследование региональных и маркетинговых аспектов формирования политики по импортозамещению // Экономика устойчивого развития, 2 (54): 23-27.
- Коньшина Л.А. 2022. Современные особенности региональной политики импортозамещения в АПК. Фундаментальные исследования, 12: 43-50.
- Коньшина Л.А. 2023. Оценка экономико-технологических проблем и перспектив развития импортозамещения в ЦФО России. Экономика устойчивого развития, 2 (54): 221-225.
- Копыт П.С., Фомин О.Ю. 2023. Импортозамещение как способ обеспечения экономической безопасности РФ в условиях санкций. Инновационные механизмы управления цифровой и региональной экономикой. Москва: НИЯУ «МИФИ»: 59-65.

- Круглов В.С. 2023. Международная торговля России в условиях стратегической геоэкономической неопределенности. Региональная и отраслевая экономика, 1: 235-240.
- Мищенко М.С. 2023. Импортзамещение: плюсы и минусы. Всероссийский форум молодых исследователей-2023. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука»: 229-234.
- Рыбников А.М. 2020. Особенности региональной политики в сфере импортзамещения и обеспечения экономической безопасности региона. Эффективное управление экономикой: проблемы и перспективы. Симферополь: ИТ «АРИАЛ»: 62-68.
- Сморгунов Л.В. 2019. От импортзамещения к экспортно-ориентированной политике в российских регионах. Среднерусский вестник общественных наук, 5: 15-34.

### References

- Alaukhova O.I. 2022. Import substitution in the context of overcoming external sanctions pressure. Bulletin of Eurasian Science, 14 (3): 1-10.
- Aliev S.A., Chernyavskaya Yu.V. 2019. Import substitution as an effective tool for optimal socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation. Modern Economic Success, 5: 27-31.
- Vaganova O.V. 2022. Russia and sanctions. Scientific result. Economic Research, 8, 1: 4–11.
- Vaganova O.V., Konshina L.A., Rychkin V.V. 2023. Study of regional and marketing aspects of the formation of import substitution policy // Economics of Sustainable Development, 2 (54): 23-27.
- Konshina L.A. 2022. Modern features of regional import substitution policy in the agro-industrial complex. Basic Research, 12: 43-50.
- Konshina L.A. 2023. Assessment of economic and technological problems and prospects for the development of import substitution in the Central Federal District of Russia. Sustainability Economics, 2(54): 221-225.
- Kopyt P.S., Fomin O.Yu. 2023. Import substitution as a way to ensure the economic security of the Russian Federation under sanctions. Innovative mechanisms for managing the digital and regional economy. Moscow: National Research Nuclear University "MEPhI": 59-65.
- Kruglov V.S. 2023. Russia's international trade under conditions of strategic geo-economic uncertainty. Regional and industrial economics, 1: 235-240.
- Mishchenko M.S. 2023. Import substitution: pros and cons. All-Russian Forum of Young Researchers-2023. Petrozavodsk: ICNP "New Science": 229-234.
- Rybnikov A.M. 2020. Features of regional policy in the field of import substitution and ensuring the economic security of the region. Effective economic management: problems and prospects. Simferopol: IT "ARIAL": 62-68.
- Smorgunov L.V. 2019. From import substitution to export-oriented policy in Russian regions. Central Russian Bulletin of Social Sciences, 5: 15-34.

**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 18.10.2023

Поступила после рецензирования 03.11.2023

Принята к публикации 14.11.2023

Received October 18, 2023

Revised November 03, 2023

Accepted November 14, 2023

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Дрягина Лилия Алексеевна**, ассистент кафедры инновационной экономики и финансов института экономики и управления, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Lilia A. Dryagina**, assistant at the Department of Innovative Economics and Finance, Institute of Economics and Management, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 339.137

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-756-767

## Особенности формирования политики развития приграничных регионов в контексте обеспечения их финансовой безопасности

<sup>1</sup> Куприянов С.В., <sup>2</sup> Сычева И.И., <sup>1</sup> Климов А.В., <sup>3</sup> Герасимова Н.А.

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д.46

<sup>2</sup> Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел  
Российской Федерации имени И.Д. Путилина,  
Россия, 308024, г. Белгород, ул. Горького, 71

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: kaf-mvd@yandex.ru, big\_tulip@mail.ru, klim-23@list.ru, ngerasimova@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Целью работы является уточнение понятия политики применительно к развитию приграничного региона. Предметом исследования выступили отношения, возникающие между экономическими субъектами в процессе реализации политики. Авторы проанализировали различные подходы к толкованию политики, выявили актуальные проблемы использования термина и предложили определение политики. Под политикой авторы предлагают понимать результат деятельности наделенных полномочиями и ответственностью людей в форме образа будущих преобразований, включающего рамочные условия формализации и реализации таких преобразований (различные планы и проекты с учетом особенностей и специфики объекта политики), а также критерии (принципы) оценки достижения поставленных целей. Делается вывод, что политика развития региона предшествует формализации и конкретизации функций управления регионом. Поскольку для приграничного региона оборонительные функции являются абсолютным приоритетом, его политика при развитии всех хозяйственно-культурных сфер обязана считаться с проблемами безопасности. Для реализации следующих по важности достижений (уровня экономического развития региона как базы материального благополучия населения и места специализации региона в экономическом комплексе страны) необходимо обеспечение единства и целостности воспроизводственного процесса через разработку экономического механизма. В экономическом механизме большое значение имеют финансы, обеспечивая слаженность работы его элементов. Реализацию финансовой политики, обеспечивающей финансовую безопасность на региональном уровне, перспективно рассмотреть в преломлении к муниципальному самоуправлению.

**Ключевые слова:** понятие политики, региональная безопасность, воспроизводственный процесс, экономический механизм, финансовая безопасность

**Для цитирования:** Куприянов С.В., Сычева И.И., Климов А.В., Герасимова Н.А. 2023. Особенности формирования политики развития приграничных регионов в контексте обеспечения их финансовой безопасности. Экономика. Информатика, 50(4): 756–767. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-756-767

## Features of the Formation of a Policy for the Development of Border Regions in the Context of Ensuring their Financial Security

<sup>1</sup> Sergey V. Kupriyanov, <sup>2</sup> Irina I. Sycheva, <sup>1</sup> Anatoly V. Klimov, <sup>3</sup> Natalia A. Gerasimova

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation

<sup>2</sup> Belgorod Law Institute of Ministry of the Interior of the Russian Federation named after I.D. Putilin

71 Gorkogo St, Belgorod, 308024, Russian Federation

<sup>3</sup> Belgorod State National Research University

85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russian Federation

E-mail: kaf-mvd@yandex.ru, big\_tulip@mail.ru, klim-23@list.ru, ngerasimova@bsu.edu.ru

**Abstract.** The aim of the work is to clarify the concept of politics in relation to the development of the border region. The subject of the study was the relations that arise between economic entities in the process of policy implementation. The authors analyzed various approaches to the interpretation of politics, brought out the actual problems of using the term and proposed a definition of politics. By policy, the authors propose to understand the result of the activities of people with authority and responsibility in the form of an image of future transformations, including framework conditions for the formalization and implementation of such transformations (various plans and projects taking into account the specifics and specifics of the object of policy), as well as criteria (principles) for evaluating the achievement of set goals. It is concluded that the policy of regional development precedes the formalization and concretization of the functions of regional management. Since defensive functions are an absolute priority for the border region, its policy in the development of all economic and cultural spheres must take into account security problems. In order to realize the next most important achievements (the level of economic development of the region, as the basis for the material well-being of the population, and the place of specialization of the region in the economic complex of the country), it is necessary to ensure the unity and integrity of the reproductive process through the development of an economic mechanism. Finances are of great importance in the economic mechanism, ensuring the coherence of its elements. It is promising to consider the implementation of a financial policy that ensures financial security at the regional level in relation to municipal self-government.

**Keywords:** the concept of politics, regional security, reproduction process, economic mechanism, financial security

**For citation:** Kupriyanov S.V., Sycheva I.I., Klimov A.V., Gerasimova N.A. 2023. Features of the Formation of a Policy for the Development of Border Regions in the Context of Ensuring their Financial Security. Economics. Information technologies, 50(4): 756–767 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-756-767

---

### Введение

Развитие приграничных регионов всегда имело немаловажное значение. Особенности государственной политики в этом отношении тесно связаны с политическими и международными тенденциями. В любом случае, спецификой управления приграничным регионом является не только создание условий эффективного использования ресурсов территории, но и формирование возможностей отразить совокупность внешних угроз, обеспечить национальную безопасность.

Вопросы развития приграничных регионов часто становятся предметом научного исследования [Кузнецов, Кузнецова, 2019; Щербакова, 2018; Колосов, 2018], где анализируются факторы развития, роль регионов не только в экономическом, но и в политическом аспектах, риски функционирования, формируемые в связи с приграничным расположением.

В условиях проведения специальной военной операции (СВО), комплекса экономических санкций, формирования новых регионов РФ, являющихся приграничными, вопросы обеспечения национальной безопасности являются особенно актуальными. В то же время, с нашей точки зрения, понятия «политика» и «политика развития приграничного региона» требуют уточнения.

Целью работы являлось уточнение понятия политики применительно к развитию приграничного региона. В качестве инструментария реализации политики приграничных регионов может выступать хозяйственный механизм. Финансы обеспечивают плавность хода и ладное взаимодействие элементов экономического механизма, являются одним из инструментов обеспечения безопасности экономики региона и страны в целом. Оценить уровень финансовой безопасности региона можно, используя три группы индикаторов: бюджетная составляющая, инвестиционно-инновационная и социальная составляющая финансовой безопасности приграничного региона. Исследуя показатели финансовой безопасности региона, можно проранжировать регионы и выделить приоритетные направления политики развития с точки зрения повышения уровня финансовой безопасности региона.

### **Объекты и методы исследования**

В ходе решения задач исследования, а именно для определения понятия политики, подходов к ее толкованию, анализа экономической безопасности приграничного региона, применялись методы: анализ, синтез, метод сравнения и конкретизации. Так, метод анализа использовался в ходе анализа существующих определений политики, подходов к ее толкованию. С помощью использования метода синтеза выведено определение политики. На основе анализа правовых актов уточнено определение приграничного региона. Кроме того, в работе, в ходе оценки характеристик и выявления блоков экономического механизма реализации политики приграничных регионов, используется системный подход, холистический подход, цель применения которого – анализ механизмов, которые позволяют поддерживать экономических механизм в целостности, а также региональный подход (подход мезоуровня), который применялся в ходе изучения характеристик экономического механизма. При решении задач характеристики основ оценки финансовой безопасности приграничного региона применялся функциональный, ситуационный, институциональный и факторный подходы.

Анализируются научные труды авторов последних десяти лет (2013-2023 гг.).

### **Результаты и их обсуждение**

В отечественной литературе (научной, политической, популярной, социально-экономической, военной и прочей), в средствах массовой информации термин «политика», на наш взгляд, является одним из часто употребляемых. Понятие используется не только профессиональными политиками в своей сфере деятельности, но применяется достаточно широко управленцами, военными, научными работниками (независимо от своей профессиональной сегментации), экономистами, деятелями культуры, спортсменами и т.д. По мере добавления к данному перечню соответствующего прилагательного (культурная, научная, отраслевая, региональная, здравоохранения, просвещения и прочих) горизонт употребления термина политика расширяется.

С одной стороны, такой широкий спектр употребления позволяет говорить о мощном функциональном потенциале данного инструмента, с другой – применение термина в различных сферах делает затруднительным точное его толкование, поскольку обычно изучение политики происходит в конкретном преломлении предмета исследования.

Так, можно выделить подходы к толкованию политики. Например, конфессионально-национальный подход предполагает учет таких факторов как религия, культура, язык, обычаи, традиции, устои, нравы, другие поведенческие аспекты. Например, по мнению

Лавриновой Н.Н. основные характеристики культурной политики заключаются в реализации процессов планирования, проектирования, а также процессов реализации и обеспечения культурной жизни как государства, так и общества [Сошников, 2016].

Экономическое понимание ориентировано на использование в качестве оценки экономического развития единства и целостности воспроизводственного процесса. Так, в учебнике «Политология» под редакцией Пусько В.С. предлагается определение научно-технической политики. Содержательная характеристика данной научной категории состоит в определении политики через систему взаимосвязанных решений и мероприятий государства и других органов. Функционирование данных структур направлено на решение текущих и долговременных задач, связанных с развитием науки и техники, а также задач определения направлений внедрения достижений науки и техники во все сферы общественной жизни [Пусько, Гришнова, Ремарчук, 2020].

Кроме того, по утверждению автора, экономическая политика предполагает реализацию прямых и смежных, по отношению к экономической политике, действий правительства по макроэкономическому регулированию [Демченко, 2021].

Хасанов Ф.З. дает определение государственной политике в области здравоохранения. Автор делает акцент на том, что политика здравоохранения представлена совокупностью мер или обязательств государства, которые состоят в проведении органами власти определенных согласованных действий в системе оказания медицинской помощи. При этом решаются задачи, связанные с улучшением здоровья населения [Кузьмин, Трифонов, 2021].

В отраслевом разрезе выделяется политика в каждой сфере хозяйственной и социально-культурной деятельности: от народно-хозяйственного комплекса до личного подсобного хозяйства. Определение политики в преломлении отрасли предлагается Ардашевой Е.П. Автор дает определение данной научной категории, отождествляя ее с подсистемой экономической политики. Основная функция данной подсистемы связана с управлением развитием отраслей экономики. В ходе реализации данной функции достигается цель, связанная с повышением экономического роста. Также отметим, что автор делает акцент на том, что данный вид политики, в рамках достижения главных целей, предполагает реализацию системы мер, формируемых через институты взаимодействия – государство и отраслевой бизнес [Анохина, Зинчук, Колесников, Копылова, Коростелев, 2016].

Территориальный подход предполагает собственную классификацию политики по множеству признаков: геополитических, страновых, природных, климатических, местоположению и размерам территории и т.д. Согласно «Основам государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года», «государственная политика регионального развития – система приоритетов, целей, задач, мер и действий федеральных органов государственной власти по политическому и социально-экономическому развитию субъектов Российской Федерации и муниципальных образований» [Указ Президента РФ от 16.01.2017 №13; Полушкина, Коваленко, Якимова, 2023].

Социологический анализ позволяет подходить к политике от отдельно взятой личности до Президента страны, правительства. Так, согласно Полушкиной Т.М., Коваленко Е.Г., Якимовой О.Ю. базис социальной политики в широком смысле состоит в реализации задач, связанных с удовлетворением социальных потребностей, а в узком смысле – данный вид политики разрешает противоречия в социальной сфере. То есть этот вид политики – своеобразный инструмент, который смягчает негативные последствия, проявляющиеся в виде неравенств: индивидуальных и социальных [Полушкина, Коваленко, Якимова, 2023].

Естественно, что приведенный перечень подходов к классификации использования термина «политика» можно продолжать и дальше, однако это не является целью данной статьи. Вполне достаточно того, чтобы сделать некоторые обобщающие выводы из практики использования термина «политика» и определиться с его применением в сегодняшней реальности как на теоретическом, так и на прикладном уровне.

Во-первых, термин обладает определенной универсальностью, то есть пригодностью для многих пользователей занятых в самых разнообразных сферах деятельности.

Во-вторых, обладает в значительной мере утилитарным характером, ставящим целью практическое применение и получение пользы или выгоды, что вполне соответствует нашему прагматичному времени.

В-третьих, политика ориентирует на перспективу, на движение, на развитие. Она не содержит конечной цели. Для этого имеются различные планы (перспективные, текущие, оперативные), программы, стратегии, нацеленные на желаемый результат. По мере приближения к реализации, политика их оставляет и указывает иное направление движения. Как нам представляется, для характеристики политики уместен известный лозунг Л. Троцкого: «Движение – все, конечная цель – ничто».

В-четвертых, закон аналогии находит свое проявление не только в Великой эволюционной спирали, предполагающей, что все точки на последующем кольце спирали аналогичны, но не тождественны. Так и политика, она предшествует любому развитию на всех уровнях, во всех областях и сферах. Вместе с тем, несмотря на их функциональную схожесть, они не повторяются. Каждое последующее является новым и более прогрессивным по сравнению с предыдущим.

В-пятых, по отношению к основным функциям управления (планирование, организация, мотивация, контроль) политика выступает в форме рамочных условий. Вместе с тем, функции управления формализуются в виде конкретных мероприятий со сроками реализации, источниками обеспечения, исполнителями, организационной структурой, адекватной условиям теории мотивации, мониторингом и контролем. То есть, политика представляет общие ориентиры для принятия решений и действий, обеспечивающих достижение целей.

В-шестых, единство гибкости и постоянства как одна из характеристик политики, позволяющая, с одной стороны, учитывать объективные и субъективные внутренние и внешние обстоятельства, а, с другой стороны, не допустить принятия решений, продиктованных сиюминутными требованиями и тем самым сохранить постоянство развития на длительный период времени.

В-седьмых, отсутствие единого понимания и толкования термина «политика» в силу многообразия объекта исследования, что предполагает необходимость четко и конкретно определиться с пониманием этого термина, максимально при этом избегая возможности различной его интерпретации.

В-восьмых, политика формулируется высшим руководством и, в отличие от управления, имеет одно направление – сверху вниз. То есть каждое звено в иерархии при выработке своей политики должно исходить из политики вышестоящей структуры.

На основании анализа понимания категории «политика» разными авторами, а также исследования особенностей её характеризующих признаков, предлагаем следующее определение. Политика – это результат деятельности наделенных полномочиями и ответственностью людей в форме образа будущих преобразований, включающего рамочные условия формализации и реализации таких преобразований (различные планы и проекты с учетом особенностей и специфики объекта политики), а также критерии (принципы) оценки достижения поставленных целей.

Данное определение, естественно, не может претендовать на истину в последней инстанции, тем не менее, позволяет очертить круг теоретических и методологических проблем, подлежащих рассмотрению.

Понимая управление как совокупность его основных функций, нам представляется, что разработка политики развития любого объекта управления предшествует формализации и конкретизации функций управления.

Поскольку объектом данного исследования является региональная политика развития приграничных территорий, то круг решаемых задач может быть сужен и конкретизирован. В специальной и популярной литературе часто встречаются словосочетания «приграничная территория», «приграничные регионы». Нередко они используются как синонимы. Объединяющая их основа – это упоминание границы, к тому же обе синтагмы относятся к пространственным характеристикам реальности. Вместе с тем, на наш взгляд, между территорией и регионом существуют различия, а поэтому каждое из определений должно применяться для оценки явления в соответствии со своим назначением. Так, приграничная территория (территория приграничная, приграничная зона) – «...полоса таможенной территории, прилегающая к сухопутной границе, протяженность которой (полосы) оговорена в национальном законодательстве и пределы которой позволяют отличить пограничные перевозки от других видов перевозок...» [Колосов, 2018].

Приграничные регионы – это один из видов регионов. Согласно с мнением автора, что регион представляет собой крупную территорию страны. Для данной территории характерны более или менее однородные природные условия; для нее так же характерна направленность развития производственных сил «на основе сочетания в комплексе природных ресурсов, сложившейся материально-технической базы и производственной и социальной инфраструктур» [Некрасов, 1978].

Типология приграничных регионов РФ приведена на рисунке 1. Согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года выделяются четыре группы приграничных регионов, которые так же имеют геостратегическое значение – это регионы, имеющие границу со странами, входящими в Европейский союз; со странами, входящими в Евразийский экономический союз; с другими странами; со странами, входящими в Евразийский экономический союз, а также с другими странами.

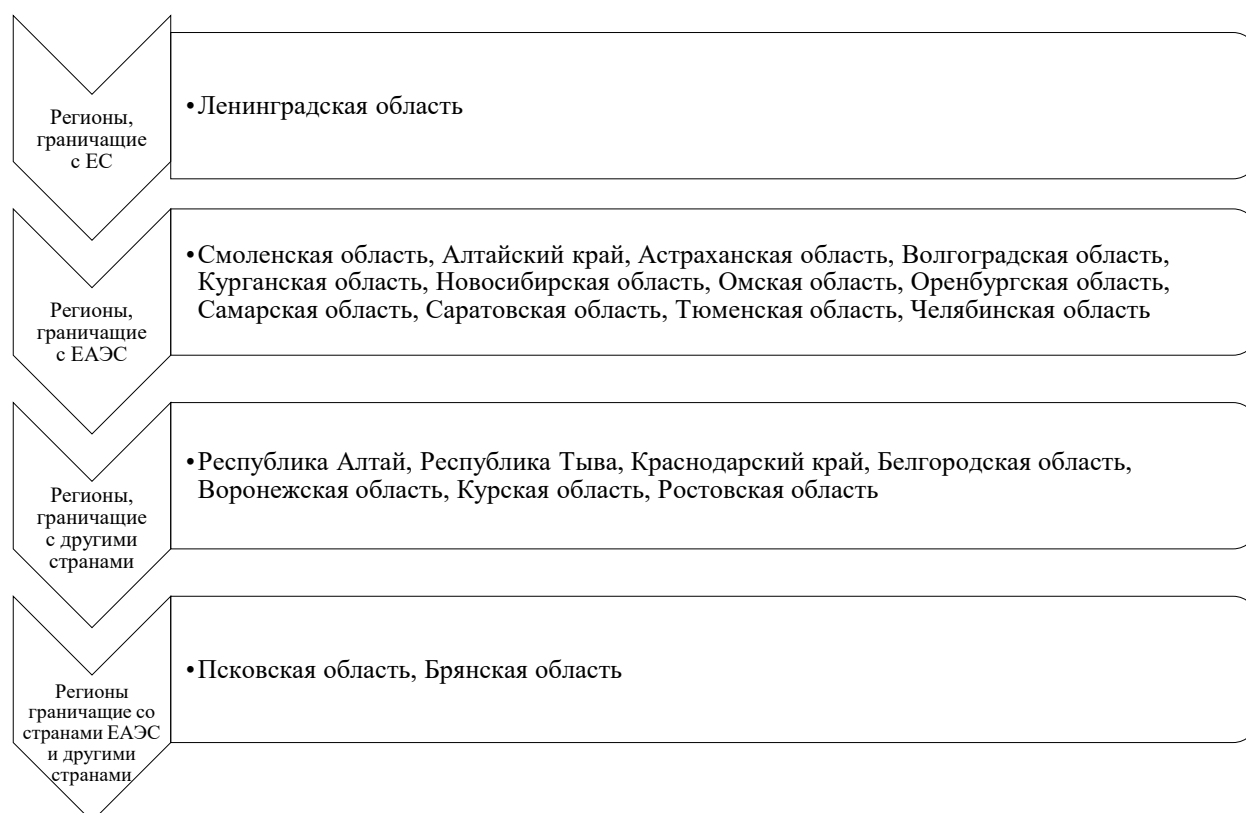


Рис.1. Типология приграничных регионов согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации до 2025 года [Стратегия пространственного развития]

Fig.1. Typology of border regions according to the Spatial Development Strategy of the Russian Federation until 2025 [Spatial Development Strategy]



Отличительной чертой приграничных регионов является их существенное влияние на обеспечение безопасности. Перед каждым регионом в любой его форме (субъект Федерации, территориально-производственный комплекс, муниципальное образование и др.) стоят разнообразные задачи оборонного, экономического, социального, культурного, международного, экологического и прочего характера.

Для приграничного региона на первый план выходит проблема обеспечения безопасности. Все остальное отступает на второй план. Поэтому политика такого региона обязана считаться с проблемами безопасности при развитии всех хозяйственно-культурных сфер – играть роль своеобразной лакмусовой бумаги на определение пригодности и важности любого мероприятия (проекта) в укреплении или ослаблении обороноспособности.

Поскольку каждый регион специфичен, со своими особенностями, «своим лицом», то политика региона должна ранжировать эти проблемы по их значимости и важности для всего народно-хозяйственного комплекса.

Таким образом, в политике развития приграничных регионов есть общее в том, что их объединяет – первостепенное значение обеспечения безопасности – всё остальное «пропускается» через призму этого требования. Различия в региональной политике будут проявляться, исходя из многообразия важных региональных проблем. Безусловно, для каждого приграничного региона, наряду с его оборонительными функциями, являющимися абсолютным приоритетом, важным выступает уровень его экономического развития как база материального благополучия населения региона, а также место специализации региона в экономическом комплексе страны.

Критерием экономического развития является обеспечение единства и целостности воспроизводственного процесса, включающего последовательное чередование производства, распределения, обмена и потребления благ и услуг, необходимых для жизнедеятельности человека.

Элементы воспроизводственного процесса находятся между собой в определенной зависимости. Гармония эта может нарушаться, что отражается на эффективности процесса. Причины такой диспропорции могут быть самыми разнообразными, их рассмотрение не входит в круг нашего исследования, а вот приведение их в соответствие друг другу – одна из задач региональной политики конкретного региона.

В качестве инструментария реализации политики приграничных регионов может выступать хозяйственный механизм. Он обладает достаточной гибкостью и возможностями, позволяющими приспособиться к реальным условиям, скорректировать выявленные диспропорции. Структура экономического механизма включает блоки нормативно-правового обеспечения, хозяйственного управления, функционального обеспечения и мотивационного регулирования [Куприянов, Сычева, 2022]. Характеристика блоков экономического механизма реализации политики приграничных регионов приведена на рисунке 2.

Роль масла, обеспечивающего плавность хода и ладное взаимодействие элементов, в экономическом механизме играют финансы. Как смазка предотвращает сбой работы всей системы, частичной или полной ее неисправности, так и финансы являются одним из инструментов обеспечения безопасности экономики региона и страны в целом. Поэтому обеспечение финансовой безопасности приграничного региона является важной задачей политики развития.

Оценить уровень финансовой безопасности региона можно по нескольким составляющим блокам (рисунок 3).

Исследуя показатели финансовой безопасности региона, можно проранжировать регионы и выделить приоритетные направления с точки зрения повышения уровня финансовой безопасности региона.

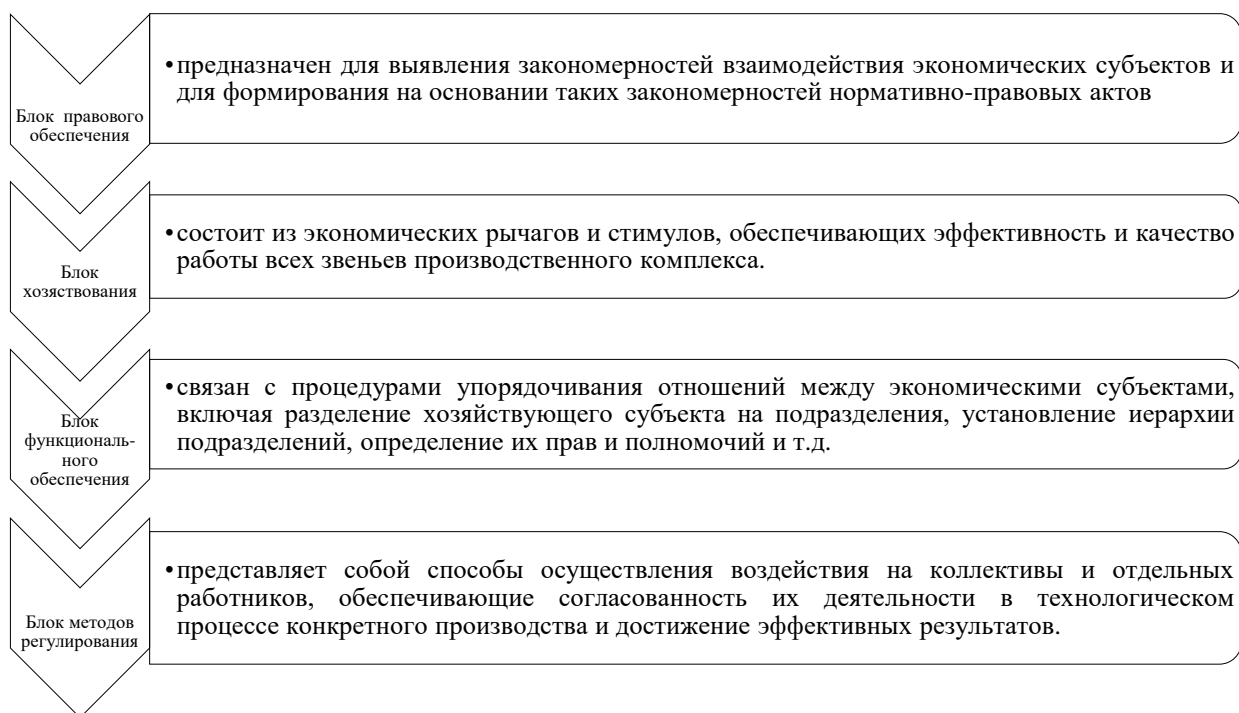


Рис.2. Характеристика блоков экономического механизма реализации политики приграничных регионов  
Fig.2. Characteristics of the blocks of the economic mechanism for the implementation of the policy of the border regions



Рис.3. Базовые характеристики блоков, составляющих основу оценки финансовой безопасности приграничного региона  
Fig.3. Basic characteristics of the blocks that form the basis for assessing the financial security of the border region

В настоящее время необходимо решать основную стратегическую задачу, связанную с формированием устойчивого финансового состояния экономики приграничных регионов. Это связано с решением вопроса недопущения перехода военных конфликтов на территории приграничного региона. С целью снижения данной угрозы целесообразно выстраивать механизм, связанный с разработкой и реализацией региональных программ, содержащих вопросы развития высокотехнологичных отраслей, предприятий военно-промышленного комплекса, а также повышать уровень инвестиционных вложений в экономику приграничного региона.

Сделаем акцент на том, что 2022 год отмечен ростом инвестиций во многих приграничных регионах. Динамика инвестиций в экономику приграничных регионов в 2022 году по сравнению с 2018 годом приведена на рисунке 4. Отметим, что за анализируемый период объемы инвестиционных средств увеличились. Наибольший объем инвестиций в 2022 году был направлен в следующие приграничные регионы:

- Тюменская область;
- Краснодарский край;
- Ленинградская область;
- Ростовская область;
- Самарская область.

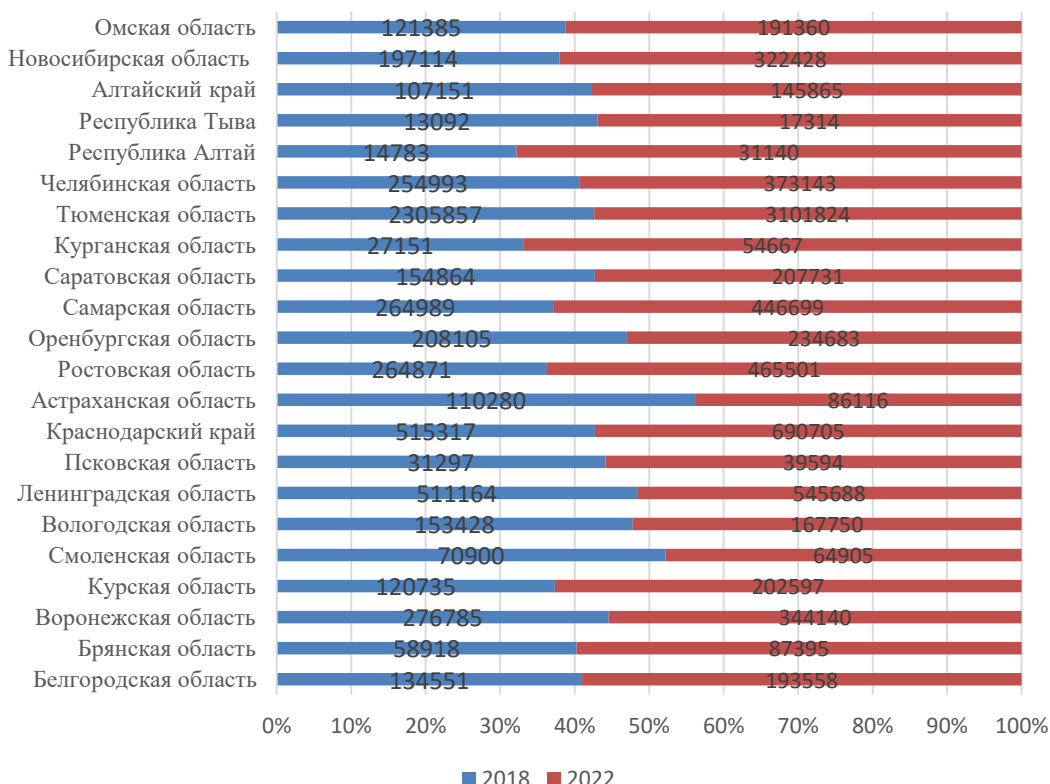


Рис. 4. Динамика объема инвестиций в экономику приграничных регионов  
 Fig. 4. Dynamics of the volume of investments in the economy of the border regions

Отдача от инвестиций и повышение налоговых поступлений от них дадут положительные результаты при условии геополитической стабильности, кадровой обеспеченности, роста платежеспособного спроса населения.

Ранжирование векторов развития экономики приграничного региона согласно критериям степени приоритетности направления обеспечения финансовой безопасности [Куприянов, Парфенова, Сычева, 2022] подтверждает, что в политике развития приграничного региона нивелирование угроз национальной безопасности, а также обеспечение финансовой безопасности играет одну из ведущих ролей. Причем реализация финансовой полити-

ки на уровне региона и муниципалитетов имеет свои особенности и перспективы. Так, муниципальные образования, а также управление ими, представляют наибольший интерес с целью повышения эффективности управления территориальными формированиями на основе развития общественного самоуправления. В условиях развития процесса демократизации общественных отношений, самоуправление представляет собой важнейший элемент влияния населения на развитие, происходящее на территории проживания, в том числе и с точки зрения финансовых потоков.

### Заключение

В заключение можно сделать следующие выводы:

- отсутствует единое понимание и сама дефиниция термина «политика» в силу ряда причин субъективного и объективного характера, распространенности применения, разнообразия целей, задач и подходов в процессе исследования;
- под понятием «политика» можно принять результат деятельности наделенных полномочиями и ответственностью людей в форме образа будущих преобразований, включающего рамочные условия формализации и реализации таких преобразований (различные планы и проекты с учетом особенностей и специфики объекта политики), а также критерии (принципы) оценки достижения поставленных целей;
- главной задачей политики приграничных регионов является обеспечение безопасности страны во всех её проявлениях и требованиях с учетом возможностей данного региона, что выступает как общее всех территориальных образований;
- политика определяет вектор экономического развития как базы материального благополучия населения региона, а также место специализации региона в народно-хозяйственном комплексе страны. В качестве критерия экономического развития принимается единство и целостность воспроизводственного процесса;
- инструментарием реализации политики приграничных регионов в свете общих требований особенностей специализации выступает хозяйственный механизм;
- слаженность работы в экономическом механизме обеспечивают финансы;
- оценить уровень финансовой безопасности региона можно, используя три группы индикаторов: бюджетная составляющая, инвестиционно-инновационная и социальная составляющая финансовой безопасности приграничного региона. Исследуя показатели финансовой безопасности региона, можно проранжировать регионы и выделить приоритетные направления политики развития с точки зрения повышения уровня финансовой безопасности региона;
- муниципальное самоуправление является перспективным путем реализации финансовой политики в обеспечении финансовой безопасности на региональном уровне.

### Список источников

- Некрасов Н.Н. 1978. Региональная экономика. Теория, проблемы, методы. Москва. Экономика, 344 с.
- Пусько В.С., Гришнова Е.Е., Ремарчук В.Н. 2020. Политология. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 262 с.
- Полушкина, Т.М., Коваленко Е.Г., Якимова О.Ю. 2023. Социология управления: учебник и практикум для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 264 с.
- Приказ ФТС России от 25.07.2007 N 895 (ред. от 30.07.2012) «Об утверждении Методических рекомендаций о применении карнета АТА» (вместе с «Таможенной конвенцией о карнете А.Т.А. для временного ввоза товаров», «Конвенцией о временном ввозе» (заключенной в Стамбуле 26.06.1990). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_70906/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_70906/).
- Распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 N 207-р (ред. от 30.09.2022) «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года». Приложение к Стратегии пространственного развития РФ до 2025 года. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_318094/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/).

Указ Президента РФ от 16.01.2017 №13 «Об утверждении Основ государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102041597&backlink=1&&nd=102421069>.

### Список литературы

- Анохина М.Е., Зинчук Г.М., Колесников А.В., Копылова Н.А., Коростелев Д.Г. 2016. Управление экономическим ростом агропромышленного комплекса России. Фундаментальные исследования, 12-2: 365-370.
- Демченко А.М. 2021. Агентный подход к экономической политике государства в условиях фундаментальной неопределенности. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Гуманитарные и общественные науки, 1: 31-40.
- Кузнецов А.В., Кузнецова О.В. 2019. Изменение роли приграничных регионов в региональной политике стран ЕС и России, Балтийский регион, 11-4: 58 -75.
- Кузьмин А.В., Трифонов Ю.Н. 2021. Государственная политика в сфере здравоохранения и механизмы её реализации. Ученые записки Тамбовского отделения РоСМУ, 22: 158-167.
- Куприянов С.В., Сычева И.И. 2022. Роль экономического механизма в развитии региона. Фундаментальные исследования, 10-2: 213-217.
- Куприянов С.В., Парфенова В.А., Сычева И.И. 2022. Финансово-информационная безопасность региона: теоретический и методический аспекты. VIII Путилинские чтения: Сборник материалов Всероссийского круглого стола, Белгород, 27–28 апреля 2022 года. Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации им. И.Д. Путилина, 127-132.
- Российское пограничье: вызовы соседства. 2018. Под. ред. В.А. Колосова. Москва, 562 с.
- Сошников А.Е. 2016. Культурная политика в системе массмедиа. Модернизация культуры: от культурной политики к власти культуры: Материалы IV Международной научно-практической конференции: в 2 частях, Самара, 23–24 мая 2016 года. Под редакцией С.В. Соловьевой, В.И. Ионесова, Л.М. Артамоновой. Том Часть 1. Самара: Самарский государственный институт культуры, 1: 163-170.
- Щербак Н.А. 2018. Факторы экономического развития приграничных регионов России. ЭкономикаПрофессияБизнес, 1: 94-99.

### References

- Anokhina M.E., Zinchuk G.M., Kolesnikov A.V., Kopylova N.A., Korostelev D.G. 2016. Management of economic growth of the agro-industrial complex of Russia. Fundamental Research, 12-2:365-370.
- Demchenko A.M. 2021. An agent-based approach to the economic policy of the state in conditions of fundamental uncertainty. Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant. Series: Humanities and Social Sciences, 1: 31-40.
- Kuznetsov A.V., Kuznetsova O. V. 2019. Changing the role of border regions in the regional policy of the EU and Russia, Baltic Region,. 11-4:58-75.
- Kuzmin A.V., Trifonov Yu.N. 2021. State policy in the field of healthcare and mechanisms for its implementation. Scientific notes of the Tambov branch of RoSMU, 22: 158-167.
- Kupriyanov S.V., Sycheva I.I. 2022. The role of the economic mechanism in the development of the region. Fundamental Research, 10-2:213-217.
- Kupriyanov S.V., Parfenova V.A., Sycheva I.I. 2022. Financial and information security of the region: theoretical and methodological aspects. VIII Putin Readings: Collection of materials of the All-Russian Round Table, Belgorod, April 27-28, 2022. Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after I.D. Putin, 127-132.
- The Russian borderland: challenges of the neighborhood. 2018. Edited by V.A. Kolosov. Moscow, 562 p.
- Soshnikov A.E. 2016. Cultural policy in the mass media system. Modernization of Culture: from Cultural Policy to the Power of Culture: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference: in 2 parts, Samara, May 23-24, 2016. Edited by S.V. Solovieva, V.I. Ionesov, L.M. Artamonova. Volume Part 1. Samara: Samara State Institute of Culture, 1: 163-170.
- Shcherbakova N.A. 2018. Factors of economic development of the border regions of Russia. Economics Profession Business, 1:94-99.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported

Поступила в редакцию 14.09.2023  
Поступила после рецензирования 27.10.2023  
Принята к публикации 07.11.2023

Received September 14, 2023  
Revised October 27, 2023  
Accepted November 07, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Куприянов Сергей Васильевич**, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры мировой экономики и финансового менеджмента, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

**Сычева Ирина Игоревна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин, Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации им. И.Д.Путилина, г. Белгород, Россия

**Климов Анатолий Викторович**, ассистент кафедры мировой экономики и финансового менеджмента, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

**Герасимова Наталья Анатольевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sergey V. Kupriyanov**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of World Economy and Financial Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

**Irina I. Sycheva**, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Humanities and Socio-Economic Disciplines of the Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after I.D. Putilin, Belgorod, Russia

**Anatoly V. Klimov**, assistant of the Department of World Economy and Financial Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

**Natalia A. Gerasimova**, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.01

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-768-780

## **Трансформация парадигмы сбалансированного пространственного развития региона: отечественный и зарубежный опыт**

**Михайличенко М.Ю.**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: mikhailichenko@bsu.edu.ru

**Аннотация.** В статье представлен обзор основных теорий пространственного развития, факторов размещения производительных сил, пространственного равновесия, эволюции теоретических представлений о сбалансированном пространственном развитии региона в контексте зарубежной и отечественной практики. Определены современные фундаментальные и эмпирические исследования, проводимые отечественными научными школами пространственной экономики: Сибирской, Дальневосточной, Уральской, Московской, Санкт-Петербургской. Предложено авторское определение дефиниции «сбалансированное развитие региона». Сформулированы перспективные направления научных исследований в области сбалансированного пространственного развития регионов.

**Ключевые слова:** регион, пространственное развитие, сбалансированность развития, экономическое пространство, концепция

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

**Для цитирования:** Михайличенко М.Ю. 2023. Трансформация парадигмы сбалансированного пространственного развития региона: отечественный и зарубежный опыт. Экономика. Информатика, 50(4): 768–780. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-768-780

---

## **Transformation of the Paradigm of Balanced Spatial Development of the Region: Domestic and Foreign Experience**

**Marina Yu. Mikhailichenko**

Belgorod State National Research University  
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russian Federation  
E-mail: mikhailichenko@bsu.edu.ru

**Abstract.** The article presents a review of the main theories of spatial development, factors of productive forces location, formation of production and non-production proportions of development, interregional interaction, spatial equilibrium, evolution of theoretical ideas about balanced spatial development of the region in the context of foreign and domestic practice. Modern fundamental and empirical research conducted by domestic scientific schools of spatial economics: Siberian, Far Eastern, Ural, Moscow, St. Petersburg is defined. The author's concept of the definition of "Balanced development of the region" is proposed. Promising directions of scientific research in the field of balanced spatial development of regions are formulated.

**Keywords:** region, spatial development, balanced development, economic space, concept

**Acknowledgements:** the research was carried out within the framework of the state assignment of National Research University «BelSU» FZWG-2023-0014, the topic of the project «Spatial and network interaction of Russian regions in the context of new challenges of technological development».

**For citation:** Mikhailichenko M.Yu. 2023. Transformation of the Paradigm of Balanced Spatial Development of the Region: Domestic and Foreign Experience. Economics. Information technologies, 50(4): 768–780 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-768-780

## Введение

Сбалансированное развитие регионов представляет собой актуальную проблему в контексте современной глобализированной экономики, где неравномерность развития регионов и увеличение социально-экономических различий требуют системного вмешательства. Глобальные экономические тенденции углубляют проблемы поляризации и диспропорций между регионами, в результате чего возникает первостепенная задача выравнивания и сбалансированности уровней социально-экономического развития регионов.

Сбалансированное развитие также представляет собой ответ на вызовы устойчивого развития и изменение климата. Краеугольными камнями данного подхода выступают рациональное использование природных ресурсов, уменьшение негативного воздействия на окружающую среду и создание условий для обеспечения стабильной социально-экономической и экологической инфраструктуры в регионах.

Важно отметить, что сбалансированное развитие также рассматривается как инструмент для улучшения социальной стабильности, сокращения миграционного давления из менее развитых регионов в центры экономической активности, а также как средство обеспечения более равных возможностей для различных социальных групп.

Таким образом, сбалансированное развитие регионов остается актуальной проблемой, требующей комплексного подхода и разработки эффективных стратегий, основанных на учете экономических, социальных и экологических аспектов.

Целью исследования является фрагментарный обзор эволюции теоретических представлений о сбалансированном развитии экономики регионов в контексте научных взглядов и разработок зарубежных и отечественных исследователей.

## Материалы и методы

Объектом исследования выступают концепции сбалансированного пространственного развития регионов. В исследовании использовались общие методы и приемы теоретического познания, такие как контент-анализ научной литературы по заявленной теме, анализ сущностной интерпретации исследуемого объекта, логико-структурный анализ и синтез. Материалами исследования послужили отечественные и зарубежные научные литературные источники, в которых были отражены проблемы сбалансированного пространственного развития региона.

## Результаты и их обсуждение

В современных условиях с каждым годом возрастает значимость регионов в повышении эффективности национальной экономики, обеспечение которой возможно только в результате сбалансированности развития субъектов страны. Под сбалансированностью в данном случае следует понимать «соответствие между имеющимися ресурсами и потребностями, которые требуется удовлетворить, а также количественное соотношение между элементами экономической системы. Это соответствие определяется пропорциями, обеспечивающими совместимость и единство в рамках системы, а также эффективность производства» [Лапаев, 2017].

Экономический анализ способствует пониманию факторов, влияющих на дисбаланс в развитии регионов, и позволяет выработать эффективные меры для создания более сбалансированных региональных экономических систем. Одной из главных проблем, ограничивающих достижение сбалансированного развития, является неравномерное распределе-



ние ресурсов и инфраструктуры между регионами. Недостаточная доступность ресурсов и инфраструктуры отрицательно влияет на развитие отдельных регионов. Важно разрабатывать и внедрять механизмы, направленные на сглаживание этого неравенства и обеспечение равноправных условий развития для всех регионов.

Кроме того, проблемой является неравномерное развитие отраслей экономики в регионах. Одни регионы могут быть сильны в определенных сферах деятельности, в то время как другие – слабо развиты в этих отраслях. Важно стремиться к созданию более сбалансированного спектра экономических отраслей в регионах, чтобы обеспечить устойчивость и разнообразие в экономическом развитии.

Более широкий анализ подходов к сбалансированному развитию региональных экономических систем включает изучение инструментов государственного регулирования экономики, мер по стимулированию инвестиций и развитию предпринимательства в регионах, а также разработку и реализацию программ развития, учитывающих особенности каждого региона. В связи с этим возникает необходимость в проведении анализа подходов зарубежных и отечественных экономистов к сбалансированному пространственному развитию регионов и определении способов достижения сбалансированности регионального развития.

Основываясь на хронологической последовательности формирования теорий развития экономики, можно отметить, что зарождение понятия «сбалансированное пространственное развитие» начиналось еще в конце XVIII века – 30-х годов XIX века, со времен классической политической экономии, когда основоположники теории региональной экономики А. Смит и Д. Рикардо «сформулировали идею необходимости специализации стран и регионов. Они объясняли это тем, что в результате товарообмена между странами, которые специализируются на производстве определенного вида товара в условиях сложившихся хозяйственных традиций, имеющих природные и человеческие ресурсы, выгоду получают обе стороны» [Лапаев, 2017]. Согласно А. Смигу, «уверенность в возможности обменять весь тот излишек продукта своего труда, который превышает его собственное потребление, на ту часть продукта других людей, в которой он может нуждаться, побуждает каждого человека посвятить себя определённому специальному занятию и развить до совершенства свои природные дарования в данной специальной области» [Смит, 2007].

В то же время Д. Рикардо считал, что при наличии сравнительных преимуществ при производстве товара специализация в производстве выгодна даже той стране, которая не обладает абсолютными преимуществами [Блауг, 1994]. На основе данных предположений им была сформулирована теория сравнительных преимуществ. Согласно идее данной теории, любое государство будет специализироваться на производстве только тех товаров, величина трудовых затрат по которым будет сравнительно меньше, несмотря на то, что в абсолютном выражении иногда они могут быть, в сравнении с другими странами, и больше.

Впервые экономику не как «точечную», а как «пространственную» категорию рассмотрел И.Г. фон Тюнен. В 1826 году им была сформулирована теория сельскохозяйственного штандорта, основанная на идее расположения хозяйств на равном расстоянии от города (центра), при условии равновесия производства и спроса. В своих трудах он описал «изолированное государство» как изотропное пространство, выраженное в отсутствии физико-географических различий «от места к месту» [Михайличенко, 2022]. В результате выявленных территориальных диспропорций И.Г. фон Тюнен «предложил модель локализации различных видов хозяйственной деятельности вокруг одного поселения, акцентируя внимание на различиях и функциональной взаимообусловленности центра и периферии, в результате чего обосновал закономерности размещения производства сельскохозяйственной продукции» [Тополева, 2019].

В 70-х годах XIX века на основе исследований Л. Вальраса зародилась теория общего равновесия. По мнению ученого, равновесие и стабильное развитие региональной системы будет достигнуто лишь в том случае, когда будет обеспечена свобода конкуренции,

технологии и ресурсы будут более доступны и мобильны, в процессе изготовления товаров использование факторов производства будет максимальным. Согласно мнению большинства ученых, отсутствие сбалансированности регионального развития напрямую связано с тем, что в новых условиях действующий рыночный механизм работает неэффективно. В связи с этим, в целях минимизации диспропорций регионального развития необходимо государственное регулирование.

В 1882 году В. Лаунхардтом была выявлена закономерность, заключающаяся в том, что производство скоропортящихся, тяжелых и объемных продуктов должно располагаться вблизи города. В результате, дополнив модель Тюнена, он представил свою модель рационального штандорта промышленного предприятия (модель Лаунхардта). «Вскоре в работе «Практика эффективного размещения предприятий» он представил свою модель, как задачу размещения производства, где производится один вид продукции, удельные издержки постоянны, существует один рынок сбыта, источник сырья и источник материалов» [Launhardt, 1882].

Спустя 27 лет в 1909 году на смену теории сельскохозяйственного штандорта пришла теория промышленного штандорта. Ее автором является немецкий экономист А. Вебер. Она заключалась в рациональном размещении промышленного производства, с учетом соотношения трудовых и транспортных издержек, а также агломерационного эффекта [Лапаев, 2017].

В 20-х годах XX в. наибольшую известность получила теория, разработанная шведским ученым Э. Хекшером (1919 г.) и обобщенная его учеником Б. Олином в 30-е годы, которая получила название теория Хекшера-Олина. В ее основу были заложены работы авторов «Влияние внешней торговли на распределение дохода» [Хекшер, 2006] и «Межрегиональная и международная торговля» [Олин, 2004]. Теория Хекшера-Олина гласит, что любое государство заинтересовано экспортировать товары, произведенные из избыточных факторов производства, а импортировать те, в процессе создания которых участвуют дефицитные факторы производства.

Представленный научный базис нашел широкое применение как на национальном, так и на региональном уровнях. Сформулированные теории факторов производства послужили базисом пространственной организации хозяйства в региональной экономике.

В 1930-е годы были сделаны первые шаги к практическому использованию теории общего равновесия, разработанной Л. Вальрасом. Американский экономист российского происхождения В.В. Леонтьев, применив метод анализа межотраслевых связей с привлечением аппарата линейной алгебры для исследования экономики США, разработал модель «затраты-выпуск». Данная модель описывает взаимосвязь между выпуском продукции в одной отрасли и затратами, расходом продукции всех участвующих отраслей, необходимым для обеспечения этого выпуска [Леонтьев, 1997].

Дальнейшая эволюция взглядов связана с именем немецкого географа В. Кристаллера, который в 1933 году создал теорию «центральных мест», основанную на оптимальной локализации системы населенных пунктов. «Центральные места» выступают экономическими центрами, обслуживающими как свои территории, так и обеспечивающими близлежащие «территории сбыта» товарами и услугами.

Большое внимание вопросу размещения производства уделял А. Лёш. В 1940 году немецкий экономист и географ выпустил книгу «Пространственная организация хозяйства» [Лёш, 2007], в которой обобщил все известные теории И. Тюнена, А. Вебера, В. Кристаллера и др. В своих исследованиях А. Лёш выходит на новый уровень, исследуя проблемы формирования экономических регионов. В результате расширения теории центральных мест Вальтера Кристаллера Август Лёш разработал теорию организации экономического пространства [Гранберг, 2000], исследовав при этом зависимость расстояния места потребления от места производства. Так же А. Лёшем были разработана теория пространственного экономического равновесия.

В 1953 году Т. Хагерстрандом была открыта теория пространственной диффузии нововведений. В рамках данной теории изучалось, по какой траектории происходит перемещение инноваций между территориями. В результате было сформировано три направления распределения: из городов в прилегающие территории; от центра к центру в иерархическом порядке от высшего к низшему; из центров в периферию [Бакланов, 2007].

В 50-е годы XX века французским экономистом Франсуа Перру была разработана теория «полюсов роста». Основной идеей данной теории является компактное расположение и динамичное развитие отраслей промышленности, способствующих образованию промышленных центров на определенной территории, а также их росту. Центры и ареалы размещения отраслей-лидеров притягивают факторы производства, обеспечивая наиболее эффективное их использование. В результате это приводит к концентрации предприятий и образованию полюсов экономического роста.

Вклад в развитие теории «полюсов роста» внесли также ученые, представленные на рисунке 1:

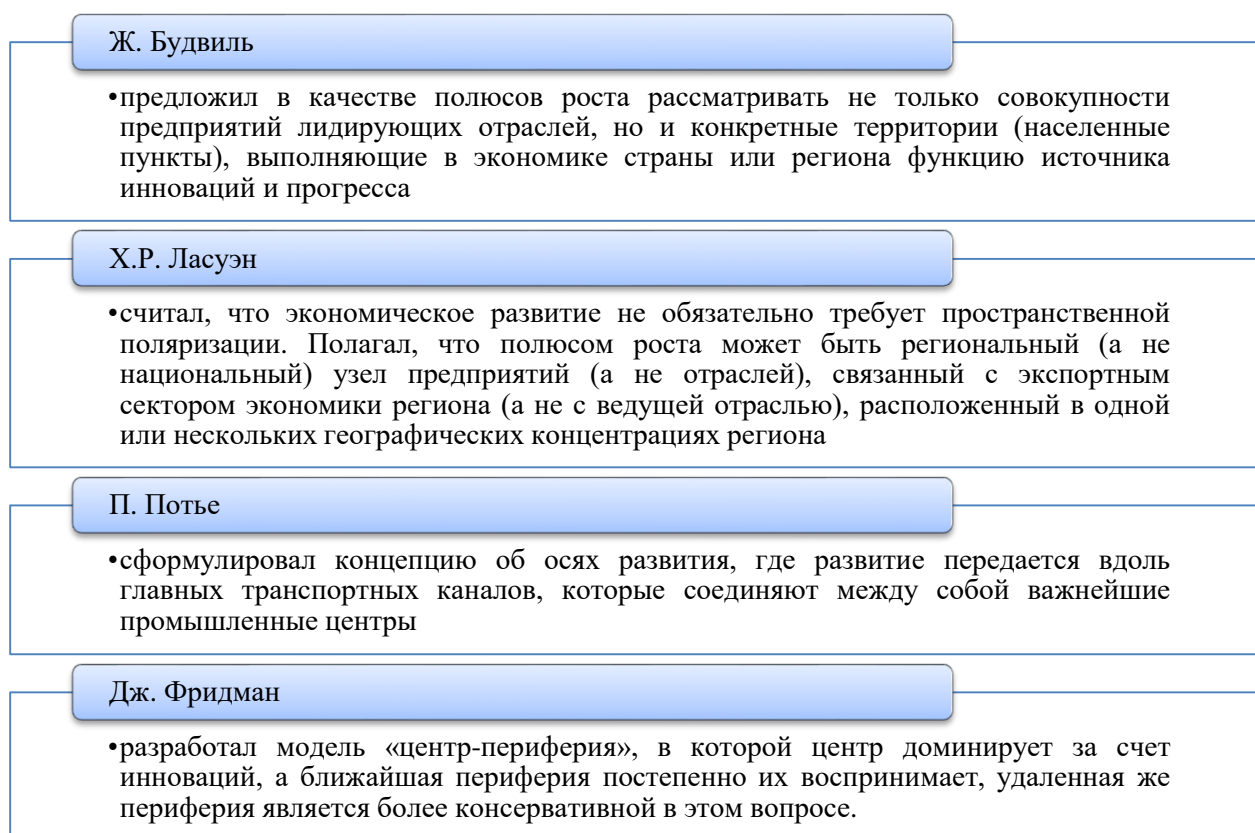


Рис. 1. Основные идеи развития теории «полюсов роста», предложенные зарубежными учеными (составлен на основе данных [Тополева, 2019])

Fig. 1. Main ideas of the development of the theory of «growth poles» proposed by foreign scientists (compiled on the basis of data [Topoleva, 2019])

В 1964 году американский экономист Уильям Алонсо по аналогии сельскохозяйственного штандорта разрабатывает пространственную модель города. В ней город – это центральный деловой район, вокруг него происходит расселение рабочих, а внутри – идет конкурентная борьба за земельные ресурсы между различными видами их применения.

В конце XX века в области экономической науки был определен новый вектор научных исследований – регионалистика. Основателем школы региональной науки стал У. Айзард, который занимался исследованием территориальных явлений, интегрировал предшествующие модели анализа систем расселения, транспортных сетей, размещения промыш-

ленных предприятий, торговли и сферы услуг. В это время процесс перехода региональной экономики в регионалистику происходил в результате дополнения экономических факторов политическими, экологическими и социальными. Первым шагом на этом пути стала разработка эколого-экономического подхода к региональным исследованиям [Isard, 1972].

В 90-е годы XX века на Западе большую популярность получила теория кластерного развития, разработанная Майклом Портером, который один из первых исследовал данную проблему именно с точки зрения конкурентных позиций. Теория кластерного развития представляет собой концепцию, объединяющую отдельные компании и отрасли в географические кластеры, где они взаимодействуют и сотрудничают для обеспечения конкурентных преимуществ и стимулирования экономического развития. Область применения кластерной теории велика. Государственные и региональные органы могут использовать теорию кластеров для стимулирования экономического развития определенных регионов через поддержку и развитие специализированных кластеров. На уровне компаний принципы кластеров позволяют оптимизировать их стратегии развития, создают возможности для сотрудничества, обмена знаниями и ресурсами внутри кластера. Также кластеры способствуют стимулированию инноваций благодаря тесному взаимодействию между учреждениями и компаниями, что помогает развивать новые технологии и подходы. Кластерная теория М. Портера стала одной из важных моделей для понимания конкурентных преимуществ регионов и компаний, выделяя ключевые факторы, способствующие их экономическому процветанию и развитию [Портер, 2000].

Теория межрегионального взаимодействия в развитии экономики, связанная с именем В. Парето, является важной составляющей исследований в области региональной экономики. Она основывается на трех ключевых концепциях: Парето-оптимуме (в контексте межрегионального взаимодействия это означает, что оптимальное состояние достигается, когда нет возможности улучшить развитие одного региона без нанесения ущерба другим), экономическом равновесии (это состояние, при котором спрос и предложение на рынках всех регионов согласуются, и нет экономических перемещений, которые могут нарушить это равновесие) и ядер (являются центрами экономической активности, притягивают инвестиции, обладают развитой инфраструктурой и обслуживают окружающие регионы; ядерные регионы играют важную роль в осуществлении перераспределения ресурсов и развитии других регионов).

В начале XXI века Д. Фореем, Р. Давидом и Б. Холлом было сформулировано новое направление пространственного развития – концепция умной специализации (smart specialization) [Foray, David, Hall, 2011]. Она относится к стратегии развития, которая основана на использовании интеллектуальных ресурсов, знаний и инноваций для стимулирования экономического роста и конкурентоспособности. Концепция умной специализации предполагает концентрацию усилий на развитии и расширении областей, в которых регион обладает уникальными преимуществами или экспертизой. Умная специализация помогает регионам сфокусироваться на тех областях, где у них есть наилучшие предпосылки для успеха, что способствует устойчивому росту экономики, инновациям и улучшению качества жизни населения.

Становление отечественной школы пространственной экономики в XVIII веке связано с работами таких ученых, как И.К. Кириллов, М.В. Ломоносов, К.И. Арсеньев, И.И. Лепихин, П.И. Рычков и других. Именно они составили первые экономико-географические описания различных регионов России (Сибири, Урала, Поволжья, Дальнего Востока и Кавказа). В то время исследовательский подход к экономическому пространству определялся прежде всего локализацией ресурсов, которые определяли возможности организации хозяйственных процессов.

Рассматривая труды отечественных ученых, посвященные проблемам региональной экономики, отметим, что значительный вклад в науку внес Н.Д. Кондратьев, описавший в 1920-е годы периодические циклы сменяющихся подъёмов и спадов мировой экономики

продолжительностью от 40 до 60 лет. Так, в рамках теорий размещения производства была выделена теория «длинных волн». Кондратьев утверждал, что технологические инновации играют ключевую роль в стимулировании длинных циклов. Эти циклы влияют на различные сектора экономики по-разному, в зависимости от их специализации и потребности в новых технологиях. Периоды длинных волн также связаны с изменениями в мировой политике и геополитической обстановкой.

Наряду с другими исследователями в числе первых советских регионоведов был Н.Н. Колосовский. Именно он еще в довоенный период занимался исследованием районирования, что, по его мнению, представляет собой раскрытие процесса формирования пространственных экономических систем. Ключевой целью изучения этих систем являлось достижение максимальной эффективности территориальной организации производительных сил страны. Совместно с Н.Н. Баранским Н.Н. Колосовский создал новую методологическую базу экономической географии. Впоследствии она стала основой теории производственно-территориальных комплексов. С ее помощью были решены важнейшие задачи экономической географии в области экономического районирования и территориального планирования.

Научный интерес к отдельным аспектам теории размещения производительных сил прослеживался в работах основателя советской региональной экономики Н.Н. Некрасова. Его вклад в развитие экономики СССР заключался в разработке Генеральной схемы размещения производительных сил СССР (на длительную перспективу). Она выступала в качестве обобщающего и объединяющего звена научных обоснований развития и размещения отраслей экономики государства [Гранберг, Савельев, 2006].

Автор теории пространственных систем производства П.Я. Бакланов систематизировал представление о территориальных социально-экономических системах и территориальных структурах природопользования. Он исследовал проблемы размещения хозяйства и развития дальневосточных регионов России, рационального использования природных ресурсов.

В 70-90-е годы XX века одним из ключевых направлений исследований было комплексное развитие хозяйства экономических районов. Ученые изучали особенности экономического развития различных регионов, их потенциал, специализацию и конкурентоспособность на межрегиональном уровне. Это позволяло выявлять сильные и слабые стороны регионов, а также разрабатывать стратегии и меры по стимулированию их развития. Другой важной областью исследований были вопросы выравнивания уровней социально-экономического развития регионов. Ученые исследовали причины и механизмы неравномерности развития различных территорий и предлагали методы и инструментарий для достижения более сбалансированного развития регионов. Это включало в себя анализ социально-экономических неравенств, разработку мер по снижению различий в доходах и уровне жизни между регионами, а также создание условий для равного доступа к инфраструктуре, образованию и здравоохранению.

Российские ученые проявляют большой интерес к проблемам региональной экономики в последние десятилетия. Академиками Российской академии наук А.Г. Гранбергом и А.И. Татаркиным внесен значительный вклад в теоретико-методологическое обеспечение регионального развития. Кроме того, среди авторов, продолжающих исследования в области регионального развития, можно назвать Ю.Г. Лаврикову, О.И. Боткина, А.И. Сутыгину, И.В. Гребенкина, А.Н. Швецову и многих других. Исследования проводятся в различных научных организациях, включая академические, отраслевые и образовательные институты.

Говоря о региональном развитии, следует отметить, что на протяжении нескольких лет происходило формирование отечественных школ пространственной экономики. На сегодняшний день по территориальному признаку выделяют пять научных школ: Дальневосточная, Сибирская, Уральская, Московская и Санкт-Петербургская. Это свидетельствует о том, что данные территории обладают колоссальным потенциалом (научные коллективы, инсти-

туты, лаборатории), позволяющим проводить научные исследования в области пространственного развития. Как отмечают П.А. Минакир и А.Н. Демьяненко, подходы к изучению пространственной экономики данных школ имеют значительное отличие от зарубежных: немецкой, французской и англосаксонской. Современные российские школы пространственной экономики, а также их основные направления деятельности представлены на рисунке 2.

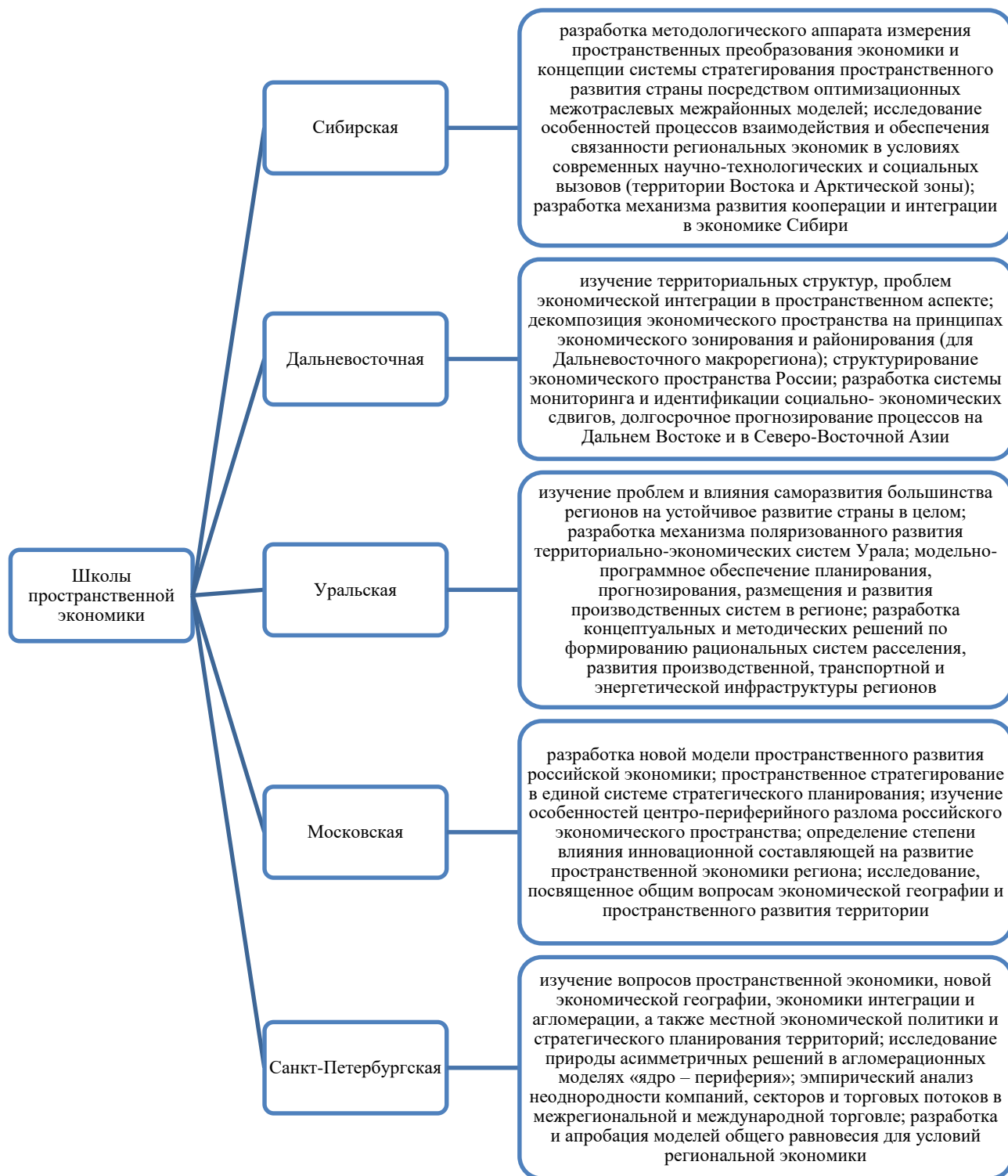


Рис. 2. Современные российские школы пространственной экономики  
(составлен на основе данных [Тополева, 2022])  
Fig. 2. Modern russian schools of spatial economics  
(compiled on the basis of data [Topoleva, 2022])

Сибирская научная школа пространственной экономики занимается изучением экономических процессов в различных регионах Сибири и их взаимосвязей с мировой экономикой. Основоположник данной школы А.Г. Гранберг. Яркими представителями сибирской школы являются: В.И. Суслов, С.А. Суспин, В.Е. Селиверстов, В.В. Кулешов, Ю.С. Ершов, Е.А. Коломак, А.С. Новоселов, В.А. Крюков и др. Их исследования посвящены изучению влияния природных ресурсов на экономическое развитие региона, поскольку Сибирь богата природными ресурсами, такими как нефть, природный газ, уголь, лес и др. Исследования в этой области направлены на выявление влияния добычи и экспорта природных ресурсов на экономическое развитие регионов, а также на поиск путей для диверсификации экономики и устойчивого развития. Ученые проводят анализ взаимосвязей между городскими и сельскими регионами, сосредоточившись на изучении проблем миграции, трудовых ресурсов, социальной инфраструктуры и экономического развития.

В связи с тем, что Сибирь имеет обширные границы с сопредельными странами, проводится оценка потенциала развития трансграничного сотрудничества, включая торговлю, инвестиции, технологические переносы и культурные обмены. Исследования этой научной школы также включают анализ региональной экономической политики, в том числе мер поддержки, инвестиционной активности, стимулирования предпринимательства и повышения конкурентоспособности регионов.

Таким образом, сибирская научная школа пространственной экономики в своей деятельности фокусируется на изучении особенностей экономического развития региона и поиске инструментов для повышения его конкурентоспособности и устойчивости.

В состав дальневосточной школы входят П.А. Минакир, А.Н. Демьяненко, Н.Г. Захарченко, О.М. Прокапало, А.Г. Исаев, В.Н. Украинский и др. Дальневосточная школа пространственной экономики является одной из ключевых инициатив развития экономики Дальнего Востока России. Одной из ее основных задач является формирование нового подхода к развитию Дальнего Востока, основанного на силе пространственного фактора. Один из ключевых элементов подхода дальневосточной школы – это мультирегиональное пространственное планирование, ориентированное на балансировку развития различных территорий Дальнего Востока. Ученые исследуют различные аспекты пространственного развития, включая транспортную инфраструктуру, логистику, туризм, инновации и другие сферы, с целью определения наиболее эффективных стратегий развития. Стоит отметить, что Дальневосточная школа пространственной экономики играет важную роль в развитии экономики Дальнего Востока России. Она объединяет усилия и создает условия для развития инновационных подходов к пространственному планированию и развитию территорий, способствуя устойчивому и сбалансированному развитию региона.

Уральская школа известна такими учеными, как Ю.Г. Лаврикова, Е.Г. Анимца, Н.М. Сурнина, В.Н. Лаженцев, А.И. Татаркин, Н.М. Ратнер и др. Исследователями доказано, что саморазвитие большинства регионов оказывает влияние на устойчивое развитие страны. Также в контексте федеративных отношений определены проблемы в области саморазвития регионов.

Уральская научная школа пространственной экономики занимается изучением экономических процессов и развития регионов Урала и их влияния на мировую экономику. В рамках данной школы ведутся исследования, направленные на выявление особенностей развития территории Урала, включая природные ресурсы, инфраструктуру, географическое положение и другие факторы, оказывающие влияние на экономическое развитие региона. Проводится анализ влияния урбанизации на экономическое развитие и социальную сферу, а также изучение особенностей предпринимательства в сельской местности.

Проводимые исследования в области оценки ресурсного потенциала направлены на изучение и анализ природных ресурсов Урала, их использования и влияния на экономическое развитие региона. Это включает в себя исследования в области добычи и переработки

полезных ископаемых. Уральская научная школа так же, как и Сибирская, осуществляет исследования в области трансграничного сотрудничества, включая анализ экономических и культурных связей с сопредельными регионами и странами.

Таким образом, уральская научная школа пространственной экономики занимается изучением различных аспектов экономического развития Урала и поиска эффективных стратегий для повышения конкурентоспособности и устойчивости региона.

Московская школа пространственной экономики является важным центром исследований и образования, посвященным изучению взаимосвязи между экономикой и пространственными аспектами развития. В московской школе исследования пространственного развития проводят Е.М. Бухвальд, Р.С. Гринберг, Н.В. Зубаревич, А.Н. Пилясов, А.В. Виленский, В.И. Маевский, и др. Ученые применяют современные методы и инструменты анализа, такие как геоинформационные системы, эконометрика и математическое моделирование для изучения пространственных аспектов экономики. Исследователи Московской школы пространственной экономики уделяют внимание вопросам инноваций и устойчивого развития, исследуя то, как эти аспекты могут повлиять на экономическую динамику в конкретных пространственных контекстах. В то же время проводят исследования, посвященные общим вопросам экономической географии и пространственного развития территории.

Эта школа играет важную роль в формировании современных подходов к пространственной экономике и внедрении их в практику для содействия устойчивому и сбалансированному развитию регионов.

Такие представители петербургской школы как Л.Э. Лимонов, Б.С. Жихаревич, Е.В. Желободько, С.И. Кичко, С.Г. Коковин, Ф.А. Ущев, Ж.-Ф. Тисс, М.Ф. Замятина и др. «занимаются изучением вопросов пространственной экономики, новой экономической географии, экономики интеграции и агломерации, а также местной экономической политики и стратегического планирования территорий. Исследования проводятся на базе «Леонтьевского центра», Международной исследовательской лаборатории теории рынков и пространственной экономики НИУ ВШЭ [Ибрагимов, Япарова-Абдулхаликова, 2017], а также на базе Института проблем региональной экономики РАН.

В эпоху современного развития экономики все большую актуальность набирает проблематика выявления путей пространственного развития, постепенно уходя от вопросов размещения производительных сил в рамках территориальных комплексов. Как и любая другая область исследования, пространственное развитие подвержено как активизации возможностей социально-экономического развития регионов, так и возникновению ограничивающих это развитие факторов [Михайличенко, 2022].

В условиях глобальных вызовов происходит выявление и определение перспектив пространственного развития Российской Федерации. В связи с этим, следует отметить, что создание и рациональное распределение в пространстве организационных, налоговых, финансовых и кадровых условий для эффективного функционирования хозяйствующих субъектов возможно лишь при адаптации региональной социально-экономической политики и региональных стратегий развития к макроэкономическим вызовам и возможностям пространственного положения государства [Михайличенко, 2022].

Достижение сбалансированного развития – это многоэтапный и длительный процесс. Исходя из проведенного фрагментарного обзора эволюции теоретических представлений о сбалансированном пространственном развитии экономики регионов, а также с учетом того, что, как правило, сбалансированное развитие рассматривается как результат, целевая установка, к достижению которой необходимо стремиться, как определенное соотношение между набором факторов, нами было сформулировано определение термина «сбалансированное развитие региона» – это стратегический подход к устойчивому развитию территории, ориентированный на обеспечение равномерного распределения экономического, социального, экологического и инфраструктурного роста внутри региона.



В данном контексте целью сбалансированного развития является уменьшение неравенств между различными частями региона и создание условий для устойчивого подъема всех его компонентов. Этот подход включает в себя не только экономические аспекты, но также социальные и экологические факторы, стремясь создать благоприятные условия для улучшения качества жизни всего населения региона. Реализация мероприятий по сбалансированному развитию обычно требует внимательного планирования, эффективного управления ресурсами и внедрения инновационных подходов для содействия гармоничному и устойчивому прогрессу.

### **Заключение**

Проведенный обзор показал, что отечественные и зарубежные научные школы внесли весомый вклад в развитие теории региональной экономики, концепций сбалансированного развития территорий, пространственной организации и размещения производительных сил. По результатам выполненного исследования могут быть сформулированы следующие теоретические выводы. Концепция сбалансированного пространственного развития региона является важным аспектом экономической теории и практики планирования развития региона. Сначала она возникла в сфере экономики, но с течением времени стала шире применяться и в других научных областях. Эволюция теоретических представлений о сбалансированном пространственном развитии прошла через несколько этапов.

На первом этапе, до середины XX века, сбалансированное пространственное развитие было представлено как концепция, направленная на снижение неравенств развития между различными территориями, в том числе внутри отдельных стран. Эту концепцию подкрепляли идеи о региональной политике, направленной на снижение различий в уровнях экономического развития, социального благосостояния и инфраструктуры между различными регионами.

Следующий этап связан с переходом к более широкому пониманию развития регионов, включая социальные, экологические и культурные аспекты. Это позволило включить в концепцию сбалансированного развития также аспекты устойчивого развития, культурного разнообразия и равноправия. Также в то время происходила активная работа по разработке методов и инструментария в области региональных экономических исследований. Ученые разрабатывали теоретические и практические подходы к изучению региональной экономики, создавали модели и методы анализа, а также системы сбора и обработки данных. Это способствовало улучшению качества и точности исследований в области региональной экономики, а также повышению их практической значимости.

Современные представления о сбалансированном пространственном развитии региона включают в себя комплексный подход, учитывающий не только экономические и социальные аспекты, но также экологическую устойчивость и сохранение культурного наследия. Это связано с пониманием того, что развитие регионов должно быть устойчивым и учитывать интересы и потребности всех социальных групп и слоев населения.

Таким образом, эволюция теоретических представлений о сбалансированном пространственном развитии региона отражает разнообразные подходы к пониманию этой концепции и ее развитию в рамках современной науки и практики. В динамично изменяющихся условиях необходимо продолжить исследования в области сбалансированного развития регионов; эффективного взаимодействия регионов, развития отношений центр-периферия; развития регионов как инновационных центров.

### **Список источников**

- Блауг М. 1994. Закон сравнительных преимуществ. Экономическая мысль в ретроспективе (Economic Theory in Retrospect), 627 с.  
Гранберг А. Г. 2000. Основы региональной экономики, 495 с.  
Леонтьев В.В. 1997. Межотраслевая экономика: пер. с англ. Издательство Прогресс, 282 с.

- Лёш Август. 2007. Пространственная организация хозяйства. Российская акад. наук, уос. науч.-исслед. учреждение «Совет по изучению производительных сил», 663 с.
- Лимонов Л.Э. 2015. Региональная экономика и пространственное развитие. Издательство Юрайт, Т. 1: 96-112.
- Портер М. 2000. Конкуренция: пер. с англ. Издательство Вильямс, 495 с.
- Смит А. 2007. Исследование о природе и причинах богатства народов. Издательство Эксмо, 960 с.
- Isard W. 1972. et al. Ecologic-economic analysis for regional development. New York, 283 p.
- Launhardt W. 2018. Die Bestimmung des zweckmässigsten Standortes einer gewerblichen Anlage. Архивная копия от 18 апреля 2018 на Wayback Machine. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, v.26 (Mar), 1882 pp.

### Список литературы

- Бакланов П.Я. 2007. Территориальные структуры хозяйства в региональном управлении. Монография, 237 с.
- Гранберг А., Савельев В. 2006. Академик Некрасов – ученый, гражданин, крупный организатор советской науки. Вопросы экономики, 7: 148-151. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2006-7-148-151>.
- Ибрагимова З.Ф., Япарова-Абдулхаликова, Г.И. 2017. Вклад российских ученых в исследование пространственной экономики. Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика, 2(20): 48-56.
- Лапаев С.П., Зацаринина Ю.В. 2017. Теоретические основы сбалансированного развития экономики регионов. Интеллект. Инновации. Инвестиции, 9: 31-34.
- Михайличенко М.Ю., Стрябкова Е.А., Борзенкова Н.С. 2022. Пространственное развитие территорий: сущность и подходы к определению. Экономико-управленческий конгресс: Сборник статей по материалам Международного научно-практического мероприятия НИУ «БелГУ»: 318-324.
- Тополева Т.Н. 2019. Концептуальные основы сбалансированного экономического развития регионов. Экономические исследования и разработки, 2: 149-153.
- Тополева Т.Н. 2022. Генезис концептуальных подходов пространственной экономики. Вестник РЭУ им. Г. В., Том 19, 4 (124): 94-130.
- Хекшер Э.Ф. 2006. Влияние внешней торговли на распределение дохода. Вехи экономической мысли. Международная экономика, 6: 154-173.
- Foray D., David P. A., Hall B. H. 2011. Smart Specialization From Academic Idea to Political Instrument, the Surprising Career of a Concept and the Difficulties Involved in its Implementation. MTEI Working Paper: 1-16.

### References

- Baklanov P.YA. 2007. Territorial'nye struktury hozyajstva v regional'nom upravlenii [Territorial economic structures in regional management]. Monografiya, 237 s.
- Granberg A., Savel'ev V. 2006. Akademik Nekrasov – uchenyj, grazhdanin, krupnyj organizator sovetsoj nauki [The Academician N. N. Nekrasov - the Scientist, the Citizen, the Prominent Organizer of the Soviet Science]. Voprosy ekonomiki, 7: 148-151. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2006-7-148-151>.
- Ibragimova Z.F., Yaparova-Abdulhalikova, G.I. 2017. Vklad rossijskih uchenyh v issledovanie prostranstvennoj ekonomiki [Contribution of Russian scientists to the study of spatial economy]. Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika, 2(20): 48-56.
- Lapaev S.P., Zaccarinina YU.V. 2017. Teoreticheskie osnovy sbalansirovannogo razvitiya ekonomiki regionov [Theoretical bases of balanced development of regional economy]. Intellect. Innovacii. Investicii, 9: 31-34.
- Mihailichenko M.YU., Stryabkova E.A., Borzenkova N.S. 2022. Prostranstvennoe razvitie territorij: sushchnost' i podhody k opredeleniyu [Spatial development of territories: essence and approaches to definition]. Ekonomiko-upravlencheskij kongress: Sbornik statej po materialam Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo meropriyatiya NIU «BelGU»: 318-324.
- Topoleva T.N. 2019. Konceptual'nye osnovy sbalansirovannogo ekonomicheskogo razvitiya regionov [Conceptual bases of balanced economic development of regions]. Ekonomicheskie issledovaniya i razrabotki. 2: 149-153

- Topoleva T.N. 2022. Genezis konceptual'nyh podhodoov prostranstvennoj ekonomiki [Genesis of conceptual approaches of spatial economy]. Vestnik REU im. G. V., Tom 19, 4 (124): 94-130
- Heksher E.F. 2006. Vliyanie vneshnej trgovli na raspredelenie dohoda. Vekhi ekonomicheskoy mysli [The impact of foreign trade on income distribution]. Mezhdunarodnaya ekonomika, 6: 154-173
- Foray D., David P. A., Hall B. H. 2011. Smart Specialization From Academic Idea to Political Instrument, the Surprising Career of a Concept and the Difficulties Involved in its Implementation. MTEI Working Paper: 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 11.10.2023

Received October 11, 2023

Поступила после рецензирования 16.11.2023

Revised November 16, 2023

Принята к публикации 27.11.2023

Accepted November 27, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Михайличенко Марина Юрьевна**, аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Marina Yu. Mikhailichenko**, Postgraduate Student of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

# ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 332.72; 004.041

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-781-791

## Цифровой реинжиниринг моделей бизнес-процессов на основе их метрик качества

Казаков О.Д., Азаренко Н.Ю., Лысенко А.Н.

Брянский государственный инженерно-технологический университет,  
Россия, 241037, Брянская область, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, д. 3

E-mail: it.kazakov@yandex.ru, salovanat@mail.ru, sasha14-09@mail.ru

**Аннотация.** Цифровой реинжиниринг моделей бизнес-процессов является инновационным инструментом повышения эффективности работы компаний в современных условиях цифровой трансформации. Несмотря на имеющиеся публикации по этой проблематике, недооценённой является проблема автоматической разработки цифровых моделей бизнес-процессов. В имеющихся работах недостаточно полно рассмотрен вопрос технологии автоматической оценки состояния бизнес-процессов, на основе которой можно было бы судить о необходимости проведения их реинжиниринга и устранения недостатков. Целью данного исследования является разработка метода цифрового реинжиниринга бизнес-процесса на основе его метрик качества. Авторами исследованы технологии создания виртуальной карты бизнес-процессов, расчета значений метрик качества бизнес-процесса, прогноза аномалий исполнения бизнес-процесса и реконструкции бизнес-процесса в автоматическом режиме. По результатам исследования предложен метод цифрового реинжиниринга бизнес-процесса с использованием соответствующих моделей машинного обучения. Полученные результаты вносят вклад в развитие технологии реинжиниринга бизнес-процессов на основе реализации обратной связи от их цифровых двойников.

**Ключевые слова:** метрики качества бизнес-процессов, прогноз аномалий исполнения бизнес-процесса, цифровой реинжиниринг, виртуальная карта бизнес-процессов

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00180, <https://rscf.ru/project/23-28-00180/>

**Для цитирования:** Казаков О.Д., Азаренко Н.Ю., Лысенко А.Н. 2023. Цифровой реинжиниринг моделей бизнес-процессов на основе их метрик качества. Экономика. Информатика, 50(4): 781–791. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-781-791

## Digital Reengineering of Business Process Models Based on their Quality Metrics

Oleg D. Kazakov, Natalia Yu. Azarenko, Alexandra N. Lysenko

Bryansk State University of Engineering and Technology

3 Stanke Dimitrova Pr-t, Bryansk, 241050, Russian Federation

E-mail: it.kazakov@yandex.ru, salovanat@mail.ru, sasha14-09@mail.ru

**Abstract.** Digital reengineering of business process models is an innovative tool for improving the efficiency of companies in modern conditions of digital transformation. Despite the available publications on this issue, the problem of automatic development of digital models of business processes is underestimated. The existing works do not fully consider the issue of technology for automatic

assessment of the state of business processes, on the basis of which it would be possible to judge the need for their reengineering and elimination of deficiencies. The purpose of this study is to develop a method of digital reengineering of a business process based on their quality metrics. The authors investigated technologies for creating a virtual map of business processes, calculating the values of business process quality metrics, predicting anomalies in the execution of a business process and reconstructing a business process in automatic mode. Based on the results of the study, a method of digital reengineering of a business process using appropriate machine learning models is proposed. The obtained results contribute to the development of business process reengineering technology based on the implementation of feedback from their digital counterparts.

**Keywords:** business process quality metrics, forecast of anomalies in business process execution, digital reengineering, virtual map of business processes

**Acknowledgements:** The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-00180, <https://rscf.ru/project/23-28-00180/>.

**For citation:** Kazakov O.D., Azarenko N.Yu., Lysenko A.N. 2023. Digital Reengineering of Business Process Models Based on their Quality Metrics. Economics. Information technologies, 50(4): 781–791 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-781-791

---

## Введение

В настоящее время общемировой тенденцией стали процессы цифровизации. Несмотря на большое количество противоречий относительно процессов цифровой трансформации, ее грамотное проведение является залогом успешного функционирования предприятия и поддержания его конкурентоспособности. Данная статья посвящена теме диагностики и цифрового реинжиниринга бизнес-процессов. Актуальность таких исследований подтверждается возможностью выполнения компьютерных экспериментов, позволяющих оценить ситуацию и проанализировать варианты ее решения на виртуальной модели с минимальными финансовыми и трудовыми издержками.

Вопросы реинжиниринга бизнес-процессов в условиях цифровой трансформации освещены в трудах многих ученых со всего мира. Часть исследователей предлагают механизмы реинжиниринга бизнес-процессов предприятия на основе применения конкретных цифровых технологий, в частности в работе [Budiono & Loice, 2012] технологии реинжиниринга позволили повысить эффективность продаж в компании запчастей; [Goel, & Chen, 2008] в своей работе реинжинировали бизнес-процессы на основе ИКТ и компьютерных сетей. Другие же акцентируют внимание на получившей с 2000-х годов распространение технологии цифрового двойника предприятия, изучая его отдельные стороны, требования, положительные моменты, перспективы и т.д. К исследователям данной группы относятся [Borgianni, et al., 2015], которые разработали и представили в научной работе алгоритмическую модель для поддержки принятия решений, которая количественно соотносит этапы бизнес-процесса с его выходными данными со ссылкой на вклад в создание потребительской ценности, [Pattanayak, & Roy, 2015] рассматривали внедрение кросс-функциональных концепций, основанных на информационно-коммуникационных технологиях (ИКТ) таких, как планирование ресурсов предприятия (ERP), что органично интегрировало все функциональные области и привело к значительному улучшению бизнес-процессов, а также производительности компаний.

Подходы к пониманию реинжиниринга бизнес-процессов русскими учеными чаще сводятся к социально-экономическим преобразованиям на предприятии. До 2011 года инструменты реинжиниринга рассматривались как крайние меры по спасению предприятий от банкротства. При этом зарубежные ученые склонны рассматривать реинжиниринг в контексте цифрового развития с применением прорывных и инновационных технологий в

реалиях цифровой экономики, а именно: [Lee, et al., 2023] вводят понятие системы цифрового инклюзивного финансирования (DIF). Так, [Peng, Jiang, & Li, 2023] разработали математическую модель для измерения масштабов развития цифровой экономики и эффективности инноваций на предприятиях. Следует отметить, что [Tao, et al., 2023] разработали эталонную архитектуру программной платформы цифровых двойников на основе пятимерной модели цифровых двойников, моделирования цифровых двойников и теории данных цифровых двойников, стандартов цифровых двойников и т.д.). Авторами предлагается эталонная архитектура программной платформы цифровых близнецов – makeTwin, а также они определили десять основных функций цифрового двойника.

В частности, [Sunil Kumar, Harshitha, 2019] рассматривают понятие цифрового реинжиниринга, которое представляет собой актуализацию бизнес-модели предприятия с учетом достижений Индустрии 4.0 в части организации бизнеса. В статье [Perez, et al., 2022] разработана интегрированная платформа digital twin для бизнес-процессов цепочки поставок.

Таким образом, бизнес-процессы на предприятии постоянно совершенствуются в соответствии с появлениями новых достижений и разработок.

К таким достижениям можно отнести понятие цифровой реформации, под которой понимается совокупность преобразований и значимых изменений бизнес-процессов предприятия с учетом наиболее важных вызовов и угроз внешней среды [Riyanto A., 2019]. Это необходимо для поддержания конкурентоспособности бизнеса и его привлекательности.

Тем не менее, в последнее время механизмы цифрового разрешения сложных задач и проблем реинжиниринга все чаще начинают встречаться в трудах российских исследователей. В частности, Сергеевым Р.А. разработана методика цифровой трансформации бизнес-процессов в виде блок-схемы с описанием алгоритма, целью которой является рост уровня эффективности цифровых изменений на предприятии. Автором выделены элементы, служащие основой цифровой трансформации бизнес-процессов: для выбора вариантов цифровой трансформации применение системы рассуждений на основе прецедентов и экспертной системы; применение набора отображений при разработке вариантов реализации бизнес-процессов; выбор реализации проектов на основе многокритериальности; выполнение проектов путем использования Agile подхода [Сергеев, 2022].

Г.Ф. Габитова, Т.Ю. Хватова отмечают, что лидерами развития будут только те предприятия, которые акцентируют внимание в сферу цифрового проектирования и моделирования методами многокритериальной оптимизации, роботизации и т.д. При этом цифровые двойники в качестве технологии совершенствования ключевых бизнес-процессов помогают экономить ресурсы при проектировании и производстве продукции, выявить слабые места и избежать ошибок. Все это позволяет выйти предприятию на новый уровень конкурентоспособности [Габитова, Хватова, 2020].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что роль цифровых технологий при оптимизации бизнес-процессов на предприятии является неоспоримой, это подтверждается большим количеством публикаций. Однако в работах недостаточно полно рассмотрен вопрос технологии автоматической оценки состояния бизнес-процессов, на основе которой можно было бы судить о необходимости проведения их реинжиниринга и устранения недостатков.

Одним из важных подходов использования инструментов цифровизации на предприятиях является применение Process Mining [Dakic, et al., 2016, Rojas, et al., 2016, Jans, et al., 2011]. Метод мониторинга и улучшения бизнес-процессов работает путем определения отклонений и выявления неэффективности процесса, а также может сравнить результаты работы процесса с тем, как это должно быть в лучшем случае. Положительным моментом использования Process Mining является и то, что метод позволяет рассмотреть процесс в динамике, следовательно, увидеть изменения его совершенствования и их эф-

фективность. К числу преимуществ ориентации анализа на процесс можно отнести: рост производительности, увеличение скорости взаимодействия и сотрудничества, снижение временного ресурса, уменьшение затрат, прозрачность и т.д. Важным показателем является определение мест уязвимости и оценка их влияния на интегральный показатель. Тем не менее, ценным является поиск причин отклонений и проблем, при этом важное значение будет иметь применение методов машинного обучения.

Цель данного исследования заключается в разработке метода цифрового реинжиниринга бизнес-процесса, включающего создание виртуальной карты бизнес-процессов, расчет значений метрик качества бизнес-процесса, прогноз аномалий исполнения бизнес-процесса и реконструкцию бизнес-процесса в автоматическом режиме с использованием соответствующих моделей машинного обучения.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- обзор существующих в научной литературе подходов оптимизации бизнес-процессов в условиях цифровой экономики;
- разработка метода оценки состояния бизнес-процессов, на основе которой можно судить о необходимости проведения их реинжиниринга и устранения недостатков;
- представление схемы цифрового реинжиниринга моделей бизнес-процессов на основе их метрик качества.

### **Объекты и методы исследования**

Цифровой реинжиниринг включает в себя ряд этапов и процессов, которые помогают организации пересмотреть и оптимизировать свои бизнес-процессы с использованием современных цифровых технологий. В самом общем виде основные этапы схемы цифрового реинжиниринга могут быть представлены следующим образом:

1. Определение целей и стратегии:
  - определение основных целей и задач, которые организация стремится достичь через цифровой реинжиниринг;
  - разработка стратегии, ориентированной на достижение этих целей.
2. Анализ текущих процессов:
  - исследование существующих бизнес-процессов и операций организации;
  - выявление аномалий, неэффективных шагов и потенциальных областей для улучшения.
3. Внедрение цифровых технологических решений:
  - определение технологий и инструментов, которые будут использоваться для поддержки бизнес-процессов: системы управления данными, роботизированные процессы, аналитические инструменты и другие цифровые решения;
  - разработка и внедрение выбранных технологических решений в бизнес-процессы;
  - обучение сотрудников работе с новыми инструментами и системами.
4. Реконструкция / разработка бизнес-процессов:
  - создание более эффективных и оптимизированных бизнес-процессов с учетом цифровых возможностей;
  - упрощение и автоматизация задач и этапов процессов.
5. Мониторинг и оценка:
  - установление метрик и KPI (ключевых показателей эффективности), которые позволяют измерять результаты цифрового реинжиниринга;
  - регулярное отслеживание и анализ данных для оценки эффективности новых процессов и технологий.
6. Непрерывный процесс улучшения бизнес-процессов на основе данных и обратной связи:

- внесение корректировок и оптимизация в реинжиниринге для достижения лучших результатов.

Схема цифрового реинжиниринга может быть сложной и многоэтапной, а успешная реализация требует планирования, ресурсов и активного участия всех заинтересованных сторон в организации.

Авторами в своих исследованиях сделан акцент на следующие этапы цифрового реинжиниринга, носящие итерационный характер (см. рис. 1):



Рис. 1. Основные итерации цифрового реинжиниринга бизнес-процессов

Fig. 1. The main iterations of digital reengineering of business processes

Первый этап – автоматическое обнаружение элементов бизнес-процесса и построение визуальной его карты. Наиболее предпочтительным инструментом в контексте цифровых решений среди открытых на текущий момент является мультифункциональная библиотека для интеллектуального анализа процессов SberPM или pm4py.

Для автоматического обнаружения элементов бизнес-процесса и построения визуальной его карты в библиотеке реализовано несколько основных алгоритмов – майнеров: SimpleMiner, CausalMiner, HeuMiner, AlphaMiner, AlphaPlusMiner.

Второй этап – расчет и анализ значений метрик качества бизнес-процесса. Авторский подход заключается в следующем: диагностика бизнес-процессов проводится с помощью экспертных и алгоритмических метрик качества (см. табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Метрики качества бизнес-процессов  
Business process quality metrics

Показатель	Обозначение	Нормативное значение	Метод расчета	Что показывает
Экспертные метрики качества				
Сложность иерархической структуры	$P_1$	$\leq 0,7$	Отношение количества уровней декомпозиции к сумме видов процессов	Показывает степень сложности иерархической структуры бизнес-процессов.
Уровень контроля	$P_2$	$> 0,9$	Отношение числа классов бизнес-процесса к числу управляющим ими	Показывает эффективность управления бизнес-процессами на предприятии



Окончание табл. 1  
End table 1

Показатель	Обозначение	Нормативное значение	Метод расчета	Что показывает
Вероятность успешного завершения бизнес-процесса	$P_3$	$> 0,7$	Определяется на основе различных факторов, таких как опытность и квалификация участников процесса, наличие необходимых ресурсов, правильное планирование и управление рискам	Показывает вероятность того, что задача или проект, связанные с бизнес-процессом, будут выполнены успешно и в соответствии с заданными целями и критериями.
Затраты ресурсов	$P_4$	$< 1$	Отношение числа используемых ресурсов в процессе к сумме имеющихся результатов в классах процесса	Показывает эффективность применения ресурсов в бизнес-процессах предприятия
Регламентация процессов	$P_5$	$\geq 1$	Отношение числа регламентирующих процессы документов к числу классов бизнес-процессов	Отражает степень регламентации и регулирования бизнес-процессов соответствующими документами
Уровень финансового результата бизнес-процессов	$P_6$	$\geq 1$	Отношение суммы доходов по бизнес-процессам предприятия к сумме расходов	Отражает финансовую эффективность бизнес-процессов
Алгоритмические метрики качества				
Связанность процессов	$P_7$	$< 1$	Отношение числа разрывов к сумме классов бизнес-процессов	Определяет характер модели процессов (процессный или проблематичный). Если характер процессный, то элементы связаны между собой.
Средняя заикленность	$P_8$	$< 0,3$	Отношение общего времени к количеству завершённых циклов, выраженное в долях от единицы	Показывает количество времени, которое требуется для завершения одного цикла процесса.
Средняя длина пути	$P_9$	$< 7,7$	Отношение суммы количества шагов к количеству возможных путей	Показывает среднее количество шагов, которые необходимо выполнить для завершения процесса

Примечание. Составлено авторами

Интегральный показатель качества бизнес-процессов рассчитывается по формуле 1.

$$\Xi = -P_1 + P_2 + P_3 - P_4 + P_5 + P_6 - P_7 - P_8 - 0,1 * P_9, \quad (1),$$

где  $\Xi$  – интегральный показатель диагностики бизнес-процессов;  
 $P_i$  – значения метрик качества.

По значению интегрального показателя диагностики бизнес-процессов могут быть получены следующие результаты:

- при  $\Xi > 0,1$  – процесс эффективен.

Третий этап – выявление аномалий в процессах является важным аспектом анализа и оптимизации бизнес-процессов. Аномалии могут указывать на неэффективные операции, нарушения правил, проблемы в выполнении задач и другие потенциальные проблемы, которые могут замедлить работу организации. Цифровой реинжиниринг подразумевает автоматический поиск узких мест бизнес-процесса. Так, например, с помощью моделей машинного обучения, реализованных в библиотеке SberPM, можно выявить вероятность успешного завершения бизнес-процесса, среднюю его заикленность и элементы, негативно влияющие на значения метрик качества.

Четвертый этап – автоматическая реконструкция бизнес-процесса с целью повышения его качества и эффективности. Реконструкция бизнес-процесса позволяет выявить и устранить недостатки, оптимизировать процессы и повысить их качество, что в свою очередь может привести к улучшению результатов работы компании и увеличению ее конкурентоспособности. Наиболее эффективным методом автоматического реконструирования на текущий момент является машинное обучение с подкреплением. В этом случае важным вопросом является определение наград и штрафов в процессе обучения. Они могут быть следующими.

Награды:

- базовая награда за переход;
- увеличенная награда за нахождение в выделенных этапах награда за окончание цепочки;
- награда за быстрое выполнение перехода.

Штрафы:

- штраф за цикл;
- штраф за циклы по окончанию цепочки;
- награда за наличие цепочки в наборе данных.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим процесс согласования коммерческого предложения, представленного в рамках управленческого регламента в ООО «ИТ Софт» в соответствии с рисунком 2.

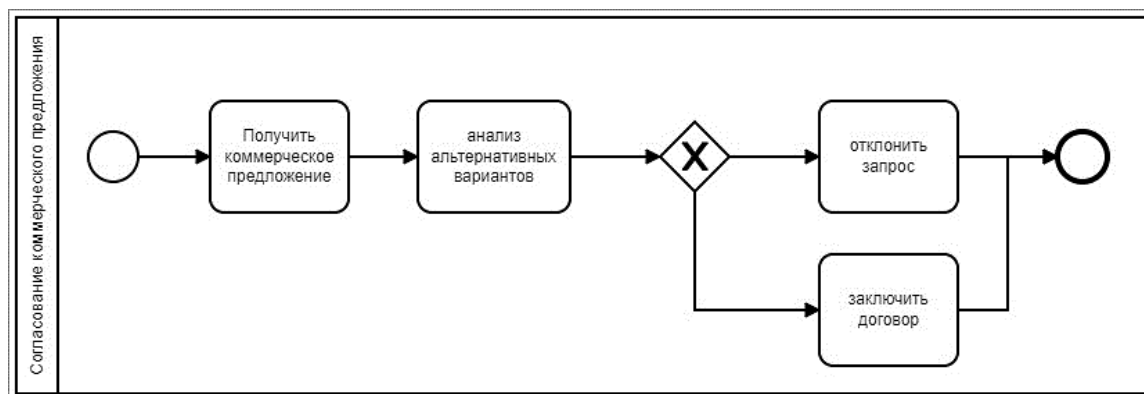


Рис. 2. Модель регламентного процесса «Согласование коммерческого предложения»

Fig.2. Regulatory process model «Approval of a commercial offer»

В рамках первого этапа цифрового реинжиниринга моделей бизнес-процессов на основе их метрик качества, реализовано обнаружение элементов бизнес-процесса и построение визуальной карты данного процесса в соответствии с зафиксированными фактами хозяйственной деятельности за отчетный период (см. рис. 3).

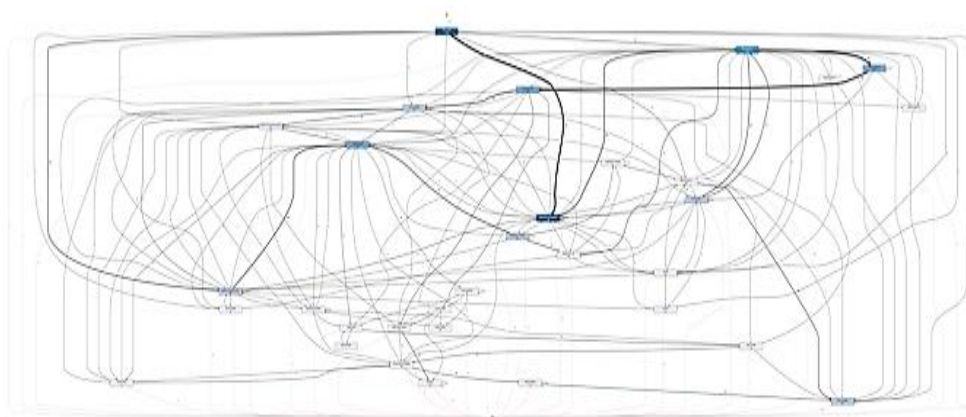


Рис. 3. Фактическое исполнение процесса «Согласование коммерческого предложения»  
Fig. 3. Actual execution of the «Approval of the commercial offer» process

В целях повышения интерпретируемости модели применен фильтр по частоте выполнения операций (см. рис. 4).

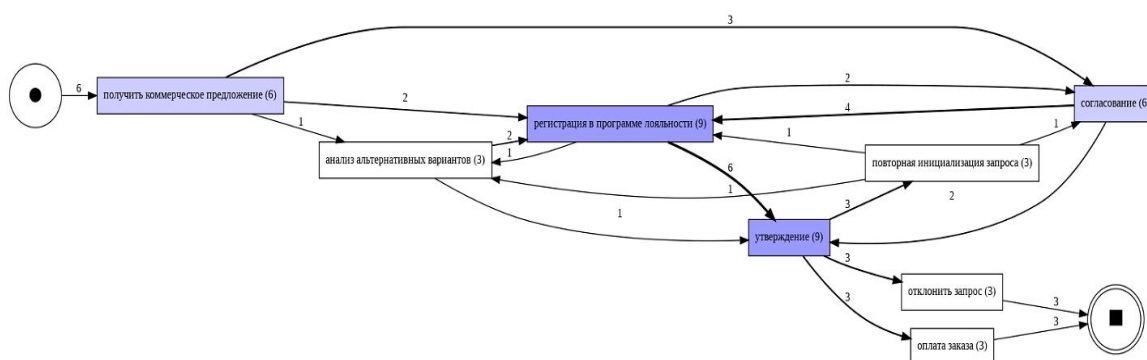


Рис. 4. Фактическая модель процесса «Согласование коммерческого предложения»  
Fig. 4. Actual process model «Approval of the commercial offer» process

Таким образом, было выявлено явное несоответствие фактической модели и модели, утвержденной в управленческом регламенте.

В табл. 2 представлены значения метрик качества исследуемого процесса.

Таблица 2  
Table 2

Значения метрик качества «Согласование коммерческого предложения»  
Values of quality metrics «Approval of a commercial offer»

Показатель	Обозначение	Фактическое значение
Экспертные метрики качества		
Сложность иерархической структуры	$P_1$	0,2
Уровень контроля	$P_2$	0,6
Вероятность успешного завершения бизнес-процесса	$P_3$	0,9
Затраты ресурсов	$P_4$	0,9
Регламентация процессов	$P_5$	1,1
Уровень финансового результата бизнес-процессов	$P_6$	0,2

Окончание табл. 2  
End table 2

Показатель	Обозначение	Фактическое значение
Алгоритмические метрики качества		
Связанность процессов	$P_7$	1,1
Средняя заикленность	$P_8$	0,7
Средняя длина пути	$P_9$	9

Примечание. Составлено авторами

Большинство значений экспертных метрик качества находятся в нормативном значении. Однако алгоритмические метрики негативно влияют на интегральный показатель качества бизнес-процесса, который составил по произведенным расчетам – 0,2, что не соответствует рекомендуемому диапазону.

С целью улучшения значений алгоритмических метрик качества на следующем этапе цифрового реинжиниринга модели исследуемого процесса реализовано обнаружение аномалий (см. рис.5).

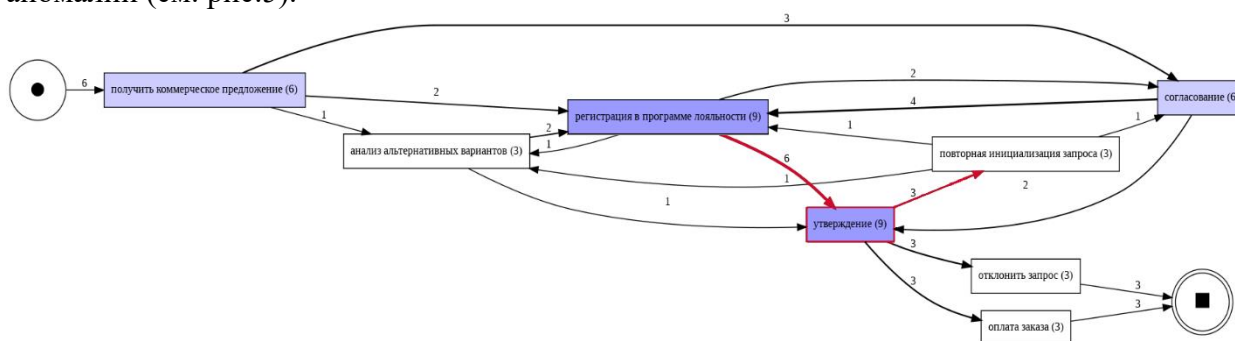


Рис. 5. Автоматический поиск узких мест бизнес-процесса  
Fig. 5. Automatic search for business process bottlenecks

По результатам анализа выявлено, что в хозяйственной деятельности организации необходимо обратить внимание на задачу, связанную с утверждением коммерческого предложения в рамках программы лояльности.

### Заключение

В работе представлен метод цифрового реинжиниринга бизнес-процесса, включающего создание виртуальной карты бизнес-процессов, расчет значений метрик качества бизнес-процесса, прогноз аномалий исполнения бизнес-процесса и реконструкцию бизнес-процесса в автоматическом режиме с использованием соответствующих моделей машинного обучения. Данный подход отличается от имеющихся научных работ тем, что предлагается проводить диагностику бизнес-процессов с помощью экспертных и аналитических метрик качества.

Выявлены условия успешности применимости данного подхода и представлены основные этапы схемы цифрового реинжиниринга бизнес-процесса, носящие итерационный характер. К данным этапам, по мнению авторов, следует относить автоматическое обнаружение элементов бизнес-процесса и построение визуальной его карты; расчет и анализ значений метрик качества бизнес-процесса; выявление аномалий в процессах и, наконец, автоматическая реконструкция бизнес-процесса с целью повысить его качество и эффективность. В экспериментальной части исследования проведен цифровой реинжиниринг бизнес-процесса «Согласование коммерческого предложения».

Дальнейшие исследования авторов будут посвящены разработке методики предикативной аналитики аномалий исполнения бизнес-процессов.

### Список литературы

- Габитова Г.Ф., Хватова Т.Ю. 2020. Цифровой двойник как основа инновационного развития малых и средних предприятий автомобильной промышленности на примере Германии и России. Бизнес. Образование. Право, 3(52): 132-138. DOI 10.25683/VOLBI.2020.52.387
- Сергеев Р.А. 2022. Разработка методики цифровой трансформации бизнес-процессов предприятий. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 8: 81-85. DOI 10.17513/mjpf.13431.
- Borgianni Y., Cascini G., Rotini F. 2015. Business process reengineering driven by customer value: a support for undertaking decisions under uncertainty conditions. Computers in Industry, 68: 132-147.
- Budiono A., Loice R. 2012. Business process reengineering in motorcycle workshop X for business sustainability. Procedia Economics and Finance, 4: 33-43.
- Dakic D., Stefanovic D., Cosic I., Lolic T., Medojevic M. 2018. Business process mining application: a literature review. Annals of DAAAM & Proceedings, 29.
- Goel S., Chen V. 2008. Can business process reengineering lead to security vulnerabilities: Analyzing the reengineered process. International Journal of Production Economics, 115(1): 104-112.
- Jans M., Van Der Werf J. M., Lybaert N., Vanhoof K. A. 2011. Business process mining application for internal transaction fraud mitigation. Expert Systems with Applications, 38(10): 13351-13359.
- Lee C. C., Tang M., Lee C. C. 2023. Reaping digital dividends: Digital inclusive finance and high-quality development of enterprises in China. Telecommunications Policy, 47(2): 102484.
- Pattanayak S., Roy S. 2015 Synergizing business process reengineering with enterprise resource planning system in capital goods industry. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 189: 471-487.
- Peng S., Jiang X., Li Y. 2023. The impact of the digital economy on Chinese enterprise innovation based on intermediation models with financing constraints. Heliyon, 9(3).
- Perez H.D., Wassick J.M., Grossmann I. E. 2022. A digital twin framework for online optimization of supply chain business processes. Computers & Chemical Engineering, 166: 107972.
- Riyanto A., Primiana I.N.A., Yunizar Y., Azis Y. 2019. Digital branch: A business process reengineering in Indonesian banking. Journal of Engineering Science and Technology, 14: 82-91.
- Rojas E., Munoz-Gama J., Sepúlveda M., Capurro D. 2016. Process mining in healthcare: A literature review. Journal of biomedical informatics, 61: 224-236.
- Sunil Kumar M., Harshitha D. 2019. Process innovation methods on business process reengineering. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 11: 2766-2768. DOI: 10.35940/ijtee.K2244.0981119
- Tao F., Sun X., Cheng J., Zhu Y., Liu W., Wang Y., Jin X. 2023. MakeTwin: A reference architecture for digital twin software platform. Chinese Journal of Aeronautics. DOI:10.1016/j.cja.2023.05.002

### References

- Gabitova G.F. 2020 Cifrovoy dvojnik kak osnova innovacionnogo razvitiya mal'kh i srednikh predpriyatij avtomobil'noj promyshlennosti na primere Germanii i Rossii [Digital twin as a basis for innovative development of small and medium-sized enterprises of the automotive industry on the example of Germany and Russia]. Biznes. Obrazovanie. Pravo, 3(52): 132-138. DOI 10.25683/VOLBI.2020.52.387 (in Russian)
- Sergeev, R.A. 2022. Razrabotka metodiki cifrovoy transformacii biznes-proცessov predpriyatij [Development of a methodology for digital transformation of business processes of enterprises]. Mezhdunarodny'j zhurnal prikladny'kh i fundamental'ny'kh issledovanij, 8: 81-85. DOI 10.17513/mjpf.13431. (in Russian)
- Borgianni Y., Cascini G., Rotini F. 2015. Business process reengineering driven by customer value: a support for undertaking decisions under uncertainty conditions. Computers in Industry, 68: 132-147.
- Budiono A., Loice R. 2012. Business process reengineering in motorcycle workshop X for business sustainability. Procedia Economics and Finance, 4: 33-43.
- Dakic D., Stefanovic D., Cosic I., Lolic T., Medojevic M. 2018. Business process mining application: a literature review. Annals of DAAAM & Proceedings, 29.

- Goel S., Chen V. 2008. Can business process reengineering lead to security vulnerabilities: Analyzing the reengineered process. *International Journal of Production Economics*, 115(1): 104-112.
- Jans M., Van Der Werf J. M., Lybaert N., Vanhoof K. A. 2011. Business process mining application for internal transaction fraud mitigation. *Expert Systems with Applications*, 38(10): 13351-13359.
- Lee C. C., Tang M., Lee C. C. 2023. Reaping digital dividends: Digital inclusive finance and high-quality development of enterprises in China. *Telecommunications Policy*, 47(2): 102484.
- Pattanayak S., Roy S. 2015 Synergizing business process reengineering with enterprise resource planning system in capital goods industry. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 189: 471-487.
- Peng S., Jiang X., Li Y. 2023. The impact of the digital economy on Chinese enterprise innovation based on intermediation models with financing constraints. *Heliyon*, 9(3).
- Perez H.D., Wassick J. M., Grossmann I. E. 2022. A digital twin framework for online optimization of supply chain business processes. *Computers & Chemical Engineering*, 166: 107972.
- Riyanto A., Primiana I.N.A., Yunizar Y., Azis Y. 2019. Digital branch: A business process reengineering in Indonesian banking. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14: 82-91.
- Rojas E., Munoz-Gama J., Sepúlveda M., Capurro D. 2016. Process mining in healthcare: A literature review. *Journal of biomedical informatics*, 61: 224-236.
- Sunil Kumar M., Harshitha D. 2019. Process innovation methods on business process reengineering. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 11: 2766-2768. DOI: 10.35940/ijitee.K2244.0981119
- Tao F., Sun X., Cheng J., Zhu Y., Liu W., Wang Y., Jin X. 2023. MakeTwin: A reference architecture for digital twin software platform. *Chinese Journal of Aeronautics*. DOI:10.1016/j.cja.2023.05.002

**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 25.09.2023

Поступила после рецензирования 03.11.2023

Принята к публикации 14.11.2023

Received September 25, 2023

Revised November 03, 2023

Accepted November 14, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Казakov Олег Дмитриевич**, кандидат экономических наук, доцент, проректор по цифровизации, заведующий кафедрой информационных технологий, Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия

**Азаренко Наталья Юрьевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия

**Лысенко Александра Николаевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий, Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Oleg D. Kazakov**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Digitalization, Head of the Department of Information Technologies, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russia

**Natalia Yu. Azarenko**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russia

**Alexandra N. Lysenko**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russia

УДК 338.984

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-792-805

## Применение матричного метода DSM для планирования взаимодействия с заинтересованными сторонами организации

<sup>1,2</sup>Леонтьев Н.Я., <sup>1,2</sup>Самаров Д.А., <sup>1,2</sup>Абрамов А.А., <sup>2</sup>Лукашевич А.О.

<sup>1</sup> АО «Атомэнергопроект»,

Россия, 603006, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, пл. Свободы, 3

<sup>2</sup> Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,

Россия, 603006, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 28А

Email: n.leontyev@ase-ec.ru, d.samarov@ase-ec.ru,

An.Abramov@ase-ec.ru, lukashevich.alena.00@mail.ru

**Аннотация.** В современном мире существует множество факторов, влияющих на результативность и успешность крупных компаний, в особенности входящих в контур «Росатома». Одним из важнейших факторов является взаимодействие между заинтересованными сторонами в процессе выполнения работ по достижению целей предприятия, в частности взаимодействие между внутренними заинтересованными сторонами, такими как внутренние заказчики, исполнители, кадровые администраторы, экономисты и т.д. Когда численность компании составляет порядка нескольких тысяч сотрудников, анализ взаимодействия между ними становится далеко не тривиальной многокритериальной задачей, и даже несмотря на богатый опыт управления большими компаниями в России и в зарубежных странах, единый эффективный алгоритм для анализа взаимодействий отсутствует. Целью данного исследования является анализ взаимодействия заинтересованных сторон посредством матричного метода (DSM), позволяющего определить, какие элементы зависят друг от друга и как они влияют на проект в целом. Исследование проводилось на основе матричного метода (DSM). В результате исследования был проведен анализ взаимодействия внутренних заинтересованных сторон в процессе проектирования АЭС на примере выдачи внутренних технических заданий в компании АО «Атомэнергопроект» с помощью метода DSM, рассмотрены различные потенциальные области развития и использования данного метода, а также показаны различные операции над матрицами, позволяющие оптимизировать проект. Полученные в ходе анализа результаты позволят улучшить организацию компании, снизить сроки создания производимых продуктов и услуг, повысить социально-культурное развитие компании, а также дадут возможность грамотно перераспределять ресурсы между структурными единицами компании, учитывая при этом интересы каждого из участников и заранее продумывая области потенциальных конфликтов и риски.

**Ключевые слова:** матричный метод (DSM), управление проектами, матрица последовательности, матрица взаимодействия, заинтересованные стороны

**Для цитирования:** Леонтьев Н.Я., Самаров Д.А., Абрамов А.А., Лукашевич А.О. 2023. Применение матричного метода DSM для планирования взаимодействия с заинтересованными сторонами организации. Экономика. Информатика, 50(4): 792–805. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-792-805

## Application of the DSM Matrix Method for Planning Interaction with Organizational Stakeholders

<sup>1,2</sup> Nikolay Ya. Leontyev, <sup>1,2</sup> Dmitry A. Samarov,

<sup>1,2</sup> Anton A. Abramov, <sup>2</sup> Alena O. Lukashevich

<sup>1</sup> JSC Atomenergoproekt,

3 Svoboda Square, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod Region, 603006, Russia

<sup>2</sup> Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev,

28A Minin St., Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod Region, 603006, Russia

Email: n.leontyev@ase-ec.ru, d.samarov@ase-ec.ru,

An.Abramov@ase-ec.ru, lukashevich.alena.00@mail.ru

**Abstract.** In the modern world there is a set of the factors affecting effectiveness and success of the large companies in particular entering a contour of Rosatom. One of the major factors is interaction between concerned parties in the course of performance of works on achievement of the goals of the enterprise, in particular interaction between internal concerned parties, such as internal customers, contractors, personnel administrators, economists, etc. When the number of the company is about several thousands of employees, the analysis of interaction between them becomes not a trivial multicriteria task and even despite vast experience of management of the big companies in Russia and in foreign countries, the uniform effective algorithm for the analysis of interactions is absent. An objective of this research is the analysis of interaction of concerned parties by means of a matrix method (DSM) allowing to define what elements depend from each other and as they influence the project in general. The research was conducted on the basis of a matrix method (DSM). As a result of a research the analysis of interaction of internal concerned parties in design process of the NPP on the example of issue of internal technical specifications was carried out to the JSC «Atomenergoproekt» companies by means of the DSM method, various potential areas of development and use of this method are considered and also various transactions over matrixes allowing to optimize the project are shown. The results received during the analysis will allow to improve the organization of the company, to reduce terms of creation of the made products and services, to increase welfare development of the company and also will give the chance to competently redistribute resources between structural units of the company, considering at the same time the interests of each of participants and in advance thinking over areas of the potential conflicts and risks.

**Keywords:** matrix method (DSM), sequence matrix, project management, interaction matrix, stakeholders

**For citation:** Leontyev N.Y., Samarov D.A., Abramov A.A., Lukashevich A.O. 2023. Application of the DSM Matrix Method for Planning Interaction with Organizational Stakeholders. Economics. Information technologies, 50(4): 792–805 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-792-805

---

### Введение

В современном мире существует множество факторов, влияющих на результативность и успешность крупных компаний, в особенности входящих в контур «Росатома». Одним из важнейших факторов является взаимодействие между заинтересованными сторонами в процессе выполнения работ по достижению целей предприятия, в частности взаимодействие между внутренними заинтересованными сторонами, такими как внутренние заказчики, исполнители, кадровые администраторы, сотрудники экономических подразделений и т.д. Когда численность компании составляет порядка нескольких тысяч сотрудников, анализ взаимодействия между ними становится далеко не тривиальной многокритериальной задачей. Для оптимизации любого процесса необходимо грамотно перераспределять ресурсы между структурными единицами компании, учитывая при этом интересы каждого из участников, а также заранее продумывая области потенциальных конфликтов и риски. При проектировании и строительстве АЭС как сложного инженерного объекта нахождение путей решения данной проблемы чрезвычайно важно. Именно поэтому так



важно применять наглядные, простые методы визуализации и анализа взаимодействия, например, метод DSM.

Целью данной статьи является анализ взаимодействия внутренних заинтересованных сторон в процессе проектирования АЭС на примере выдачи внутренних технических заданий в компании АО «Атомэнергопроект» с помощью метода DSM. Применение метода DSM позволяет произвести анализ зависимости между теми или иными заинтересованными сторонами, позволит улучшить организацию компании, снизить сроки создания производимых продуктов и услуг, повысить социально-культурное развитие компании.

Научная новизна заключается в адаптации метода и инструмента DSM в новой области, связанной с взаимодействием внутренних заинтересованных сторон компании. Использование метода позволит усовершенствовать системы управления большими организациями.

Теоретическая значимость внедрения метода состоит в научном обосновании использования метода DSM в области взаимодействия с заинтересованными сторонами различных крупных компаний атомной и других отраслей.

Практическая значимость состоит в возможном использовании компаниями предложенного метода анализа заинтересованных сторон внутри организации.

### **Использование метода DSM при анализе внутренних заинтересованных сторон организации**

Design Structure Matrix (DSM) – это метод, который широко применяется в инженерной и научной сферах. DSM позволяет представить проект в виде матрицы, где каждый элемент матрицы представляет собой подсистему или элемент проекта. В качестве элемента проекта может выступать выполняемая задача различной степени разбиения, структурная единица организации (сотрудник, группа, отдел, бюро, филиал и т.д.), экономические ресурсы, сроки проекта.

Матрица структуры зависимостей (DSM) является простым, но мощным инструментом, чтобы смоделировать, визуализировать и проанализировать зависимости среди системных объектов [Dependency structure matrix modelling for stakeholder ..., 2010]. Особенно эффективен метод при описании последовательностей событий, представленных в виде графов. К примеру, процесс состоит из пяти условных задач, связанных между собой последовательностью выполнения и имеющими обратные связи (итерации). После задачи №1 следует задача №2, а задача №3 имеет обратную связь с задачей №1. Задача №4 является завершающей. Данный процесс можно представить в виде графа (рис. 1).

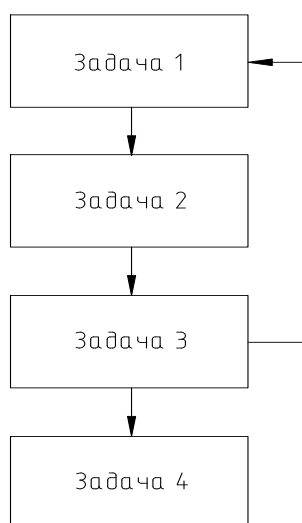


Рис. 1. Граф последовательности задач  
Fig. 1. Task Sequence Graph

Также данный алгоритм можно представить в виде матрицы, отражающей связи между задачами (рис. 2). По диагонали указываются связи задач с самими собой, в данном случае не играющие роли при анализе. Над диагональю матрицы указаны прямые связи, под диагональю обратные.

	Задача 1	Задача 2	Задача 3	Задача 4
Задача 1	1	1	0	0
Задача 2	0	1	1	0
Задача 3	1	0	1	1
Задача 4	0	0	0	1

Рис. 2. Матрица последовательности выполняемых задач  
Fig. 2. Matrix of the sequence of tasks performed

Каждая связь задаётся определенным весом в зависимости от необходимого критерия анализа. Этим весом могут быть финансовые ресурсы, трудозатраты, иные удельные показатели. Данные задачи можно также характеризовать с точки зрения их исполнителей или выполняющих их структурных единиц организации. В данной работе указанный выше метод преобразования графа последовательности задач в матрицу лежит в основе анализа взаимодействия внутренних заинтересованных сторон организации.

Внутренние заинтересованные стороны организации – это группы или индивиды, которые могут влиять на результаты деятельности компании, но не являются её владельцами или клиентами. Эти люди могут быть частью команды, работающей над проектом, или другими работниками внутри компании. Взаимодействие с внутренними заинтересованными сторонами важно для обеспечения успеха проекта.

Примером практического применения метода DSM по отношению ко внутренним заинтересованным сторонам организации может служить ситуация, когда компания решит улучшить процесс создания ценности, в частности проектирования АЭС. Процесс подразумевает разработку проектной и рабочей документации, выдачу внутренних технических заданий, согласование документации, сдачу документации в архив, взаимодействие с заказчиком и т.д. В процессе улучшения процесса проектирования могут быть задействованы различные группы сотрудников компании, например, инженеры различных специальностей, нормоконтролеры, главные инженеры проекта, сотрудники архива, сметчики.

Для проекта, в котором задействовано большое количество заинтересованных сторон и доступна ограниченная информация для анализа их индивидуальных ролей и интересов, DSM позволит определить их взаимосвязи, наглядно представить текущую ситуацию, произвести при этом качественный и количественный анализ той или иной стадии

работы. DSM – это одновременно эффективный инструмент анализа и удобный инструмент для визуализации сложных систем [Using design structure matrices to improve project management, 2016]. В процессе создания единого проекта, несомненно, происходит взаимодействие между стейкхолдерами различного профиля. DSM поможет определить, на какой стадии процесса включать каждую группу сотрудников и как они должны взаимодействовать друг с другом, а также определить потенциальные области конфликтов между смежными подразделениями. Урегулирование конфликтов при организации выполнения проектов путем оптимизации распределения ресурса является одной из наиболее ответственных задач. В качестве ресурса, вокруг которого собственно и развиваются конфликты, могут выступать трудовые ресурсы [Урегулирование конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса, 2020].

### **Анализ взаимодействия внутренних заинтересованных сторон организации в процессе разработки проекта**

Взаимодействие филиалов, блоков, отделов, групп и сотрудников в процессе создания сложных инженерных объектов является невероятно сложным процессом, который является неотъемлемой частью проектирования. От него зависит качество производимого продукта и сроки проекта, поэтому его стоимость, ресурсы и сам процесс взаимодействия нуждается в постоянном совершенствовании и оптимизации. На ухудшение ключевых характеристик проекта могут повлиять конфликты между заинтересованными сторонами, снижение сроков выпуска документации, связанное с неравномерностью загрузки специалистов, неграмотным распределением ресурсов как человеческих, так и материальных [Управление заинтересованными сторонами в комплексных проектах, 2022].

В качестве примера адаптации метода DSM для анализа взаимодействия заинтересованных сторон был исследован процесс выдачи внутренних технических заданий (ВТЗ) внутри компании контура ГК «Росатом» АО «Атомэнергoproject». Данный вид работ наиболее точно отражает именно взаимодействие внутри компании между различными подразделениями, охватывает все её структурные уровни. При этом становится возможным делать анализ наиболее точным, рассматривая более мелкие структурные единицы (например, функциональные группы или работников отрасли) или же наоборот, с целью уменьшения срока исследования, рассматривать более крупные структурные единицы (филиалы, бюро, отделы).

Для более глубокого понимания материала целесообразно привести определения внутреннего технического задания.

Внутреннее техническое задание – это документ или несколько документов, определяющих цель, структуру, свойства и методы какого-либо проекта, и исключающие двусмысленное толкование различными исполнителями внутри организации. Иными словами, ВТЗ – это инструмент коммуникации между внутренним заказчиком и исполнителем, который помогает выстроить линию общения с помощью создания внутри него некоего абстрактного элемента, наделенного видением, чувствами и знаниями заказчика.

В ходе создания определенного проекта происходит непрерывный обмен ВТЗ между отделами инжиниринговой компании. Скажем, для проектирования вентиляционной системы, состоящей из технологического оборудования и воздуховодов, необходимо знать, где расположены перекрытия и прочие строительные элементы здания, в котором вентиляционная система располагается во избежание коллизий во время монтажа системы. В таком случае отдел вентиляции, как внутренний заказчик, выдает ВТЗ строительному отделу на проектирование перекрытий. Создание сложных инженерных объектов, таких как АЭС, является длительным процессом с огромным количеством последовательных специализированных в разной области более мелких процессов, которые между собой взаимосвязаны последовательно. Поэтому анализ выдачи ВТЗ так важен. Зная, какие уз-

кие места при выдаче того или иного ВТЗ возникали в конкретном проекте при его создании, будет возможным их устранение при создании в будущем референтных проектов.

В данной работе был проанализирован процесс выдачи ВТЗ между отделами трех филиалов организации: Нижегородским, Московским и Санкт-Петербургским проектными институтами. За основу была взята последовательность выдачи ВТЗ, демонстрирующая подходы к выдаче видов ВТЗ, принятые в трех филиалах АО «Атомэнергoproject». Последовательность видов ВТЗ представляет собой граф, состоящий из вершин (типы ВТЗ) и граней (последовательности выдачи). Всего количество видов ВТЗ для всех разрабатываемых институтами проектов составляет порядка 280 шт.

Те или иные ВТЗ оказывают влияние на выпуск рабочей (РД) и проектной (ПД) документации, разработку глав вероятностного анализа безопасности или получение лицензии на производство тех или иных работ (ВТЗ позволяют разработать анализы и поддерживающие отчёты, необходимые для получения лицензии). ВТЗ и документы влияния должны уточняться для конкретного проекта в зависимости от нормативной базы и требований проекта.

Процесс выдачи ВТЗ характеризуется отдающими ВТЗ сторонами, принимающими ВТЗ сторонами, а также ресурсами стоимости и трудочасов работ. На основании последовательности ВТЗ в рамках данной работы была проанализирована действующая в АО «Атомэнергoproject» информационная система «Planer», содержащая информацию о всех работах, производимых теми или иными сотрудниками компании. С помощью системы «Planer» были определены все возможные отдающие конкретные ВТЗ отделы трёх филиалов АО «Атомэнергoproject», затрачиваемые на ВТЗ трудочасы. С целью приведения общих сведений обо всех видах ВТЗ, подлежащих впоследствии статистической обработке, были взяты проекты Ханхикиви АЭС, Эльдабаа АЭС, Ленинградская-2 АЭС, Курская-2 АЭС, Суюдапу АЭС, Пакш-2 АЭС, Руппур АЭС, Тяньваньская АЭС, БРЕСТ-ОД-300, Аккую АЭС, Куданкулам АЭС и прочие (рис. 3).

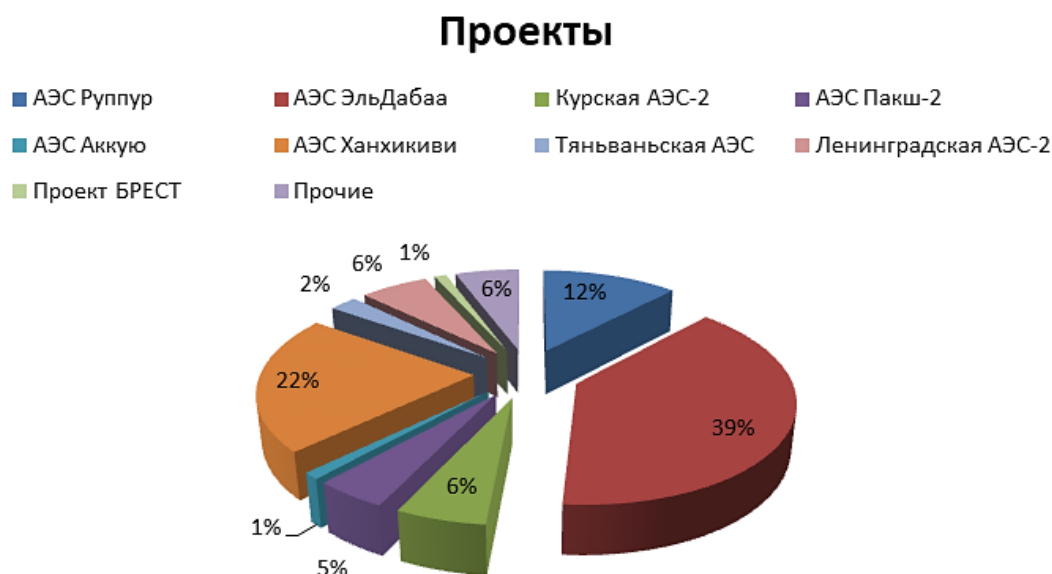


Рис. 3. Проекты, используемые для анализа выдачи ВТЗ

Fig. 3. Projects used to analyze the issuance of VTR

Каждый отдельный вид ВТЗ был взят с целью дальнейшего анализа для конкретного проекта за последние 10 лет. Результаты анализа ИС «Planer» были сведены в табличную форму, часть которой представлена в табл. 1, и использовались вместе с графом последовательности видов ВТЗ в качестве исходных данных.

Таблица 1  
Table 1

Фрагмент таблицы анализа видов ВТЗ для проектов АО «АЭП»  
Fragment of the table for analysis of types of ITT for projects of «AEP» JSC

Вид ВТЗ	Трудочасы	Участвующие отделы	Проект
ВТЗ 1	84	НижПИ/отдел 1 НижПИ/отдел 2	Курская АЭС-2
ВТЗ 2	252	СПБПИ/отдел 1 СПБПИ/отдел 2 СПБПИ/отдел 3	АЭС Ханхикиви
ВТЗ 3	12	НижПИ/отдел 3	АЭС Руппур
ВТЗ 4	68	НижПИ/отдел 3 НижПИ/отдел 1	АЭС Аккую
ВТЗ 5	6664	СПБПИ/отдел 2 СПБПИ/отдел 4 СПБПИ/отдел 5 СПБПИ/отдел 6 СПБПИ/отдел 7	АЭС ЭльДабаа

Количество взаимодействий отделов при выдаче ВТЗ задается как сочетание всех участвующих в процессе выдачи отделов определяется по формуле (1):

$$B_i = n_i^2, \quad (1)$$

где  $n$  – количество отделов, участвующих в выдаче  $i$ -го ВТЗ.

Для применения метода DSM необходимо задать гибкость каждого элемента последовательности. Для этого предлагается принять вес вершины, показывающий загруженность отделов при выдаче ВТЗ по формуле (2):

$$Weight_i = \frac{R_{di}}{B_i} [c - c], \quad (2)$$

где  $R_{di}$  – количество человеко-часов, затраченных по факту на выдачу того или иного ВТЗ всеми отделами, участвующими в выдаче.

Таким образом, была предложена формула расчета гибкости вершин графа последовательности выдачи ВТЗ, учитывающая загруженность отделов в процессе выполнения работы. Формула является приближенной и, как следствие, имеет большую погрешность. Для уточнения формулы необходимо учитывать количество причастных сотрудников и их персональную загруженность.

С целью применения метода DSM для анализа полученных в ходе исследования исходных данных, была построена матрица последовательности размерностью 280x280. По диагонали указана загруженность отделов, участвующих в выдаче ВТЗ, над диагональю – прямые связи, под диагональю – косвенные. Матрица последовательности (фрагмент приведен на рис. 4) помогает визуализировать общий процесс выдачи ВТЗ, позволяет учесть абсолютно все возможные типы ВТЗ, что, несомненно, способствует референции блоков в процессе создания новых проектов. Перечислим некоторые возможные действия над матрицей.

Во-первых, вероятно, что в ходе анализа матрицы, присвоив каждому его элементу коэффициент гибкости (частота выдачи каждого типа ВТЗ различных проектов), станет возможным анализировать наиболее вероятную последовательность выдачи ВТЗ и их объем, что позволит наиболее четко спланировать проект и анализировать его на всех стадиях.

Во-вторых, будет возможно обнаружение критического пути выдачи ВТЗ, что позволит сделать этот процесс более гибким. Зная, выдача каких именно типов ВТЗ является

наиболее ресурсоемкой, становится возможным оптимизация календарного графика планирования выдачи ВТЗ и, как следствие, создания проектной и рабочей документации.

В-третьих, зная конкретные сроки выдачи ВТЗ и необходимые ресурсы, которые также можно определить для каждого типа ВТЗ конкретного проекта, возможно построение и анализ диаграммы Ганта. Он может обеспечить графическое отображение плана всех видов работ, удобное для контроля и отслеживания качества выполненных работ [График Ганта как одна из моделей повышения эффективности ..., 2015].

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
1		565	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2		0	211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3		0	0	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4		0	0	0	228	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5		0	0	0	0	296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6		0	0	0	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7		0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8		0	0	0	0	0	0	0	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9		0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
37		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
38		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
39		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
40		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
41		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0</																									

Рис. 4. Фрагмент матрицы последовательности видов ВТЗ

Fig. 4. Fragment of the matrix of the sequence of types of ITT

На основании данной матрицы была построена матрица взаимодействия между отделами филиалов АО «Атомэнергопроект», имеющая размерность 62x62. С целью приведения наглядного материала матрица взаимодействия была разбита на три матрицы, характеризующих взаимодействия между конкретными отделами в трёх разных филиалах компании, и представлена на рис. 5, 6, 7. Взаимодействие между отделами в разных филиалах не учитывалось. Над диагональю матриц расположены прямые связи между отделами с весом, равным количеству взаимодействий между отделами по всем проектам в целом. В нижней части расположены обратные связи, теоретически принятые аналогичными прямым связям, исходя из логики взаимодействия между отделами при выполнении одного типа работы. По диагонали заданы суммарные взаимодействия различных отделов со всеми остальными.

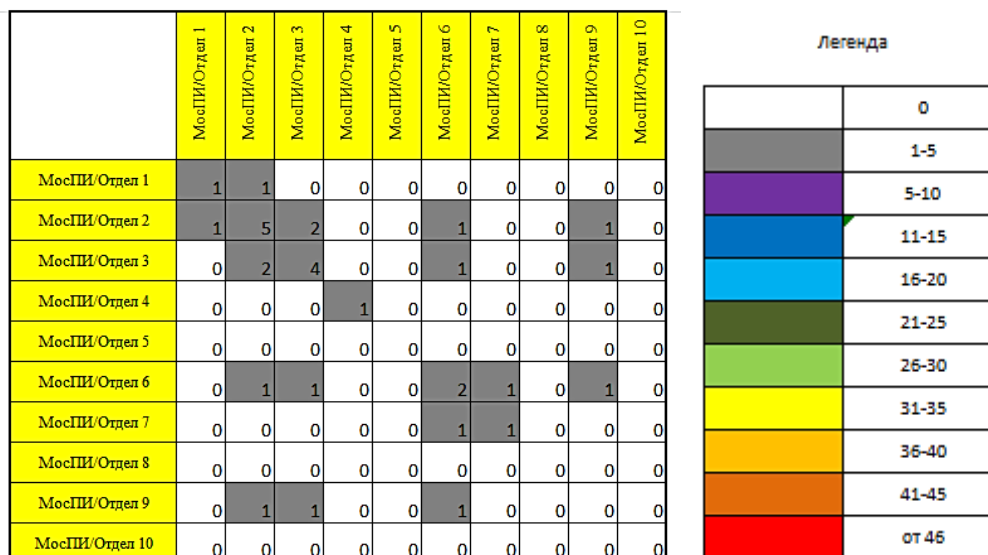


Рис. 5. Матрица взаимодействий отделов МосПИ в процессе выдачи ВТЗ и легенда цветов загрузки  
Fig. 5. Matrix of interactions between MosPI departments in the process of issuing ITT and legend of workload colors

	НижПИ/Отдел 1	НижПИ/Отдел 2	НижПИ/Отдел 3	НижПИ/Отдел 4	НижПИ/Отдел 5	НижПИ/Отдел 6	НижПИ/Отдел 7	НижПИ/Отдел 8	НижПИ/Отдел 9	НижПИ/Отдел 10	НижПИ/Отдел 11	НижПИ/Отдел 12	НижПИ/Отдел 13	НижПИ/Отдел 14	НижПИ/Отдел 15	НижПИ/Отдел 16	НижПИ/Отдел 17	НижПИ/Отдел 18	НижПИ/Отдел 19	НижПИ/Отдел 20
НижПИ/Отдел 1	42	4	4	5	1	1	0	3	3	3	4	1	4	0	6	0	0	0	0	3
НижПИ/Отдел 2	4	116	11	15	4	4	1	10	8	3	10	6	8	0	10	0	0	0	1	9
НижПИ/Отдел 3	4	11	75	11	2	4	1	6	4	4	5	3	5	0	8	0	1	0	0	5
НижПИ/Отдел 4	5	15	11	174	6	4	2	11	8	6	14	7	15	1	22	2	2	1	0	17
НижПИ/Отдел 5	1	4	2	6	46	1	1	3	3	1	4	2	4	0	5	0	2	0	0	7
НижПИ/Отдел 6	1	4	4	4	1	27	1	2	1	2	2	0	1	0	3	0	0	0	0	1
НижПИ/Отдел 7	0	1	1	2	1	1	12	2	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	1
НижПИ/Отдел 8	3	10	6	11	3	2	2	85	6	2	8	3	7	0	10	0	0	0	1	11
НижПИ/Отдел 9	3	8	4	8	3	1	0	6	86	4	7	4	9	0	10	0	0	0	0	7
НижПИ/Отдел 10	3	3	4	6	1	2	0	2	4	43	5	0	4	0	6	0	0	0	0	3
НижПИ/Отдел 11	4	10	5	14	4	2	0	8	7	5	122	6	10	0	11	0	0	0	0	9
НижПИ/Отдел 12	1	6	3	7	2	0	0	3	4	0	6	63	5	0	6	0	1	0	0	6
НижПИ/Отдел 13	4	8	5	15	4	1	1	7	9	4	10	5	127	0	15	1	1	1	0	11
НижПИ/Отдел 14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0	0	1
НижПИ/Отдел 15	6	10	8	22	5	3	2	10	10	6	11	6	15	1	166	2	3	1	2	17
НижПИ/Отдел 16	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	10	1	1	0	2
НижПИ/Отдел 17	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	1	17	1	1	3
НижПИ/Отдел 18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	6	0	1
НижПИ/Отдел 19	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	7	1
НижПИ/Отдел 20	3	9	5	17	7	1	1	11	7	3	9	6	11	1	17	2	3	1	1	128

Рис. 6. Матрица взаимодействий отделов НижПИ в процессе выдачи ВТЗ  
Fig. 6. Matrix of interactions between NizhPI departments in the process of issuing ITT



	СПбПИ/Отдел 1	СПбПИ/Отдел 2	СПбПИ/Отдел 3	СПбПИ/Отдел 4	СПбПИ/Отдел 5	СПбПИ/Отдел 6	СПбПИ/Отдел 7	СПбПИ/Отдел 8	СПбПИ/Отдел 9	СПбПИ/Отдел 10	СПбПИ/Отдел 11	СПбПИ/Отдел 12	СПбПИ/Отдел 13	СПбПИ/Отдел 14	СПбПИ/Отдел 15	СПбПИ/Отдел 16	СПбПИ/Отдел 17	СПбПИ/Отдел 18	СПбПИ/Отдел 19	СПбПИ/Отдел 20	СПбПИ/Отдел 21	СПбПИ/Отдел 22	СПбПИ/Отдел 23	СПбПИ/Отдел 24	СПбПИ/Отдел 25	СПбПИ/Отдел 26	СПбПИ/Отдел 27	СПбПИ/Отдел 28	СПбПИ/Отдел 29	СПбПИ/Отдел 30	СПбПИ/Отдел 31	СПбПИ/Отдел 32
СПбПИ/Отдел 1	31	0	0	2	1	1	3	0	2	0	0	1	3	2	0	3	0	1	3	0	2	2	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0
СПбПИ/Отдел 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СПбПИ/Отдел 3	0	0	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СПбПИ/Отдел 4	2	0	0	204	7	5	24	2	15	2	4	9	10	10	0	11	0	0	10	20	11	15	0	6	8	2	1	1	15	4	4	1
СПбПИ/Отдел 5	1	0	1	7	85	11	11	2	5	2	1	5	8	0	0	10	0	1	6	6	2	2	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
СПбПИ/Отдел 6	1	0	1	5	11	116	16	2	8	1	1	4	13	1	1	9	0	1	8	7	4	4	0	4	0	4	0	1	8	2	0	0
СПбПИ/Отдел 7	3	0	1	24	11	16	222	3	19	2	5	8	15	12	1	18	0	1	20	25	12	14	2	5	7	2	1	1	18	4	4	1
СПбПИ/Отдел 8	0	0	0	2	2	2	3	14	1	2	1	0	0	1	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
СПбПИ/Отдел 9	2	0	0	15	5	8	19	1	167	2	3	8	14	9	0	14	0	0	15	16	12	13	0	9	8	4	1	1	14	6	4	1
СПбПИ/Отдел 10	0	0	0	2	2	1	2	2	2	8	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
СПбПИ/Отдел 11	0	0	0	4	1	1	5	1	3	0	38	3	1	2	0	3	0	3	5	4	2	0	3	2	0	0	0	0	4	3	2	0
СПбПИ/Отдел 12	1	0	0	9	5	4	8	0	8	0	3	90	9	4	0	10	0	1	9	13	5	7	0	4	4	2	1	1	11	2	3	1
СПбПИ/Отдел 13	3	0	1	10	8	13	15	0	14	1	1	9	101	3	0	11	0	1	14	9	9	9	0	5	4	4	0	0	13	3	1	0
СПбПИ/Отдел 14	2	0	0	10	0	1	12	1	9	0	2	4	3	91	0	8	0	0	6	10	8	11	0	4	9	0	1	1	10	3	4	1
СПбПИ/Отдел 15	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СПбПИ/Отдел 16	3	0	0	11	10	9	18	1	14	1	3	10	11	8	0	123	0	1	12	22	13	12	0	10	7	6	1	1	16	5	4	1
СПбПИ/Отдел 17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СПбПИ/Отдел 18	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
СПбПИ/Отдел 19	3	0	0	10	6	8	20	1	15	1	3	9	14	6	0	12	0	1	77	14	10	10	0	6	6	3	1	1	11	4	2	1
СПбПИ/Отдел 20	0	0	0	20	6	7	25	2	16	1	5	13	9	10	0	22	0	0	14	115	14	17	2	11	7	6	1	1	18	6	5	1
СПбПИ/Отдел 21	2	0	0	11	2	4	12	0	12	0	4	5	9	8	0	13	0	0	10	14	88	14	0	9	8	4	0	0	15	7	5	0
СПбПИ/Отдел 22	2	0	0	15	2	4	14	0	13	1	2	7	9	11	0	12	0	0	10	17	14	75	0	8	11	4	0	0	16	5	5	0
СПбПИ/Отдел 23	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СПбПИ/Отдел 24	0	0	0	6	0	4	5	0	9	0	3	4	5	4	0	10	0	0	6	11	9	8	0	126	5	6	0	0	9	6	4	0
СПбПИ/Отдел 25	2	0	0	8	0	0	7	0	8	0	2	4	4	9	0	7	0	0	6	7	8	11	0	5	113	2	0	0	10	3	4	0
СПбПИ/Отдел 26	0	0	0	2	0	4	2	0	4	0	0	2	4	0	0	6	0	0	3	6	4	4	0	6	2	57	0	0	5	2	1	0
СПбПИ/Отдел 27	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0	0	0
СПбПИ/Отдел 28	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	11	0	0	0	1
СПбПИ/Отдел 29	3	0	0	15	6	8	18	1	14	1	4	11	13	10	0	16	0	1	11	18	15	16	0	9	10	5	0	0	228	6	5	0
СПбПИ/Отдел 30	0	0	0	4	0	2	4	0	6	0	3	2	3	3	0	5	0	0	4	6	7	5	0	6	3	2	0	0	6	86	3	0
СПбПИ/Отдел 31	0	0	0	4	0	0	4	1	4	0	2	3	1	4	0	4	0	0	2	5	5	5	0	4	4	1	0	0	5	3	66	0
СПбПИ/Отдел 32	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	12

Рис. 7. Матрица взаимодействий отделов СПбПИ в процессе выдачи ВТЗ  
Fig. 7. Matrix of interactions between SPbPI departments in the process of issuing ITT

Матрица взаимодействий позволяет оценить и проанализировать связи между выдающими ВТЗ отделами без учёта принимающих отделов. Для каждого рассматриваемого отдела проектных институтов было определено суммарное количество взаимодействий в процессе выдачи всех ВТЗ из рассматриваемого диапазона. Были рассмотрены как прямые связи между отделами, так и обратные. Данная матрица предоставляет разработчику проекта исходную информацию для планирования в удобной форме и является мощным инструментом для планирования и анализа текущей ситуации проекта. По диагонали указано суммарное количество взаимодействия отдела с остальными, что также позволяет проанализировать его персональную загруженность.

Во-первых, построенная матрица визуально демонстрирует объем взаимодействий между выдающими ВТЗ отделами, что может быть использовано в обнаружении более загруженных отделов. Это позволит более грамотно распределить производственные мощности и тем самым качественнее спланировать проект.

Во-вторых, анализируя общую картину, становится возможным определить области потенциального конфликта в процессе выполнения работ, прогнозировать возможные узкие места проекта и заранее воздействовать на проблему до её возникновения.

В-третьих, матрица взаимодействий позволяет заинтересованным сторонам быстро просматривать текущее состояние проекта, облегчая выявление тенденций и предвидение



проблем, которые могут возникнуть во время выполнения ВТЗ на референтных проектах [Методики оценки проекта в зависимости от стадии жизненного цикла проекта, 2019].

Было рассмотрено 20 отделов НижПИ, 10 отделов МосПИ и 32 отдела СпбПИ. По результатам анализа были определены значения и соответствующие им отделы по критерию 1 «Самое загруженное взаимодействие со всеми отделами за последние 10 лет по рассматриваемым ВТЗ», а также по критерию 2 «Самая большая загруженность при совместном взаимодействии за последние 10 лет по рассматриваемым ВТЗ». Результаты анализа по предложенным критериям приведены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Результаты анализа матрицы взаимодействия  
Results of interaction matrix analysis

Место	Критерий 1	Отдел	Критерий 2	Отдел 1	Отдел 2
Нижегородский проектный институт					
1	174	НижПИ/Отдел 4	22	НижПИ/Отдел 4	НижПИ/Отдел 15
2	166	НижПИ/Отдел 15	17	НижПИ/Отдел 15	НижПИ/Отдел 20
				НижПИ/Отдел 4	НижПИ/Отдел 20
3	128	НижПИ/Отдел 20	15	НижПИ/Отдел 2	НижПИ/Отдел 4
				НижПИ/Отдел 13	НижПИ/Отдел 15
				НижПИ/Отдел 13	НижПИ/Отдел 4
Московский проектный институт					
1	5	МосПИ/Отдел 2	2	МосПИ/Отдел 2	МосПИ/Отдел 3
2	4	МосПИ/Отдел 3	1	МосПИ/Отдел 1	МосПИ/Отдел 2
				МосПИ/Отдел 2	МосПИ/Отдел 6
				МосПИ/Отдел 3	МосПИ/Отдел 6
				МосПИ/Отдел 2	МосПИ/Отдел 9
				МосПИ/Отдел 3	МосПИ/Отдел 9
				МосПИ/Отдел 6	МосПИ/Отдел 7
МосПИ/Отдел 6	МосПИ/Отдел 9				
Место	Критерий 1	Отдел	Критерий 2	Отдел 1	Отдел 2
Санкт-Петербургский проектный институт					
1	228	СпбПИ/Отдел 29	25	СпбПИ/Отдел 20	СпбПИ/Отдел 7
2	222	СпбПИ/Отдел 7	24	СпбПИ/Отдел 4	СпбПИ/Отдел 7
3	204	СпбПИ/Отдел 4	22	СпбПИ/Отдел 20	СпбПИ/Отдел 16

### Заключение

В ходе исследования была показана целесообразность применения метода DSM для анализа взаимодействий структур внутренних заинтересованных сторон. Таким образом, становится возможным более точно планировать проект, учитывая сложные взаимоотношения между структурами организации. Использование метода поможет определить, какие части проекта зависят от других и как они влияют на организацию в целом. С помощью DSM становится возможным идентифицировать роли внутренних заинтересованных сторон в проекте и определить возможные конфликты между ними. Это позволяет определить критические моменты, которые могут привести к задержкам в проекте, и разработать соответствующие стратегии управления рисками [Проблема выбора стратегии управления рисками..., 2019].

Анализ взаимодействия между заинтересованными сторонами в процессе создания проекта является оправданным вложением в его оптимизацию. Создав исходную базу взаимодействия между отделами в процессе выполнения той или иной работы, становится воз-

возможным более точно планировать проект, учитывая сложные взаимоотношения между структурами организации. Метод DSM позволяет наиболее наглядно показать процессы в ходе создания сложных инженерных объектов. Помимо экономической прибыли также существует вклад в социальное развитие компании. Применение метода увеличивает научную обоснованность проектов, что позволяет сделать их более гибкими и оптимизированными.

### Список источников

- Поляков А.А. 2007. Управление. Менеджмент. Информационные технологии. Информационные системы. Москва: МАКС Пресс, 134 с.
- Иванова Е.А., Акопян А.Р., Литовченко С.Е. 2004. Корпоративный социальный отчет : как правильно рассказать о вкладе Вашей компании в развитие общества: рекомендации Ассоц. менеджеров. Москва: Ассоц. менеджеров, 55 с.

### Список литературы

- Веселов К.С. 2017. Исследование взаимодействия и соперничества отделов компании в рамках разработки нового продукта на примере наукоемких российских компаний. *Инновации*, 5(223): 105-112.
- Вовк И.В. 2015. К вопросу о роли согласования интересов заинтересованных сторон проекта. В сборнике: Россия в новых социально-экономических и политических реалиях: проблемы и перспективы развития. Материалы IV Международной межвузовской научно-практической конференции студентов магистратуры. Под редакцией: Т.Г. Тумаровой, Н.М. Фомичевой, И.И. Добросердовой: 209-211.
- Вьюгина Л.К., Азимов У. 2015. График Ганта как одна из моделей повышения эффективности управления бизнес-процессами. *Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов*, 11(113): 43-44.
- Дементенко М.А. 2017. Увеличение гибкости финансового планирования через структуризацию расходов и затрат предприятия. В сборнике: Научные механизмы решения проблем инновационного развития. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях: 67-72.
- Кокорева К.А., Черненькая Л.В. 2019. Методология проектирования по функционально-стоимостным параметрам АЭС / В сборнике: Организационно-управленческие и социокультурные инновации в развитии цифровой экономики и систем электронного образования: 140-143.
- Кононенко И.В., Харазий А.В. 2012. Разработка метода анализа информации для выбора оптимальной методологии управления проектом. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 1, 13 (55): 4-7.
- Копытов И.И., Ноздрин Г.Н., Былкин Б.К. 2007. Разработка проектной документации для вывода из эксплуатации энергоблока АЭС: методические аспекты. *Электрические станции*, 8: 13-17.
- Малинин В.Л., Тарасова И.И. 2019. Методики оценки проекта в зависимости от стадии жизненного цикла проекта. *Экономика и предпринимательство*, 11(112): 683-688.
- Мехова А.П., Кузашев А.Н. 2019. Проблема выбора стратегии управления рисками в зависимости от обстоятельств, связанных с конкретным проектом. В сборнике: Устойчивое развитие территорий: теория и практика. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: 92-94.
- Мусса И. 2022. К вопросу о взаимодействии с заинтересованными сторонами: проблемы участия заинтересованных сторон в корпоративном управлении. *Правовой альманах*, 2 (15): 22-30.
- Раменская Л.А., Галимзянов М.Д. 2022. Управление заинтересованными сторонами в комплексных проектах. *Beneficium*, 1 (42): 16-25.
- Резниченко Л.В. 2020. Стили разрешения конфликтов между сотрудниками организации и факторы их выбора. *Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета*, 2 (17): 125-129.
- Рожков Д.А., Рожкова О.А. 2023. Анализ процедуры разработки, согласования и утверждения технического задания для разработки системы поддержки создания технического задания. В сборнике: Лучшая научная работа 2023. Сборник статей X Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза: 13-19.

- Чертov В.А., Шугай О.Е. 2020. Урегулирование конфликта интересов между участниками строительных проектов путем оптимизации распределения ресурса. Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 8, 2(29). URL: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors_2_20_1.pdf) (дата обращения 10.09.2023) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.004
- Шашкин А.И., Ширяев М.М. 2008. Календарное планирование работ по проекту на основе нечетких исходных данных. Вестник Самарского государственного университета. Естественная серия, 3(62): 208-216.
- Frick Joerg et al. 2016. Using design structure matrices to improve project management: A review and extension. IEEE Transactions on engineering management, 63(3): 334-346.
- Wen Feng, Edward F, Oliver de Weck, Rene Keller, Bob Robinson. 2010. Dependency structure matrix modelling for stakeholder value networks. 12th International Dependency and Structure Modelling Conference, Cambridge UK, 14 p.

## References

- Veselov K.S. 2017. Research of interaction and rivalry of company departments within the framework of new product development on the example of high-tech Russian companies. Innovations, 5(223):105-112.
- Vovk I.V. 2015. To the question of the role of coordinating the interests of the project stakeholders. In the collection: Russia in new socio-economic and political realities: problems and prospects of development. Materials of the IV International Interuniversity Scientific and Practical Conference of graduate students. Edited by: T. G. Tumarova, N. M. Fomicheva, I.I. Dobroserdova: 209-211.
- Vyugina L.K., Azimov U. 2015. Gantt graph as one of the models for improving the efficiency of business process management. Journal of Scientific Publications of Postgraduates and Doctoral Students, 11(113):43-44.
- Dementienko M.A. 2017. Increasing the flexibility of financial planning through the structuring of costs and expenses of the enterprise. In the collection: Scientific mechanisms for solving problems of innovative development. Collection of articles of the international scientific and practical conference: in 4 parts: 67-72.
- Kokoreva K.A., Chernenkaya L.V. 2019. Design methodology based on the functional and cost parameters of nuclear power plants/ In the collection: Organizational, managerial and socio-cultural innovations in the development of the digital economy and e-education systems: 140-143.
- Kononenko I.V., Kharaziy A.V. 2012. Development of an information analysis method for choosing the optimal project management methodology. Eastern European Journal of Advanced Technologies, 1, 13 (55): 4-7.
- Kopytov I.I., Nozdrin G.N., Bylkin B.K. 2007. Development of design documentation for decommissioning of a nuclear power plant unit: methodological aspects. Electric stations, 8: 13-17.
- Malinin V.L., Tarasova I.I. 2019. Methods of project evaluation depending on the stage of the project life cycle. Economics and Entrepreneurship, 11(112): 683-688.
- Mekhovova A.P., Kuzyashev A.N. 2019. The problem of choosing a risk management strategy depending on the circumstances associated with a particular project. In the collection: Sustainable development of territories: theory and practice. Materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation: 92-94.
- Moussa I. 2022. On the issue of interaction with stakeholders: problems of stakeholder participation in corporate governance. Legal Almanac, 2 (15):22-30.
- Ramenskaya L.A., Galimzyanov M.D. 2022. Managing stakeholders in complex projects. Beneficium, 1 (42): 16-25.
- Reznichenko L.V. 2020. Styles of conflict resolution between employees of the organization and factors of their choice. Bulletin of Young Scientists and Specialists of Samara University, 2 (17): 125-129.
- Rozhkov D.A., Rozhkova O.A. 2023. Analysis of the procedure for the development, approval and approval of the terms of reference for the development of a support system for the creation of the terms of reference. In the collection: The best scientific work of 2023. Collection of articles of the X International Research Competition, Penza: 13-19.
- Chertov V.A., Shugai O.E. 2020. Settlement of conflicts of interest between participants in construction projects by optimizing resource allocation. Modeling, Optimization and Information Technology,

8, 2(29). URL: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/SigarevSoavtors_2_20_1.pdf) (accessed 10.09.2023) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.004

Shashkin A.I., Shiryayev M.M. 2008. Scheduling of project work based on fuzzy source data. Bulletin of Samara State University. Natural Science Series, 3(62):208-216.

Frick Joerg et al. 2016. Using design structure matrices to improve project management: A review and extension. IEEE Transactions on engineering management, 63(3): 334-346.

Wen Feng, Edward F, Oliver de Weck, Rene Keller, Bob Robinson. 2010. Dependency structure matrix modelling for stakeholder value networks. 12th International Dependency and Structure Modelling Conference, Cambridge UK, 14 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 16.09.2023

Поступила после рецензирования 26.10.2023

Принята к публикации 27.10.2023

Received September 16, 2023

Revised October 26, 2023

Accepted October 27, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Леонтьев Николай Яковлевич**, доктор экономических наук, профессор кафедры «Проектирование сложных инженерных объектов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева; начальник отдела научно-технического развития, АО «Атомэнергопроект», г. Нижний Новгород, Россия

**Nikolay Ya. Leontyev**, Doctor of Economics. Professor of the Department of «Design of Complex Engineering Objects», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Head of the Department of Scientific and Technical Development, Atomenergoproekt JSC, Nizhny Novgorod, Russia.

**Самаров Дмитрий Андреевич**, ассистент кафедры «Проектирование сложных инженерных объектов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева; специалист 1-й категории отдела научно-технического развития, АО «Атомэнергопроект», г. Нижний Новгород, Россия

**Dmitry A. Samarov**, Assistant, Department «Design of complex engineering objects», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Specialist of the 1st category Department of Scientific and Technological Development JSC Atomenergoproekt, Nizhny Novgorod, Russia.

**Абрамов Антон Александрович**, магистрант кафедры «Атомные и тепловые станции», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева; инженер Отдела реакторных отделений, АО «Атомэнергопроект», г. Нижний Новгород, Россия

**Anton A. Abramov**, Undergraduate Student, Department «Nuclear and Thermal Plants», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Engineer, Department of reactor departments of Atomenergoproekt JSC, Nizhny Novgorod, Russia.

**Лукашевич Алена Олеговна**, магистрант кафедры «Атомные и тепловые станции», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

**Alena O. Lukashevich**, Undergraduate Student, Department of «Nuclear and Thermal Plants», Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.

# ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 338(075.8)

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-806-812

## О значимости стратегии устойчивого развития промышленного комплекса России в турбулентной экономической среде

**Авилова В.В.**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
Россия, 420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68  
E-mail: avilovavv@mail.ru

**Аннотация.** Научные дискуссии, посвященные корректировке стратегий развития крупных промышленных компаний России в условиях санкций, развернулись вокруг целесообразности реализации Целей устойчивого развития, выдвинутых Организацией Объединенных Наций. Триггерами данных исследований послужили сужение границ международного ландшафта, на котором компаниям важен имидж социально-ответственного и устойчивого бизнеса, привлекательного для инвесторов и покупателей, сочетающееся с возможностью снижения расходов на экологические, управленческие и социальные проекты. Необходим анализ важности соблюдения принципов ESG для новых государств-партнеров российских компаний. Поскольку исследование связано с фундаментальными вопросами целеполагания развития промышленности, используются аналитические и экспертные методы для оценки существующих тенденций. Ставится задача выработки рекомендаций относительно судьбы стратегии устойчивого развития в производственном секторе Российской Федерации.

**Ключевые слова:** промышленный комплекс, стратегия устойчивого развития, проблемы и значимость реализации принципов ESG

**Для цитирования:** Авилова В.В. 2023. О значимости стратегии устойчивого развития промышленного комплекса России в турбулентной экономической среде. Экономика. Информатика, 50(4): 806–812. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-806-812

## On the Importance of the Strategy of Sustainable Development of the Industrial Complex of Russia in a Turbulent Economic Environment

**Vilora V. Avilova**

Kazan National Research Technological University  
68 K. Marx St, Kazan, Tatarstan, 420015, Russia  
E-mail: avilovavv@mail.ru

**Abstract.** Scientific discussions devoted to adjusting the development strategies of large industrial companies in Russia in the context of sanctions revolved around the expediency of implementing the Sustainable Development Goals put forward by the United Nations. The triggers for these studies were the narrowing of the boundaries of the international landscape, where companies need the image of a socially responsible and sustainable business that is attractive to investors and customers, combined with the possibility of reducing costs for environmental, management and social projects. It is necessary to

analyze the importance of compliance with the ESG principles for the new partner countries of Russian companies. Since the study is related to the fundamental issues of goal setting for industrial development, analytical and expert methods are used to assess existing trends. The task is to develop recommendations regarding the fate of the sustainable development strategy in the manufacturing sector of the Russian Federation.

**Keywords:** industrial complex, sustainable development strategy, problems and significance of the implementation of the ESG principles

**For citation:** Avilova V.V. 2023. On the Importance of the Strategy of Sustainable Development of the Industrial Complex of Russia in a Turbulent Economic Environment. Economics. Information technologies, 50(4): 806–812 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-806-812

---

## Введение

2021 год стал для промышленности России прорывным в формировании и реализации стратегии устойчивого развития, нацеливающей ведущие компании на гармонизацию экономических задач с экологическими и социальными на основе прозрачной отчетности в соответствии с международными стандартами [Климатическая повестка 2030]. Однако 2022 год внес корректировки в ряд трендов развития за счет смены приоритетов из-за новых требования внутренней мезосреды. В 2023 году промышленность России столкнулась с новыми сложностями, к которым относятся смена технологических партнеров, ухудшение многих цепочек поставок, сложности приобретения оборудования, проблемы с оплатой. Из пространства прозрачной отчетности и борьбы за рейтинги ESG вышло около 30 промышленных гигантов, однако оставшиеся приверженцы принципов устойчивого развития заметно усовершенствовали комплекс решений по продвижению к целям устойчивого развития. В этой связи необходимо выявлять наименее развитые ниши в системе устойчивого развития и сформулировать рекомендации, реализация которых позволит промышленным компаниям добиться оптимального сочетания традиционных трендов инновационного развития с международными стандартами. Необходимо оценить влияние ESG-политики крупных компаний России на поставщиков и подрядчиков, а также уровень обремененности промышленности страны ESG-фактором. Прежде всего необходимо изучение лучших российских практик по созданию комплексной системы управления ESG-трансформацией и их тиражирование в масштабе промышленного комплекса, включая новые принципы логистики, экологического менеджмента, социальное развитие, внедрение основ циркулярной экономики, увеличение доли возобновляемых ресурсов [Авилова, 2021]. В результате исследования были выявлены основные тенденции в развитии феномена ESG-повестки для крупных российских промышленных компаний – включение целей устойчивого развития в стратегию новых предприятий, рост числа проектов и их масштабов в сфере устойчивого развития в промышленности, увеличение числа компаний, публикующих отчетность о результатах в сфере устойчивого развития, использование ESG-критериев при выборе поставщиков и подрядчиков [Климатическая повестка России: реагируя на международные вызовы, 2021]. Выявлен тренд на ужесточение ESG составляющей при сотрудничестве. Доказано, что многие сегодняшние рекомендации в ближайшем будущем превратятся в обязательные требования.

## Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются крупные промышленные компании России, осознанно выбравшие стратегией развития ESG-трансформацию бизнеса, которая невозможна без консолидации множества вовлеченных в процесс сторон – партнеров по цепочке поставок, государства, выпускающего соответствующие законы и стандарты, человеческих ресурсов, осознанных потребителей. Подобное исследование требует применения

экосистемного подхода, базирующегося на принципах взаимосвязи всех задействованных в процесс элементов. При отсутствии массива теоретических исследований по теме, экосистемный подход используется как экспериментальная методология изучения нового явления на основе взаимосвязи, комплексности, саморазвития и самоорганизации, позволяющих отечественной промышленности быстро адаптироваться к изменяющимся внешним условиям [Изотова, Гаврилюк, 2022]. Для оценки целесообразности ESG-трансформации применяется причинно-следственный метод исследования, сравнительный, компаративный анализ российского и зарубежного опыта трансформации, системно-структурный, теоретический (анализ и синтез).

### Результаты и их обсуждение

Оценка уровня внедрения принципов ESG в промышленности России продемонстрировала доминирование этой стратегии среди крупнейших компаний страны, привлекающих иностранные инвестиции и связанных с внешним рынком. В отраслевом разрезе лидируют компании, функционирующие в зоне экологических рисков, традиционно требующих управления в рамках ESG- повестки. Речь идет, прежде всего, о нефтегазовых, металлургических, энергетических и горнодобывающих гигантах [Сафонов, 2020]. По экспертным оценкам Российского союза промышленников и предпринимателей (РСПП) ренкинг нефтегазовых компаний с точки зрения интеграции климатической повестки выглядит так: «Татнефть», «СИБУР Холдинг», «ЛУКОЙЛ», «НОВАТЭК», «Газпром», НК «Роснефть» [ПАО «СИБУР Холдинг»]. РСПП в рамках собственного рейтинга компаний по раскрытию информации об интеграции ЦУР ООН присваивает индексы по таким параметрам, как «Ответственность и открытость» или «Вектор устойчивого развития». Так, у компании «Татнефть» они равны соответственно уровням А и В [Нефть и жизнь. Продолжая устойчивое развитие, 2023]. Рейтинги ESG оценивают, в какой степени ключевые решения компаний ориентированы на устойчивое развитие в экологической, социальной и экономической сферах. Так, рейтинг экологической открытости компании оценивает степень ее воздействия на окружающую среду. Рэнкинг АКРА (Аналитического кредитного рейтингового агентства) анализирует интегрированность деятельности компаний с климатической повесткой на основе объемов и достоверности нефинансовой отчетности, а также масштабов и результативности программы энергосбережения. В рамках стратегии устойчивого развития сформулировано несколько целей, одной из которых является достижение к 2050 году углеродной нейтральности. Целесообразно рекомендовать для тиражирования такой инструмент, разработанный и внедренный в компании «Татнефть», как программный модуль управления парниковыми газами, включающий не только реализацию мер по снижению выбросов углекислого газа, но отталкивающийся от расчетов выбросов по всем технологическим процессам Score 1, 2, 3 и формирование отчетности по мировым стандартам для партнеров. В результате уже сейчас доля утилизации попутного нефтяного газа составила 98,1% [Гайда, 2021].

Напрямую с Целями устойчивого развития ООН сопряжен рейтинг, разработанный РСПП, ранжирующий компании по объемам информации, раскрытой в формате интеграции с ЦУР ООН.

В промышленности Российской Федерации стали проводиться конкурсы компаний, лидирующих в динамизме, ответственности и устойчивости бизнеса.

Российская промышленность использует и международный уровень рейтингов, например, Transition Pathway Initiative (TPR), занимая достойные места. Необходимо отметить, что российский подход к ESG отличается от европейского в связи с отличиями регулирования и законодательства, формами отчетности, инвестиционными требованиями, отношением к климатическим изменениям, привычным для страны уровнем прозрачности отчетности и, конечно, культурными различиями [Avilova, 2019].

В нашей стране действует ряд законодательных актов, регулирующих достижения компаний в области защиты окружающей среды, социальной ответственности и корпоративного управления. К ним относятся Федеральный закон «Об обязательной корпоративной отчетности», Федеральный закон «Об охране окружающей среды», Федеральный закон «О благотворительной деятельности и добровольчестве», Кодекс корпоративного управления. Кроме того, в России приняты нормативные акты и стандарты, разработанные профильными органами государственной власти, содержащие требования к энергоэффективности, экологической безопасности и прочим компонентам устойчивого развития. Большая часть этих документов принадлежит Ростехнадзору.

Тренд на принципы устойчивого развития распространился и на новые для России зарубежные (преимущественно азиатские) и локальные рынки, кредиторов и инвесторов. Выявлено, что наряду с собственными научно-исследовательскими разработками, призванными обеспечить технологический суверенитет, развитием инфраструктуры и нефтесервиса, конкурентным преимуществом становится соблюдение принципов устойчивого развития.

В России для трансформации бизнеса разработаны и внедрены и другие стандарты, регулирующие и оценивающие ESG-деятельность компаний [Salikhov, 2020]. К ним относятся глобальные стандарты отчетности, стандарты экологической сертификации, национальные индексы устойчивого развития, основы законодательства. Кроме того, социально ответственные компании выходят с собственными инициативами, нацеленными на совершенствование управления. Сюда относится кодекс корпорации, принципы ответственного инвестирования [Информационные материалы о национальном проекте «Экология»].

Перемещение фокуса международной деятельности крупных промышленных компаний России на Восток не снижает важности их ESG-трансформации, поскольку и там растет уровень требований к соблюдению принципов устойчивого развития, климатической повестки и социальной ответственности. Их выполнение – важный фактор формирования репутации фирмы и снижения рисков [Порфирьев, 2021].

Наиболее значимым внешнеторговым партнером промышленных компаний России является Китай. Таможенная статистика по группе «Машиностроение» (за полугодие, млн долл. США) наглядно демонстрирует изменения масштабов взаимодействия со странами Евросоюза и Китая: 2021 ЕС – 13238 (49%), Китай – 3394 (12%); 2022 – ЕС – 9424 (40%), Китай – 5085 (22%); 2023 – ЕС – 4225 (-68%); Китай – 11302 (233%). При взаимодействии с Китаем необходимо учитывать местные регуляторные рамки ESG-трансформации. К ним относятся пятилетние планы по экономическому и социальному развитию, требования к обязательной отчетности, а также закон о предотвращении загрязнения окружающей среды. В результате китайский подход к ESG отличается от европейского прежде всего масштабами государственного регулирования, приоритетами, стандартами и формами отчетности.

Общепризнанно, что переход на стандарты ESG является прерогативой крупных промышленных компаний [Порядин, Белоглазова, 2021]. Однако этот процесс начал проникать и в среду средних и малых фирм, являющихся поставщиками для крупного бизнеса. Прежде всего речь идет о требованиях к стандартам, соответствующим требованиям ответственного бизнеса, хотя на международном уровне нет обязательных нормативов по ESG для малого бизнеса. На сегодня наиболее полезными из разработанных могут быть ISO 26000 Цели устойчивого развития и климатически ориентированное финансирование. Кроме того, необходимы внутренние схемы управления рисками.

Многие требования по обеспечению устойчивого развития являются общими внутри одной отрасли. Следовательно, придерживающиеся их поставщики могут, широко озвучивая их, расширить круг своих клиентов и повысить уровень конкурентоспособности. И, наоборот, несоблюдение рекомендаций устойчивого развития способно привести компании к вытеснению с рынка. Ряд отраслевых требований нуждается в крупных инвестициях,



для частичного сокращения которых целесообразно предложить внедрение унифицированных отраслевых стандартов, регламентирующих цепочки поставок.

Анализ показал, что к числу наиболее распространенных требований и рекомендаций относятся снижение уровня выбросов парниковых газов и негативного воздействия на окружающую среду, охрана труда и своевременная выплата заработной платы. Нередко крупные компании дополняют законодательные требования сверхтребований, а меры законодательного регулирования – мерами сверхрегулирования. В этой связи важен подбор основных источников, содержащих запросы гигантов промышленности к выполнению требований ESG [Башмаков, 2020]. Прежде всего, это отчеты по устойчивому развитию, где содержатся основные документы, регламентирующие деятельность по устойчивому развитию и требования к контрагентам. Вторым блоком материалов является свод стандартов и руководств, например, по качеству, по антикоррупционной деятельности, по охране окружающей среды. Важен аудит типовых контрактов, так как ряд крупных компаний начали в них прописывать требования ESG. Для цепочек поставок важны Кодексы деловой этики, содержащие управленческие требования, и Кодексы поведения поставщиков, содержащие основные рекомендации для контрагентов. Итак, анализ позволяет делать выводы о возрастании места ESG-повестки в промышленности России. В блоке «Е» речь идет об экологическом менеджменте, включающем политику в области охраны окружающей среды, требования к поставщикам, образовательные экологические программы, мониторинг воздействия на окружающую среду (оценка атмосферного загрязнения, чистота водопользования и землепользования, сохранение биоразнообразия, обращение с отходами и упаковкой), участие в национальных и международных рабочих группах по адаптации к изменению климата [Руднева, Гурьева, Елисеева, Краснова, 2021]. В блоке «S» – социальные инвестиции и развитие региона присутствия, благотворительность, взаимодействие с местным сообществом, развитие человеческого капитала (социальная поддержка, кадровая политика, условия труда). В блоке «G» – уровень раскрытия и качество финансовой и нефинансовой информации, внутренний аудит, управление рисками, влияние и удовлетворение интересов стейкхолдеров, управление в области устойчивого развития. Банк России рекомендует крупным компаниям раскрывать информацию о цепочках поставок, в том числе для оценки ESG-рисков. В руководстве для эмитента Московская биржа определяет устойчивые цепочки поставок как обязательный элемент ESG-стратегии. В России создан ESG Альянс – деловое объединение, занимающееся повесткой устойчивого развития и объединяющее компании, которые уже внедрили эти принципы в свою бизнес-модель или осознанно встают на путь ESG-трансформации [Ананькина, 2021].

Таким образом, экономическая среда, в которой функционируют крупные промышленные компании, делает необходимым при разработке стратегии трансформации ориентироваться на принципы устойчивого развития.

### **Заключение**

Перемещение традиционных рынков сбыта крупных промышленных компаний России на восток не влечет их отказа от реализации принципов устойчивого развития, разработанных Организацией Объединенных Наций, поскольку следование канонам социально ответственного бизнеса провозглашается в современных условиях в глобальном масштабе. Ведущие производители страны активизируют работу по устойчивому развитию, достигая лидирующих в этом вопросе позиций на мировом уровне. К их числу можно отнести компании «Татнефть», СИБУР, Лукойл. Анализ показывает, что часть Целей устойчивого развития близка к реализуемым в стране национальным проектам, ориентируя предприятия на климатическую и экологическую ответственность, развитие социальной среды, прозрачную неэкономическую отчетность, что в итоге позитивно влияет на репутацию компаний, повышает их конкурентоспособность и ведет к устойчивому развитию. Поскольку ESG-трансформации в каждой из стран-партнеров России имеют спе-

цифические черты, необходима гармонизация базовых требований с их законами и стандартами. Российская промышленность уже работает в рамках ряда принятых в стране законов и стандартов, нацеливающих производителей на выполнение принципов ESG, указанных в статье. Проблемой ESG-трансформации промышленности является доминирование в этом процессе крупнейших производителей при слабой вовлеченности среднего и малого производств. Анализ показал предпосылки и пути реализации Целей устойчивого развития для небольших компаний, связанных с гигантами цепочками поставок, обуславливающими необходимость выполнения требований ESG-критериев для расширения круга их возможностей и получения конкурентных преимуществ. Выявлено, что компании-приверженцы ESG-принципов демонстрируют более быстрый рост продаж, чем другие производители, работающие на этом сегменте. Более того, внедрение ESG-принципов позволяет снизить издержки на 5-10% и повысить эффективность работы.

Выявлен тренд на ужесточение ESG-составляющей при заключении международных контрактов и проявление аналогичных требований к местным партнерам. Следовательно, промышленные компании, игнорирующие принципы устойчивого развития, имеют риск вытеснения с рынка. Выявлен консолидированный запрос крупного бизнеса, стремящегося объединить усилия на пути перехода к устойчивой модели развития.

### Список источников

- Гайда И.В. Декарбонизация в нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России. / И.В. Гайда, Т.А. Митрова, Е. Грушевенко и др. // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. – 2021. – 158 с.
- Информационные материалы о национальном проекте «Экология». URL: <http://government.ru/info/35569/> (дата обращения: 04.09.2023).
- Климатическая повестка 2030. Russiancouncil.ru. URL: <https://russiancouncil.ru/en/climate2030> (дата обращения: 04.09.2023).
- Климатическая повестка России: реагируя на международные вызовы. – 2021. URL: <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-povestka-rossii-reagiruya-na-mezhdunarodnye-vyzovy/> (дата обращения: 04.09.2023).
- Нефть и жизнь. Продолжая устойчивое развитие. – 2023. – № 1. – С. 4-15. URL: <https://www.tatneft.ru/uploads/publications/647dec663be6a292889373.pdf> (дата обращения: 04.09.2023).
- ПАО «СИБУР Холдинг». URL: [http://investors.sibur.com/results-centre/historical-data-book.aspx?sc\\_lang=ru-RU](http://investors.sibur.com/results-centre/historical-data-book.aspx?sc_lang=ru-RU). (дата обращения: 04.09.2023).
- Порфирьев Б. 2021. «Зеленая» повестка: асимметричный ответ. Эксперт, 18-19: 19-21. URL: <https://expert.ru/expert/2021/18/zelenaya-povestka-asimmetrichniy-otvet/> (дата обращения: 04.09.2023).
- Экономика ресурсосбережения на предприятиях нефтегазовой отрасли (в схемах и таблицах) : учебное пособие / Л.Н. Руднева, М.А. Гурьева, М.И. Елисеева, Т.Л. Краснова. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2021. – 177 с.

### Список литературы

- Авилова В.В., Вахитов М.Р. 2021. Инновационная трансформация промышленности на принципах циркулярной экономики: монография. Казань: Изд-во «Печать – Сервис XXI век», 87 с.
- Ананькина Е.А. 2021. ESG – три роковые карты для российского НГК. Нефтегазовая вертикаль, 7: 44-49.
- Башмаков И.А. 2020. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики. Вопросы экономики, 7: 51-74. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>.
- Изотова А.Г., Гаврилюк Е.С. 2022. Экосистемный подход как новая трактовка развития высшего образования. Вопросы инновационной экономики, 12(2): 1211-1226.
- Сафонов Г.В. 2020. Декарбонизация мировой экономики и Россия. Нефтегазовая вертикаль, 21-22: 66-70.

- Avilova V.V., Pashentsev D.A., Abramova A.I., Eriashvili N.D., Grimalskaya S.A., Gafurova A.Ya., Kharisova G.M., Karpenko G.V. 2019. Digital Software of Industrial Enterprise Environmental Monitoring. *Ekoloji*, 107, 107078: 243-251.
- Salikhov I., Avilova V., Fazylov R. 2020. Alternative energy in Russia and Tatarstan: challenges and prospects. *International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019)*, 124, 05084. DOI: 10.1051/e3sconf/202012405084.

### References

- Avilova V.V., Vakhitov M.R. 2021. Innovative transformation of industry based on the principles of circular economy: monograph. Kazan: Publishing house "Print – Service XXI century", 87 p.
- Anankina E.A. 2021. ESG – three fatal cards for the Russian NGK. *Oil and Gas Vertical*, 7: 44-49.
- Bashmakov I.A. 2020. Strategy of low-carbon development of the Russian economy. *Questions of Economics*, 7:51-74. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>.
- Izotova A.G., Gavriluk E.S. 2022. Ecosystem approach as a new interpretation of the development of higher education. *Issues of Innovative Economics*, 12(2):1211-1226.
- Safonov G.V. 2020. Decarbonization of the world economy and Russia. *Oil and Gas Vertical*, 21-22: 66-70.
- Avilova V.V., Pashentsev D.A., Abramova A.I., Eriashvili N.D., Grimalskaya S.A., Gafurova A.Ya., Kharisova G.M., Karpenko G.V. 2019. Digital Software of Industrial Enterprise Environmental Monitoring. *Ekoloji*, 107, 107078: 243-251.
- Salikhov I., Avilova V., Fazylov R. 2020. Alternative energy in Russia and Tatarstan: challenges and prospects. *International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019)*, 124, 05084. DOI: 10.1051/e3sconf/202012405084.

**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 11.09.2023

Поступила после рецензирования 16.10.2023

Принята к публикации 27.10.2023

Received September 11, 2023

Revised October 16, 2023

Accepted October 27, 2023

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

УДК 338.48(571)+332.1(571)  
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-813-824

## Потенциал Новосибирской области в развитии темного туризма

<sup>1, 2</sup>Горошко Н.В., <sup>1</sup>Пацала С.В.

<sup>1</sup> Новосибирский государственный педагогический университет,  
Россия, 630126, г. Новосибирск, ул. Виллюйская, 28

<sup>2</sup> Новосибирский государственный медицинский университет,  
Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 52

E-mail: goroshko1@mail.ru, s-pacala@mail.ru

**Аннотация.** Новосибирская область уже стала достаточно известна как туристское направление на внутреннем рынке. Однако продуктовый спектр местного туристского предложения все еще остается небогатым. В условиях растущего спроса на продукты туризма специальных интересов, заслуживает внимание «мрачный» или «темный» туризм, объединяющий все разнообразие путешествий к локациям, так или иначе связанным с трагическими событиями, страданиями, смертью (войнами, катастрофами, проявлениями человеческой жестокости). Новосибирская область – относительно молодой регион, у которого слишком мало истории. Возможно ли здесь сформировать действительно привлекательное предложение для мрачных туристов? Поиски ответа на этот вопрос определили цель исследования – изучение возможностей для реализации мрачного туризма на территории Новосибирской области. Проведенный в ходе исследования swot-анализ, позволяет сделать вывод – препятствий для его развития в регионе на данный момент больше, чем возможностей. Но это не означает, что ситуация не изменится в будущем, поскольку потенциал ресурсов для его формирования все же имеется. Масштаб этих ресурсов ограничен, вероятность того, что они станут магнитами всероссийского значения низка. Но с формированием интересного и аутентичного предложения, использующего эти ресурсы, область может стать регионом, привлекающим мрачных туристов из субъектов Сибирского федерального округа.

**Ключевые слова:** внутренний туризм, туристский потенциал, туризм специальных интересов, мрачный туризм, темный туризм

**Для цитирования:** Горошко Н.В., Пацала С.В. Потенциал Новосибирской области в развитии темного туризма. Экономика. Информатика, 50(4): 813–824. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-813-824

---

## Potential of the Novosibirsk Region in the Development of Dark Tourism

<sup>1, 2</sup>Nadezhda V. Goroshko, <sup>1</sup>Sergey V. Patsala

Novosibirsk State Pedagogical University  
28 Vilyuiskaya str., Novosibirsk, 630126, Russia

Novosibirsk State Medical University  
52 Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia

E-mail: goroshko1@mail.ru, s-pacala@mail.ru

**Abstract.** The Novosibirsk region has already become quite well known as a tourist destination in the domestic market. However, the food range of the local tourist offer still remains poor. In the context of growing demand for tourism products of special interests, “gloomy” or “dark” tourism deserves attention, combining all the variety of travel to locations, one way or another connected with tragic events, suffering, death (wars, disasters, manifestations of human cruelty). The Novosibirsk region is a relatively young region that has too little history. Is it possible to create a truly attractive offer for gloomy tourists here? The search for an answer to this question determined the purpose of the study - to study the possibilities for

implementing dark tourism in the Novosibirsk region. The swot analysis carried out during the study allows us to conclude that there are still many more obstacles to its development in the region than opportunities. But this does not mean at all that the situation will not change in the future, since the potential of resources for its formation still exists. The scale of these resources is limited; they are unlikely to become magnets of national significance. But with the formation of an interesting and authentic offer that uses these resources, the region can become a region attracting gloomy tourists from the subjects of the Siberian Federal District.

**Keywords:** domestic tourism, tourism potential, special interest tourism, dark tourism, dark tourism

**For citation:** Goroshko N.V., Patsala S.V. Potential of the Novosibirsk Region in the Development of Dark Tourism. Economics. Information technologies, 50(4): 813–824(in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-813-824

---

## Введение

Стратегия развития отечественного туризма на период до 2035 года обозначила приоритет расширения рынков внутреннего и въездного туризма в нашей стране, совершенствование существующей и ускоренное развитие новой туристской инфраструктуры, создание туристских продуктов, привлекающих потенциальных клиентов к местам притяжения. Ускоренное развитие внутреннего туризма стало тенденцией последних лет, интерес россиян к нему ощутимо вырос. И если сначала внутренние туристские маршруты вынужденно обратили на себя внимание, то сегодня многие соотечественники вполне осознанно отдают предпочтение путешествиям по собственной стране. Стали трансформироваться и приоритеты путешественников в поездках по России. Расширяется спрос не только на традиционные локации, дополнительный импульс развитию внутреннего туризма придает освоение неизвестных направлений и новых сценариев отдыха. Заметным трендом в туризме в последнее время стало стремление путешественников руководствоваться исключительно своими интересами, отдавая предпочтение уже не массовым групповым турам, а индивидуальным поездкам [Стратегия...; Русина и др., 2021].

«Пресытившись» традиционными поездками с познавательными и оздоровительными целями, современные путешественники желают выйти за границы заурядного, увидеть новые необычные локации, приобрести аутентичный опыт и испытать особенные эмоции. Такая трансформация традиционных туристских предпочтений провозгласила начало эпохи «туризма впечатлений и ощущений», или туризма специальных интересов (Special Interest Tourism), ставшего одним из ведущих современных направлений в эволюции туристской индустрии. Растущая популярность разнообразных экстремальных и нетрадиционных видов туризма формирует спрос на продукты «туризма специальных интересов», под которым понимают путешествия, определяемые особой мотивацией, а степень потребительской удовлетворенности отражает глубина приобретенных впечатлений [Бабкин, 2003; Малетин, 2014].

Палитра видов туризма специальных интересов становится все богаче как благодаря их взаимной интеграции, так и взаимодействию с традиционными видами туризма, становясь все более популярным у всех участников туристского рынка – туристов и организаций-генераторов предложений в данном сегменте. Одним из видов туризма специальных интересов, который заслуживает внимания, является «мрачный» или «темный» туризм (Dark tourism), объединяющий все разнообразие путешествий к локациям, так или иначе связанным с трагическими событиями, страданиями, смертью (войнами, катастрофами, проявлениями человеческой жестокости). Они «оборачиваются» в туристскую упаковку и представляются потребителю в качестве достопримечательности. Притягательная сила смерти и катастрофы всегда была и будет мощным фактором мотивации для «мрачных» туристов [Велединский, 2011; Рыбакова, 2013; Костромина и др., 2019].

«Мода» на мрачный туризм отражает бурный рост и развитие современной экономики впечатлений – такой модели развития экономики, где центральным звеном является учет желания клиента получать эмоции от покупки товара или услуги. Современного пресыщенного

и избалованного потребителя уже не привлекают традиционные туристские предложения. Поэтому индустрия туризма должна быть готова предоставить ему продукты, в которые будут упакованы новые эмоции и ощущения.

Желание пощекотать себе нервы, испытывая чувство эмоционального возбуждения, – один из наиболее значимых мотивов привлечения людей в трагические места. Какие-то из подобных мест приносят туристам чувство умиротворения и покоя, возможность прожить личную травму как часть исторического наследия. Иным – хочется своими глазами познакомиться с объектами, о которых они так много слышали. Возможно, те, кто посещает подобные места, хотят получить достоверную информацию из первоисточников, увидеть все своими глазами без посредников. У большинства не возникает даже мысли о том, что тот или иной объект экскурсии может иметь отношение к мрачному туризму. Существует также мнение, что посещение подобных мест может быть полезно, так как позволяет человеку задуматься о бренности и скоротечности жизни. Мысли о смерти никого не могут оставить равнодушным, возможность «заглянуть ей в лицо» всегда была и будет мощным фактором мотивации для «мрачных» туристов, особенно если смерть, трагедию или катастрофу «упаковать» как достопримечательность, то кладбище, поле ратной славы, темница или концентрационный лагерь предстанут как туристский продукт [Stone, 2005, 2006, 2008; Угликова, Федотова, 2016; Костромина и др., 2019].

Сегодня широко распространена практика включения объектов, в той или иной степени отражающих мрачные этапы жизни и истории, в туристско-экскурсионные программы познавательных туров как составляющая обзорных, либо традиционных тематических экскурсий. Однако подобный подход далеко не всегда позволяет раскрыть весь информационный потенциал таких объектов, в отличие от специально разрабатываемых тематических экскурсионных программ мрачного (темного) туризма. Мрачный туризм старается оформиться в качестве самостоятельного направления и занять собственную нишу в общей массе туристских предложений. Мрачный туризм – это в первую очередь своеобразный урок истории, опирающийся на фактическую базу трагических событий прошлого, легендарных и уникальных личностей, условий жизни людей предшествующих исторических эпох. Подобных страниц в истории того или иного региона не мало. Бесспорно, не все они обладают широкой известностью, но их след заметен в его развитии и современном состоянии [Dann, 1998, 2013].

Пока ни в назначении, ни в проблеме видовой структуры мрачного (темного) туризма, ни в его терминологии среди специалистов нет единства. В зарубежных и отечественных исследованиях выделяют несколько его направлений (рис. 1).

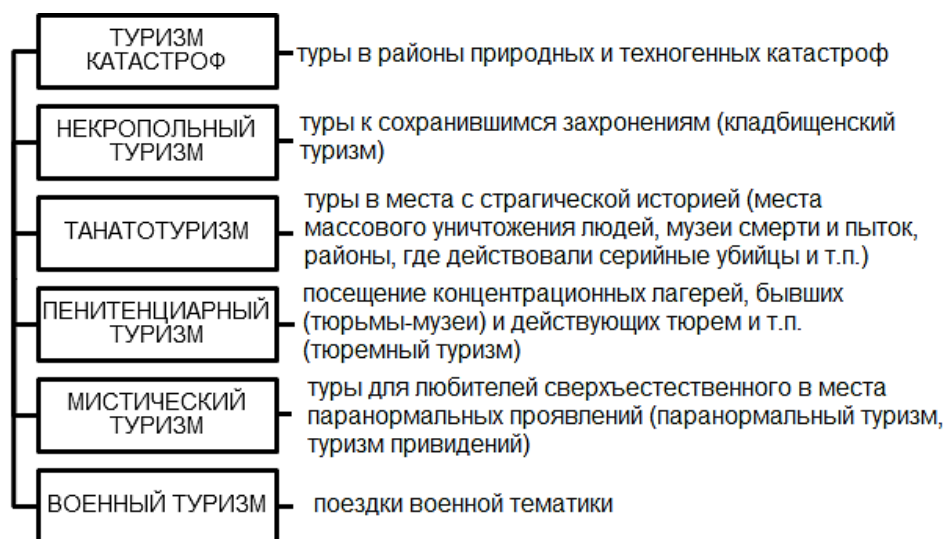


Рис. 1. Основные направления мрачного туризма

Fig. 1. Main directions of dark tourism

Составлено по: [Бабкин, 2003]

Разновидности мрачного туризма определяют широкий спектр потенциальных «мрачных локаций». Здесь в развитии интереса к объектам туристского показа или к объектам, способным стать интересными, важное значение приобретает такой инструмент как сторителлинг (storytelling – «рассказывание историй», «сказительство»), когда сведения о них предлагают в форме историй, контент которых, в целях усиления эффекта для интереса слушателя, должен включать четыре обязательных составляющих: послание, конфликт, героев и сюжет. История (легенда) может быть как вымышленной, так и опираться на реальные исторические факты [Птаховская, 2020].

### **Объекты и методы исследования**

Новосибирская область уже стала достаточно известна как туристское направление на внутреннем рынке. Однако продуктовый спектр местного туристского предложения все еще остается небогатым. В условиях растущего спроса на продукты туризма специальных интересов, Новосибирск не должен остаться на обочине бурного развития его важнейшего направления – мрачного туризма. Новосибирская область – относительно молодой регион, у которого слишком мало истории. Возможно ли здесь сформировать действительно привлекательное предложение для мрачных туристов? Поиски ответа на этот вопрос определили объект и цель исследования.

Объектом исследования выступает туристский потенциал Новосибирской области. Целью исследования является изучение возможностей для реализации мрачного туризма на территории региона.

Оценка факторов формирования и развития мрачного туризма проведена на основе аналитических методов исследования, в том числе с применением инструментов swot-анализа.

### **Результаты и их обсуждение**

Историческая память и мемориальная культура являются фундаментом, на котором способны формироваться в регионе практически все разновидности мрачного туризма. В героических нарративах обычно отражаются позитивные события прошлого, мифологически возвеличенные и вызывающие чувство гордости, составляющие основу конструирования национальной идентичности на героике и чести, в то время как негативные события остаются неоформленными должным образом, сохраняясь в обществе в виде травмы (чувства вины). Новая историческая этика все чаще требует проработки и травматического опыта прошлого, интегрируя в национальную память негативные эпизоды своей истории.

Мрачный туризм в регионе, прежде всего, опирается на историю его становления и развития, на жизненные и исторические события, которые неотъемлемы от исторического прошлого страны: революции, мировые и региональные войны, последствия диктатур, тоталитарных режимов, репрессий и чисток, депортации, испытания оружия и отравления, терроризм, природные и техногенные катастрофы и прочее.

Среди «мрачных локаций» особая роль отводится мемориалам – сооружениям, созданным для сохранения памяти о важных событиях, крупных достижениях, выдающихся людях или национальной боли. Наиболее масштабный трагический след в Новосибирской области, как и в России в целом, оставила Великая Отечественная война. По состоянию на 01.01.2023 г. в Новосибирской области насчитывается более 1,5 тысячи мемориальных объектов, увековечивающих память о новосибирцах-защитниках Отечества (рис. 2) [Реестр...]. Один из знаковых объектов подобного рода в Новосибирске – Мемориальный ансамбль «Подвигу сибиряков в Великую Отечественную войну 1941–1945 годов» (Монумент Славы), появившийся на карте города в 1967 году. Монумент Славы – одна из локаций часто посещаемых как горожанами, так и гостями города. В предлагаемых городских экскурсиях есть те, что посвящены посещению именно этого монумента, например, пешеходная экскурсия «Он вошел в мою судьбу...».





Рис. 2. Количество мемориальных объектов, увековечивающих память о новосибирцах-защитниках Отечества по муниципальным районам и городским округам Новосибирской области  
Fig. 2. Number of memorial objects perpetuating the memory of Novosibirsk defenders of the Fatherland in municipal districts and urban districts of the Novosibirsk region  
Составлено по: [Реестр...]

В содержание ряда обзорных и тематических авторских экскурсий по городу Новосибирску включен, расположенный в самом его центре, Сквер героев революции – увековечивший память о жертвах Гражданской войны [Памятники..., 2011]. Основу мемориального комплекса составляют два братских захоронения, могила одного из руководителей советского партизанского движения в регионе Петра Щетинкина, мемориальная плита на месте прежнего захоронения последнего участника парижской коммуны Адриена Лежена.

Военная тематика представлена не только в мемориалах. Заметной городской локацией является расположенный в Октябрьском районе комплекс из тридцати одного здания, строительство которого началось в 1910 году и продолжалось в советский период – Военный городок, включенный в единый государственный реестр объектов культурного наследия народов РФ. Объекту более сотни лет и за это время история его кардинально менялась. В годы Первой мировой войны, когда произошла колоссальная нехватка войсковых частей, многие помещения, относящиеся к городку, были отданы в распоряжение военных. Во время Гражданской войны на территории Военного городка располагалась армия Колчака и сотни арестованных. В 1920 году, содержащиеся в антисанитарных условиях пленные белогвардейцы стали причиной эпидемии тифа. Во время Великой Отечественной войны в Военном городке собирались войска для отправки на линию фронта. В послевоенный период многие здания были утрачены, а некоторые реконструированы и стоят по сей день. Сегодня на объекте проводятся авторские экскурсии. Они показывают историю событий, в которых Военный городок играл ключевую роль. К сожалению, на данный момент комплекс находится в удручаю-



щем состоянии. В 2021 году мэрия Новосибирска представила концепцию развития территории, включающую и музейный комплекс, но в 2023 году проект был приостановлен.

Многими специалистами музеям отводится исключительно важная роль в развитии регионального туризма [Ковешникова, 2014; Насруллаева, 2015; Шерешева, Колков, 2018; Никифорова, 2022]. Мрачный туризм здесь не является исключением. При этом тематический профиль музеев крайне разнообразен и включенность их в «мрачные» маршруты в первую очередь определяют, какое направление мрачного туризма они освещают. Например, в некропольном туризме таким музеем является городской Музей мировой погребальной культуры, знакомящий с ее различиями среди цивилизаций и культур планеты. Основу музейной коллекции составляют несколько десятков тысяч экспонатов XIX – начала XX веков, включающих документы, фотографии, открытки, гравюры, картины, скульптуры похоронной тематики, модели катафалков. В музее имеются разделы, посвященные кладбищенской архитектуре, исследуются типологии намогильного креста и могильных плит XIX века.

Другим ярким примером музея, соответствующего тематике мрачного туризма, является Городской общественный Музей радиационных катастроф, экспозиция которого включает наглядные материалы (макеты, фотографии, картины, плакаты, видеофильмы) о радиационных авариях и испытаниях ядерных вооружений. Он может стать одной из ключевых локаций авторских туристско-экскурсионных маршрутов, представляющих такое направление мрачного туризма, как туризм катастроф.

Поскольку содержательно мрачный туризм опирается на исторические события, в экскурсионные программы постепенно входят туры по историческим некрополям. Они сочетают в себе историю, архитектуру, искусство и духовность. Посещение некрополей служит укреплению связи поколений, способствует повышению интереса к истории и культуре народов страны, дает возможность обдумать и осознать нечто важное.

В областной «столице» действует семь кладбищ: Заельцовское, Южное, Клещихинское, Гусинобродское, Инское, Северное и Чемское. Содержательную ценность для развития мрачного туризма в большей степени представляют первые два из них, где находятся могилы многих известных горожан. Городские некрополи, дошедшие до наших дней, включены в региональные туристско-экскурсионные программы. Так, существуют авторские экскурсии на Заельцовское кладбище («Экскурсия по главному некрополю Новосибирска», «Память и памятники Заельцовского кладбища», «Заельцовское кладбище. Легенды и судьбы»), где похоронены люди, жившие в городе и оставившие свой след в его истории, а также в истории страны – архитектор Борис Гордеев, инженер-строитель железнодорожного моста Николай Тихомиров, ссыльная сестра писателя Михаила Булгакова Варвара, эвакуированный писатель Александр Козачинский, детский писатель Юрий Магалиф, известный баянист Геннадий Заволокин, поэтесса и рок-певица Янка Дягилева и автор и исполнитель песен Татьяна Снежина и другие.

К сожалению, на сегодня нет региональных туристско-экскурсионных предложений, основанных на истории старых некрополей, зачастую утративших свое присутствие на территории города. История кладбищ – это и история города. Но большинство из них утрачены и обнаружить их можно лишь в документах былых эпох. В пределах городской черты современного Новосибирска располагаются двенадцать старых сел и деревень, и почти у каждого из них имелся свой погост. С большинством из них связаны различные исторические события, разворачивавшиеся на территории города.

Городские кладбища выступают в роли немых свидетелей всех катастроф и катаклизмов, обрушивавшихся на страну, несмотря на глубинность положения города по отношению к важнейшим центрам России. Первая мировая война оставила след в виде захоронений солдат, офицеров и военнопленных, погибших в новониколаевских лазаретах. Наследие Гражданской войны, когда город несколько раз становился то красным, то белым, стали могилы жертв братоубийственного противостояния. Тяжелейшие условия жизни горожан в начале XX века также провоцировали рост смертности населения. Случались вспышки холеры,

оспы, брюшного тифа. Особенно масштабным бедствием стала эпидемия тифа в 1920 году. Погибших было так много, что речь шла не о захоронении, а скорее о «ликвидации трупов» в двух крематориях и братских могилах. С 1919 по 1921 годы стотысячное население города сократилось до шестидесяти семи тысяч человек. Великая Отечественная война оставила печальный след на городской территории в виде захоронений умерших от ран и болезней солдат и офицеров, на специальных кладбищах было погребено огромное число военнопленных.

Кладбища военнопленных постигла разная судьба. За десятилетия они пришли в запустение. Кладбище в Первомайском районе оказалось не тронутым, сохранился участок погребений около поселка Мирный – в 1995 году их территории были обустроены при поддержке Немецкого народного союза по уходу за могилами военных. На захоронениях в Кировском (ныне Ленинском) районе, вопреки закону, местными жителями были устроены огородные и садовые участки. Участок на Заельцовском кладбище стал использоваться для погребения горожан [Букин, 1998].

Оставила в регионе свое трагическое наследие и система Сиблага. В границах современной Новосибирской области располагалось несколько значимых лагерей: лагпункты Кривощёвские №5, 6, 7 в Новосибирске, женский лагерь и лагпункт Пихтовка в Колыванском районе, лагпункт Чудиновка в Маслянинском районе, лагпункт Дзержинский, Саплаг и штрафной отдельный лагерьный пункт №4 Ложок в Искитимском районе, ИТК № 4 в Бердске. Старейшими из них были лагерные пункты Ложок и Чудиновка, а также образованный еще в 1920-е годы этап в Каинске, доживший до наших дней под видом СИЗО-2 в г. Куйбышев.

Через новосибирские СИЗО, лагерные пункты и транзитно-пересыльные тюрьмы, расположенные в разных районах города, прошли многие известные личности: инженер Ю. Кондратюк, Заслуженная артистка РСФСР Л. Русланова, венгерский поэт А. Гидаш, дочь прославленного режиссера Т. Миерхольд, детский писатель Ю. Магалиф, сын инженера, одного из основателей города Г. Будагов. Через систему местных городских лагерей прошли также пленные немцы, интернированные трудармейцы (эстонцы, поволжские немцы).

Созданные для защиты человеческой жизни гражданские и военные объекты также являются ресурсом для развития темного туризма. Они зачастую являются не только оригинальными инженерными сооружениями, но и способны раскрыть множество интересных исторических и технических фактов. Человечество только в XX веке прошло через две мировые войны и массы локальных военных конфликтов, периоды обострения межнациональных отношений, что определило необходимость создания и развития гражданской обороны. В регионе ключевыми объектами, способными раскрыть историю ее создания и развития, выступают аутентичные советские защитные сооружения гражданской обороны – убежища и укрытия (в том числе радиационные). Как и в любом крупном городе, в Новосибирске защитные сооружения гражданской обороны являются обязательным элементом инфраструктуры.

Всего подобных защитных сооружений в регионе около 800, и все они предназначены для укрытия персонала наиболее важных с экономической и военной точки зрения объектов экономики – крупных предприятий, организаций, институтов, которые обеспечивают жизнедеятельность области и города. 700 из них относятся к типу убежищ – это самый надежный вид помещений для спасения при чрезвычайных ситуациях. В муниципальной собственности Новосибирска находится 380 защитных сооружений. Из них убежищ – 283, укрытий – 96, и 1 противорадиационный бункер.

Трагические события поселений могут быть связаны с природными и техногенными бедствиями. Туризм катастроф (катастрофический туризм) можно реализовать через историю инфекционных заболеваний, прошедших не одной волной в регионе в форме катастрофических эпидемий.

Одной из актуальных на все времена проблем для города, учитывая скученность населения, является проблема распространения инфекционных заболеваний до уровня эпидемии. Подобные трагические события и опыт борьбы с ними способны найти отклик в создании на региональном туристском рынке экскурсионного продукта данной тематики.

Массовый приток переселенцев, последствия Первой мировой и Гражданской войн, голод и разруха, организация лагерей для военнопленных – все это, в условиях распространения антисанитарии, способствовало росту числа инфекционных заболеваний и высокому уровню смертности населения в Сибири в начале XX века. Каждые 15-20 лет в Западной Сибири происходили вспышки холеры. В молодом городе, где царила повсеместная антисанитария при отсутствии каких-либо канализационных стоков, регулярно случались ее эпидемии. После очередной вспышки в 1904 году на углу улиц Ядринцевской и Логовской (ныне Шамшиных) начал работу небольшой холерный барак, ставший предтечей Городской инфекционной клинической больницы № 1 [Новикова, 2022].

В 1909 году в городе бушевала эпидемия брюшного тифа, в 1913 году – натуральной оспы. В условиях начавшейся Первой мировой, а затем Гражданской войны эпидемиологическая ситуация еще более обострилась. В наводненном военными и беженцами городе, при отсутствии водопровода и канализации, начались эпидемии сыпного, брюшного и возвратного тифа, холеры, дизентерии. Городские улицы и канавы были наполнены тысячами трупов, которые позже хоронили в братских могилах или сжигали в печах предприятий. Эпидемия тифа 1919–1920 годов была одной из самых ужасных.

Перечисленные выше и подобные им события и связанные с ними объекты всегда обрастают легендами и мифами, которые охотно эксплуатируют экскурсоводы, вызывая неподдельный интерес туристов. На подобных объектах получает развитие такое направление мрачного туризма как туризм привидений (мистический туризм, паранормальный туризм). Несмотря на свою историческую молодость, в Новосибирске существуют свои городские мифы и легенды. Сред них: призраки старинного дома на Мичурина 6, старой водонапорной башни по ул. Ватутина 29/1, колчаковского вагона в Выставочном центре железнодорожной техники им. Н.А. Акулинина на ул. Разъездной 54/1, на территории приборостроительного завода (дом-книжка на площади Калинина), «бункер Сталина» в подземельях НОВАТ, аномальная зона окрестностей Речного вокзала, трамвай № 13.

Всесторонний анализ возможности развития в Новосибирской области регионального мрачного туризма отражает представленный SWOT-анализ (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

SWOT-анализ потенциала Новосибирской области  
 для развития регионального мрачного туризма  
 SWOT analysis of the Novosibirsk region's  
 development potential regional dark tourism

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
<ol style="list-style-type: none"> <li>Туристские аттракторы, отражающие «мрачную тематику»: природные, культурно-исторические, социально-экономические.</li> <li>Наличие тематических музеев, тематических выставок, экспозиций, посвященных тем или иным мрачным событиям в истории региона.</li> <li>Интерес к истории региона.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Предвзятое отношение к «мрачной тематике».</li> <li>Сравнительно узкий сегмент потребителей туров «мрачной тематики».</li> <li>У туроператоров практически отсутствует опыт в организации «мрачных» туров.</li> <li>Туристам сложно находить информацию о местных специалитетах.</li> <li>Отсутствие рекламы, пиара мрачных туров.</li> <li>Отсутствие разнообразия специализированных музеев, выставок, музейных программ, связанных с производством продуктов в региональном музейном сообществе.</li> <li>Низкая сохранность «мрачных локаций».</li> <li>«Закрытость» и «не дружелюбность» предприятий–собственников «мрачных локаций».</li> <li>Нет гидов-экскурсоводов, которые оказались бы готовы к поддержке туров «мрачной тематики».</li> </ol>

Окончание табл. 1  
End table 1

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	10. Отсутствует координация деятельности участников рынка. 11. Неэффективная система продвижения на региональном туристском рынке. 12. Редкие туристско-экскурсионные региональные предложения.
Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
1. Стремительный рост популярности и спроса нестандартных туров как в мире в целом, так и в России в частности. 2. Стремление региона к повышению своей туристской привлекательности стимулирует поиск региональной аутентичности, в том числе за счет туров «мрачной тематики». 3. Реализация специальных программ по продвижению регионального турпродукта на внутреннем и международных туристских рынках.	1. Высокая конкурентная среда среди дестинаций, пригодных для формирования туризма специальных интересов, в том числе «мрачных» туров. 2. Снижение покупательской способности населения. 3. Отсутствие стандартов, нормативно-правовой основы регулирования туризма специальных интересов. 4. Ненадежная стратегия развития регионального туризма специальных интересов, в том числе «мрачного туризма». 5. Слабый информационный капитал и недостаточное число специалистов-энтузиастов изучающих свою историю, и перекладывающих ее в практический и востребованный формат. 6. Отсутствие общего представления о региональном образе территории в сегменте «мрачного туризма», концепции, а также мотивации к консолидированным действиям для их разработки представителей музейного сообщества, гидов-экскурсоводов, региональных властей.

Составлено авторами

Проведенный в ходе исследования swot-анализ, позволяет сделать вывод – препятствий для развития мрачного туризма в регионе пока много больше, чем возможностей. Но это совсем не означает, что ситуация не изменится в будущем, в первую очередь, благодаря тому, что потенциал ресурсов для его формирования все же имеется. Регион может представить уникальную историю своего прошлого в контексте туров в места с трагической историей (танатотуризм), туров к локациям бывших и действующих тюрем и концентрационных лагерей (пенитенциарный туризм), туров к сохранившимся захоронениям (некропольный туризм), а также поездок, связанных с военной тематикой (военный туризм).

### Заключение

Историческая молодость Новосибирской области и ее областного центра не позволяет сформировать здесь широкую палитру предложений со стороны мрачного туризма. Масштаб его ресурсов ограничен, магнитами всероссийского значения они вряд ли станут. Но с формированием интересного и аутентичного предложения, использующего эти ресурсы, область может стать регионом, привлекающим мрачных туристов из регионов Сибирского федерального округа. Ресурсы мрачного туризма, скорее всего, не позволят сформироваться ему в качестве самостоятельного вида туризма в регионе. Но в качестве дополнения к традиционным туристско-экскурсионным программам он обладает значительными возможностями. С этой

целью необходима активная популяризация существующих знаковых объектов мрачного туризма и ускоренное создание и развитие новых.

### Список источников

- Бабкин А.В. 2003. Специальные виды туризма: учеб. пособие. М., ИНФРА-М., 2003, 316 с.
- Реестр памятников и других мемориальных объектов, увековечивающих память о новосибирцах-защитниках Отечества в Новосибирской области, находящихся на территории Новосибирской области. Министерство культуры Новосибирской области. URL: <https://mk.nso.ru/page/5846?ysclid=Il7xmxc6m8420075624> (дата обращения: 20.08.2023).
- Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <https://tourism.gov.ru/contents/documenty/strategii/strategiya-razvitiya-turizma-v-rossiyskoy-federatsii-v-period-do-2035-goda> (дата обращения: 20.08.2023).

### Список литературы

- Букин С.С. 2001. Захоронения военнопленных в Новосибирской области. Актуальные проблемы социально-политической истории Сибири (XVII–XX вв.). Межвуз. сб. науч. тр. Под ред. В.И. Шишкина. Новосибирск, НГУ: 192–205.
- Велединский В.Г. 2011. Мрачный туризм. Вздорная прихоть или потребность души. Устойчивое развитие туризма и модернизация экономики России: Материалы IV Международной научно-практической конференции 06.09.2011. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН: 56–60.
- Ковешникова Е.А. 2014. Музеи и развитие регионального культурного туризма в Кузбассе. Вестник Кемеровского государственного университета культуры и искусств, 28: 70–75.
- Костромина Е.А., Сивова А.А., Косолапов Ю.В. 2019. Тюремный туризм как национальное наследие: зарубежный опыт. Сервис в России и за рубежом, Т. 13, 4: 42–52.
- Малетин С.С. 2014. Туризм специальных интересов: концептуальные подходы исследования. Вестник НГУЭУ, 4: 2018–2025.
- Насруллаева П.Н. 2015. Музейное дело в системе туризма. Современные проблемы науки и образования, 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23949> (дата обращения: 20.08.2023).
- Никифорова А.А. 2022. Музеи в туристском пространстве регионов. ЦИТИСЭ, 2: 367–373.
- Новикова И.И., Михеев В.Н., Мингазов И.Ф., Щербатов А.Ф., Крига А.С. 2022. Из истории создания и развития санитарно-эпидемиологической службы Новосибирской области. Здоровье населения и среда обитания, 7: 80–83.
- Памятники истории, архитектуры и монументального искусства Новосибирской области. 2011: Кн. 1: г. Новосибирск. Новосибирск, НПЦ, 284 с.
- Птаховская И.И. 2020. Сторителлинг и его применение в туризме. Молодой ученый, 27.1: 70–71.
- Русина А.Н., Карпычева О.В., Якимова Е.А., Лихман Д.А. 2021. Перспективы развития внутреннего туризма в современных условиях. Экономика, предпринимательство и право, Том 11, 10: 2343–2356. doi: 10.18334/errp.11.10.113741.
- Рыбакова Е.В. 2013. К вопросу о становлении темного туризма в России. Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал), 8: 56. doi:10.12731/2218-7405-2013-8-56.
- Рыбакова Е.В. 2013. Темный туризм в России: современное состояние, проблемы изучения. Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии, 3: 180–187.
- Угликова Р.А., Федотова В.С. 2016. Основные причины роста и популярности «мрачного туризма». Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. Сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. Выпуск 9. Под общей редакцией Т.М. Сигитова. Пермь, Изд-во ИП Сигитов Т.М.: 62–65.
- Шерешева М.Ю., Колков М. Ю. 2018. Роль музеев в развитии туризма с участием малых городов (на примере Владимирской области). Современные проблемы сервиса и туризма, 1: 120–133.
- Dann G. 1998. The Dark Side of Tourism. Etudes et Rapports Centre International de Recherches et d'Etudes Touristiques, Aix En Provence, 14: 1–31.
- Dann G. M. S., Seaton A. V. 2013. Slavery, Contested Heritage, and Thanatourism. Routledge, 2013, 232 p.
- Stone P. 2005. Dark Tourism Consumption – A call for research. E-Review of Tourism Research, 2: 109–117.
- Stone P. 2006. A dark tourism spectrum: Towards a typology of death and macabre related tourist sites, attractions and exhibitions. TOURISM: An Interdisciplinary International Journal, 2: 145–160.

Stone P., Sharpley R. 2008. Consuming Dark Tourism: A Thanatological Perspective. *Annals of Tourism Research*, Vol. 35, 2: 574-595. doi:10.1016/j.annals.2008.02.003.

### References

- Bukin S.S. 2001. Zahoronenija voennoplennyh v Novosibirskoj oblasti. Aktual'nye problemy social'no-politicheskoy istorii Sibiri (XVII-XX vv.) [Burials of prisoners of war in the Novosibirsk region. Current problems of the socio-political history of Siberia (XVII-XX centuries)]. *Mezhvuz. sb. nauch. tr.* Pod red. V. I. Shishkina. Novosibirsk, NGU: 192-205. (in Russian).
- Veledinskij V.G. 2011. Mrachnyj turizm. Vzdornaja prihot' ili potrebnost' dushi [Dark tourism. An absurd whim or need of the soul]. *Ustojchivoe razvitie turizma i modernizacija jekonomiki Rossii: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 06.09.2011.* Ulan-Udje, Izd-vo BNC SO RAN: 56-60. (in Russian).
- Koveshnikova E.A. 2014. Muzei i razvitie regional'nogo kul'turnogo turizma v Kuzbasse [Museums and development of regional cultural tourism in Kuzbass]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta kul'tury i iskusstv*, 28: 70-75. (in Russian).
- Kostromina E.A., Sivova A.A., Kosolapov Ju.V. 2019. Tjuremnyj turizm kak nacional'noe nasledie: zarubezhnyj opyt [Prison tourism as a national heritage: foreign experience]. *Servis v Rossii i za rubezhom*, T. 13, 4: 42–52. (in Russian).
- Maletin S.S. 2014. Turizm special'nyh interesov: konceptual'nye podhody issledovaniya [Special Interest Tourism: Conceptual Research Approaches]. *Vestnik NGUJeU*, 4: 2018–2025. (in Russian).
- Nasrullaeva P.N. 2015. Muzejnoe delo v sisteme turizma [Museum management in the tourism system]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 6. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=23949> (data obrashheniya: 20.08.2023). (in Russian).
- Nikiforova A.A. 2022. Muzei v turistskom prostranstve regionov [Museums in the tourist space of the regions]. *CITISJe*, 2: 367-373. (in Russian).
- Novikova I.I., Miheev V.N., Mingazov I.F., Shherbatov A.F., Kriga A.S. 2022. Iz istorii sozdanija i razvitija sanitarno-jepidemiologicheskoy sluzhby Novosibirskoj oblasti [From the history of the creation and development of the sanitary-epidemiological service of the Novosibirsk region]. *Zdorov'e naselenija i sreda obitaniya*, 7: 80-83. (in Russian).
- Pamjatniki istorii, arhitektury i monumental'nogo iskusstva Novosibirskoj oblasti [Monuments of history, architecture and monumental art of the Novosibirsk region]. 2011. Kn. 1: g. Novosibirsk. Novosibirsk, NPC, 284 s. (in Russian).
- Ptahovskaja I.I. 2020. Storitelling i ego primenenie v turizme [Storytelling and its application in tourism]. *Molodoj uchenyj*, 27.1: 70-71. (in Russian).
- Rusina A.N., Karpicheva O.V., Jakimova E.A., Lihman D.A. 2021. Perspektivy razvitija vnutrennego turizma v sovremennyh uslovijah [Prospects for the development of domestic tourism in modern conditions]. *Jekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, Tom 11, 10: 2343-2356. doi: 10.18334/epp.11.10.113741. (in Russian).
- Rybakova E.V. 2013. K voprosu o stanovlenii temnogo turizma v Rossii [On the issue of the development of dark tourism in Russia]. *Sovremennye issledovaniya social'nyh problem (jelektronnyj nauchnyj zhurnal)*, 8: 56. doi:10.12731/2218-7405-2013-8-56. (in Russian).
- Rybakova E.V. 2013. Temnyj turizm v Rossii: sovremennoe sostojanie, problemy izuchenija [Dark tourism in Russia: current state, problems of study]. *Teorija i praktika servisa: jekonomika, social'naja sfera, tehnologii*, 3: 180-187. (in Russian).
- Uglikova R.A., Fedotova V.S. 2016. Osnovnye prichiny rosta i populjarnosti «mrachnogo turizma» [The main reasons for the growth and popularity of “dark tourism”]. *Razvitie sovremennoj nauki: teoreticheskie i prikladnye aspekty. Sbornik statej studentov, magistrantov, aspirantov, molodyh uchenyh i prepodavatelej.* Vypusk 9. Pod obshhej redakciej T.M. Sigitova. Perm', Izd-vo IP Sigitov T.M.: 62-65. (in Russian).
- Sheresheva M.Ju., Kolkov M.Ju. 2018. Rol' muzeev v razvitii turizma s uchastiem malyh gorodov (na primere Vladimirskoj oblasti) [The role of museums in the development of tourism with the participation of small towns (on the example of the Vladimir region)]. *Sovremennye problemy servisa i turizma*, 1: 120-133. (in Russian).
- Dann G. 1998. The Dark Side of Tourism. *Etudes et Rapports Centre International de Recherches et d'Etudes Touristiques*, Aix En Provence, 14: 1-31.
- Dann G.M.S., Seaton A.V. 2013. *Slavery, Contested Heritage, and Thanatourism*. Routledge, 2013, 232 p.



- Stone P. 2005. Dark Tourism Consumption – A call for research. *E-Review of Tourism Research*, 2: 109-117.  
Stone P. 2006. A dark tourism spectrum: Towards a typology of death and macabre related tourist sites, attractions and exhibitions. *TOURISM: An Interdisciplinary International Journal*, 2: 145-160.  
Stone P., Sharpley R. 2008. Consuming Dark Tourism: A Thanatological Perspective. *Annals of Tourism Research*, Vol. 35, 2: 574-595. doi:10.1016/j.annals.2008.02.003.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 08.10.2023

Поступила после рецензирования 27.10.2023

Принята к публикации 07.11.2023

Received October 08, 2023

Revised October 27, 2023

Accepted November 07, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Горошко Надежда Владимировна**, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, регионоведения и туризма, Новосибирский государственный педагогический университет; доцент кафедры гигиены и экологии, Новосибирский государственный медицинский университет, г. Новосибирск, Россия

**Пацала Сергей Викторович**, старший преподаватель кафедры географии, регионоведения и туризма, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Nadezhda V. Goroshko**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism of the Novosibirsk State Pedagogical University, Associate Professor of the Department of Hygiene and Ecology of the Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

**Sergey V. Patsala**, Senior Lecturer of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism of the Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

# ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 336.1; 336.5

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-825-835

## Исследование доходного неравенства в Российской Федерации на основе межстранового сравнительного анализа методом «конверт значений»

Дорофеев М.Л.

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,  
Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Ленинградский проспект, д. 49  
E-mail: dorofeevml@yandex.ru

**Аннотация.** Уровень доходного неравенства населения является важной социально-экономической метрикой благополучия общества, что актуализирует уточнение и развитие инструментария его оценки. Обзор научной литературы по проблематике доходного неравенства показывает достаточно заметные разночтения по поводу оценки уровня доходного неравенства в России, что дает основания для проведения дополнительных исследований этой проблемы. Целью данного исследования является анализ проблемы доходного неравенства в Российской Федерации на основе межстрановых сопоставлений с использованием метода «конверт значений». Межстрановые сопоставления позволяют дать объективную оценку уровня дифференциации доходов населения, а метод «конверт значений» является эффективным способом визуализации и проведения графического анализа панельных данных. Информационной базой исследования является выборка данных по 143-м странам мира за период с 1980 по 2021 г. из всемирной базы данных о неравенстве, а также выборка данных из базы Росстата по субъектам Российской Федерации. Результаты исследования показали высокую информативность и практическую значимость метода графического анализа «конверт значений», а также развеяли миф об «острой» проблеме доходного неравенства в России.

**Ключевые слова:** доходное неравенство, имущественное неравенство, экономическое неравенство, неравенство возможностей, неравенство по уровню богатства, социально-экономическое неравенство, государственное финансовое регулирование, НДФЛ, прогрессивное налогообложение, конверт значений, графический анализ

**Для цитирования:** Дорофеев М.Л. 2023. Исследование доходного неравенства в Российской Федерации на основе межстранового сравнительного анализа методом «конверт значений». Экономика. Информатика, 50(4): 825–835. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-825-835



## Study of Income Inequality in the Russian Federation on the Basis of Inter-Country Comparative Analysis Using the "Envelope of Values" Method

**Mikhail L. Dorofeev**

Financial University under the Government of the Russian Federation  
49 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993, GSP-3, Russia  
E-mail: dorofeevml@yandex.ru

**Abstract:** The level of income inequality among the population is an important socio-economic metric of societal well-being, which necessitates the refinement and development of tools for its assessment. A review of the scientific literature on the issue of income inequality reveals noticeable discrepancies in the assessment of income inequality in Russia, providing a basis for further research on this matter. The aim of this study is to analyze the issue of income inequality in the Russian Federation through international comparisons using the "value envelope" method. Inter-Country comparisons enable an objective assessment of income differentiation among the population, and the "value envelope" method is an effective means of visualizing and conducting graphical analysis of panel data. The research is based on a dataset comprising information from 143 countries worldwide for the period from 1980 to 2021, obtained from the global inequality database, as well as data from the Russian Federal State Statistics Service (Rosstat) for the regions of the Russian Federation. The results of the study demonstrate the high informativeness and practical significance of the "value envelope" graphical analysis method, and also debunk the myth of an "acute" issue of income inequality in Russia.

**Keywords:** income inequality, wealth inequality, economic inequality, inequality of opportunities, wealth level inequality, socioeconomic inequality, government financial regulation, personal income tax (PIT), progressive taxation, value envelope, graphical analysis

**For citation:** Dorofeev M. L. 2023. Study of Income Inequality in the Russian Federation on the Basis of Inter-Country Comparative Analysis Using the "Envelope Of Values" Method. Economics. Information technologies, 50(4): 825–835 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-825-835

### Введение

Исследование проблематики долгосрочных трендов доходного неравенства в современной России сохраняет актуальность по ряду причин: 1) в связи с распадом СССР и неоднозначным влиянием этого события на становление экономики России в контексте неравенства возможностей и следующего из этого расслоения по доходам и богатству населения России; 2) расхождениями в оценках уровня доходного неравенства в настоящее время в различных источниках, в т.ч. в исторической ретроспективе; 3) наличием определенного социального напряжения в обществе, связанного с дифференциацией населения по уровню жизни и запроса на социальную справедливость и т.д. [UN; ТАСС; OXFAM].

Базовой целью регулирования доходного неравенства является достижение условного уровня социальной справедливости [Михайлов, 2011; Матицин и Ершов, 2012; Балацкий, 2018; Варшавский, 2019; Лившиц, 2018; Шевяков, 2011; Анисимова, 2020]. Этот уровень, по всей видимости, имеет различные значения для разных стран в силу их культурных и социальных особенностей. Решение задачи по созданию равных стартовых возможностей для каждого члена общества, усиление потребительского спроса за счет повышения уровня доходов низко- и среднедоходных групп граждан актуально с точки зрения достижения основной цели любого государства – обеспечения благоприятных условий для устойчивого экономического роста [Дроздов, 2020; Костылева, 2022]. Таким образом, доходное неравенство, равно как и проблема бедности, будут сохраняться в повестке государственного финансового регулирования в будущем.

Некоторые экономисты и социологи считают, что доходное неравенство может быть приемлемым даже при наличии сверхбогатых людей в обществе при условии ликвидации нищеты или, как минимум, полного контроля над этой проблемой со стороны государства [РПЕ; Капелюшников, 2020]. Доходное неравенство, обусловленное неравенством усилий, воспринимается обществом относительно спокойно, поскольку в большинстве случаев оно обусловлено объективными экономическими причинами [Широв и др., 2022]. Однако неравенство стартовых возможностей, возникающее из-за различий людей в национальности, поле, образовании, социальном статусе и уровне доходов родителей и т.д., которое сложно объяснить фактором прилагаемых усилий в рамках экономической активности индивида, вызывает гораздо больший уровень общественного отторжения и запроса на более активное государственное финансовое регулирование этого явления [Овчарова и др., 2016; Мареева, 2020; Леонидова, 2022].

Примерно четверть неравенства трудовых доходов и пятая часть неравенства среднедушевых доходов могут быть отнесены к «несправедливому» неравенству в России в целом [Карцева, 2020]. В региональном разрезе неравенство возможностей ниже в несколько раз и делает вклад в показатели доходного неравенства порядка 10% [Малева и др., 2022]. Это объясняется как признак наличия компоненты межрегионального доходного неравенства, которая в данном случае может увеличивать фактор несправедливости в формировании доходного неравенства вдвое в среднем по Российской Федерации.

В эмпирических исследованиях большинство макроэкономистов рассматривают проблематику регулирования доходного неравенства в контексте поиска компромисса между доходным неравенством и экономическим ростом. Имеющиеся на сегодняшний день результаты остаются достаточно противоречивыми [Dorofeev, 2021, 2022]. Однако существует немало доказательств того, что в финансовом регулировании доходного неравенства важно «не увлекаться борьбой с неравенством», поскольку избыточное вмешательство государства и очень низкие значения индекса Джини также могут оказывать негативное влияние на экономический рост и технологический прогресс, как и высокие [Дорофеев, 2021].

Формирование объективной и разносторонней количественной оценки уровня, структуры и динамики доходного неравенства должно стать отправной точкой для уточнения параметров государственного финансового регулирования данной проблемы. В научной литературе сохраняются противоречия, связанные с оценкой его уровня, интерпретацией полученных значений и соответствующие им, но при этом расходящиеся между собой, рекомендации для регуляторов [Сухарев, 2022].

В статье проводится обоснование метода сравнительного графического анализа «конверт значений», который используется для получения объективной оценки остроты проблемы доходного неравенства в России.

### Материалы и методы

Основным методом проведения исследования является графический анализ данных, обладающий наивысшей наглядностью и информативностью из прочих методов, подходящих для решения задач настоящего исследования. В отличие от отдельно взятого индекса Джини или коэффициента фондов этот метод позволяет представить сравнительный контекст, т.е. задать объективные для настоящего времени значения показателя для стран-аналогов. В качестве стран-аналогов для «конверта значений» могут выбираться страны из одной классификационной группы, например, развитые или развивающиеся страны или страны с высоким уровнем дохода, средним или низким уровнем дохода. Можно использовать и другие критерии выборки стран-аналогов.

Принцип использования «конверта значений» базируется на универсальной концепции сравнительной оценки или анализа явлений в контексте выборки подходящих (сопоставимых) объектов для сравнения. Примером применения такой концепции является

оценка фундаментальной (справедливой) стоимости финансовых активов сравнительным или рыночным методом с использованием данных и финансовых показателей сопоставимых финансовых активов.

Метод получил название «конверт значений», поскольку на основе графического представления данных производится погружение показателя, характеризующего объект исследования, в сравнительный контекст, т.е. в определенные рамки или границы. В свою очередь эти границы имеют строго детерминированные характеристики (описательную статистику) и полностью зависят от выборки объектов-аналогов.

В качестве индикативных границ «конверта значений» предлагается использовать описательную статистику с базовыми показателями выборки: максимум, 3-ий квартиль, медиану, среднее значение, 1-ый квартиль и минимум по выборке стран-аналогов.

Формирование выборки стран-аналогов можно реализовать различными способами и по разным критериям в зависимости от целей исследования. В настоящем исследовании предлагается сформировать группу стран-аналогов, которые сопоставимы с Российской Федерацией по показателю ВВП на душу населения по паритету покупательной способности. Предпочтение указанному показателю отдано в связи с признанием его важности и частотой использования в публичных докладах на государственном уровне [РБК]. Данный показатель учитывает не только размер экономики и средний уровень доходов, но также и стоимость текущего уровня жизни в стране, т.е. покупательную способность этих доходов.

Для формирования списка объектов-аналогов из полной выборки Всемирного банка выбраны страны, сопоставимые с Россией по показателю на ВВП по ППС на душу населения. После расчета соответствующих статистических показателей было определено, что Россия входит в группу стран между медианным доходом и значением 3-его квартиля (75-го перцентиля) (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

ВВП на душу населения по паритету покупательной способности в долларах США  
 GDP per Capita at Purchasing Power Parity in US Dollars

№	Наименование страны	2017	2018	2019	2020	2021	СРЗНАЧ (за 5 лет)
1	4-ый квартиль (Макс)	122977,51	131525,03	128031,15	120010,21	131511,02	120509,47
2	3-ий квартиль (75-ый перцентиль)	30050,24	31968,23	34412,24	32970,35	35544,65	32733,73
3	Словацкая Республика	30142,37	31369,80	33453,29	32922,07	34528,66	32483,24
4	Латвия	28673,56	30877,04	32927,80	33018,62	35018,45	32103,10
5	Панама	31638,15	33034,75	34178,92	28096,61	33563,66	32102,42
6	Румыния	26943,35	29568,19	33066,61	33336,18	36277,32	31838,33
7	Хорватия	27206,94	28909,42	31588,03	29690,15	34721,87	30423,28
8	Сент-Китс и Невис	29333,60	30670,60	32517,70	28196,74	29226,34	29989,00
9	Греция	28604,86	29617,55	31155,91	28416,52	31294,80	29817,93
10	Российская Федерация	25926,44	28821,26	30067,74	30011,57	34043,30	29774,06
11	Сейшельские острова	27336,61	28756,47	30428,56	27920,07	30503,29	28989,00
12	Турция	27582,83	27802,55	27708,43	27724,39	30452,10	28254,06
13	Малайзия	25935,14	27480,95	28848,10	27277,86	29057,54	27719,92
14	Казахстан	24862,97	26158,45	27469,42	26782,10	28811,88	26816,96
15	Чили	24546,91	25564,54	25600,19	24941,24	28337,07	25797,99
16	Тринидад и Тобаго	26213,92	26148,71	26379,90	24701,55	25420,52	25772,92
17	Болгария	21469,97	23016,07	25170,22	25296,07	28113,12	24613,09

Окончание табл. 1

End table 1

18	Уругвай	23384,74	23950,39	24551,75	23309,79	25663,41	24172,02
19	Острова Теркс и Кай- кос	25207,83	26182,59	27033,38	19509,71	21803,15	23947,33
20	Кюрасао	24599,94	24775,24	24662,65	20705,72	22933,27	23535,36
21	Маврикий	22143,83	23571,89	24680,56	21352,40	23064,35	22962,60
22	Аргентина	23597,12	23294,10	23007,84	20787,86	23754,36	22888,25
23	Ливия	24212,91	26352,83	23491,20	16495,99	22371,38	22584,86
24	2-ой квартиль (Меди- ана)	21303,59	22213,92	23023,65	21661,07	23708,95	22382,24
25	Среднее значение	13575,45	14181,43	14439,69	14063,27	15091,33	14225,43
26	1-ый квартиль (25-ый перцентиль)	4732,90	5067,47	5280,17	5149,65	5498,64	5223,60
27	0-ой квартиль (Мин)	750,79	758,25	760,60	751,20	787,94	761,76

Источник: составлено на основе данных Всемирного банка [WB, 2023]

Данная выборка позволяет оценить справедливые значения целевых показателей доходного неравенства для России и решить проблему их необоснованного завышения при проведении долгосрочного социально-экономического планирования и при оценке уровня жизни и социально-экономического развития в стране. При прочих равных условиях было бы несправедливо сравнивать Россию с США или Германией по уровню доходного неравенства. При рассмотрении полной картины социально-экономического развития более высокий (чем в России) уровень доходного неравенства в США и более низкий в Германии не позволяют дать однозначную оценку проблемы доходной дифференциации в России.

Сравнение плановых и фактических показателей социально-экономического развития России с 2014 по 2020 гг. говорит о том, что многие целевые показатели долгосрочного планирования не достигаются. По уровню доходов на душу населения Россия относится к группе стран, представленных в табл. 1 между вторым и третьим квартилями, а целевые показатели доходного неравенства в долгосрочной стратегии социально-экономического развития соответствуют другой выборке стран (группе между третьим и четвертым квартилями). Поэтому можно допустить, что в определенной степени проблема недостижения целевых показателей доходного неравенства существует из-за некорректного (завышенного) целеполагания.

Тем не менее, мы также приведем результаты графического анализа данных на основе полной выборки из 173-х стран мира за период с 1980 г. по 2021 г. с использованием того же самого метода и сравним полученные результаты.

Учитывая существенные расхождения в национальной методологии учета разных стран, например, России и ЕС, для проведения межстрановых сопоставлений целесообразно использовать международные базы данных, в число которых входит Россия: WID, LIS, ОЭСР, WB (a), WB (b) и пр.

Одним из наиболее часто используемых источников информации для проведения межстрановых исследований доходного неравенства в научной литературе является Всемирная база данных о неравенстве (WID). База содержит большой объем разносторонних аналитических разрезов и представлений уровня дифференциации доходов населения разных стран мира. Анализ материалов и данных Всемирной базы о неравенстве целесообразен хотя бы потому, что ее составители применяют типовые и однородные методы сбора и обработки статистических данных для разных стран, максимально раскрывая свои методы и предоставляя опцию скачивания первичных данных, на основе которых можно все перепроверить и самостоятельно проводить исследования. В прочих базах данных такие оп-

ции в большинстве случаев недоступны. Кроме этого, наибольшее количество научных статей, выводы которых указывают на острую проблему экономического (доходного и имущественного) неравенства, за основу формирования информационной базы исследования берут именно этот источник, обосновывая это более детальным и качественным представлением высокодоходной группы граждан, чем это делает Росстат.

При проведении межстранового анализа доходного неравенства использованы данные об эквивалентном доходе на члена домохозяйства, которые отражают первичное доходное неравенство, формирующееся на этапе формирования первичных рыночных доходов населения. Такой подход в том числе отражает неравенство рыночных возможностей для экономических агентов в различных странах, поэтому не менее интересен, чем исследование проблемы дифференциации доходов на основе показателя располагаемых доходов.

В качестве измерителя доходного неравенства можно использовать любой подходящий индикатор. В нашем исследовании используется базовый показатель индекса Джини, рассчитанный по эквивалентным доналоговым доходам.

### Результаты исследования

Результаты обработки данных из сформированной информационной базы исследования представлены на рис. 1.

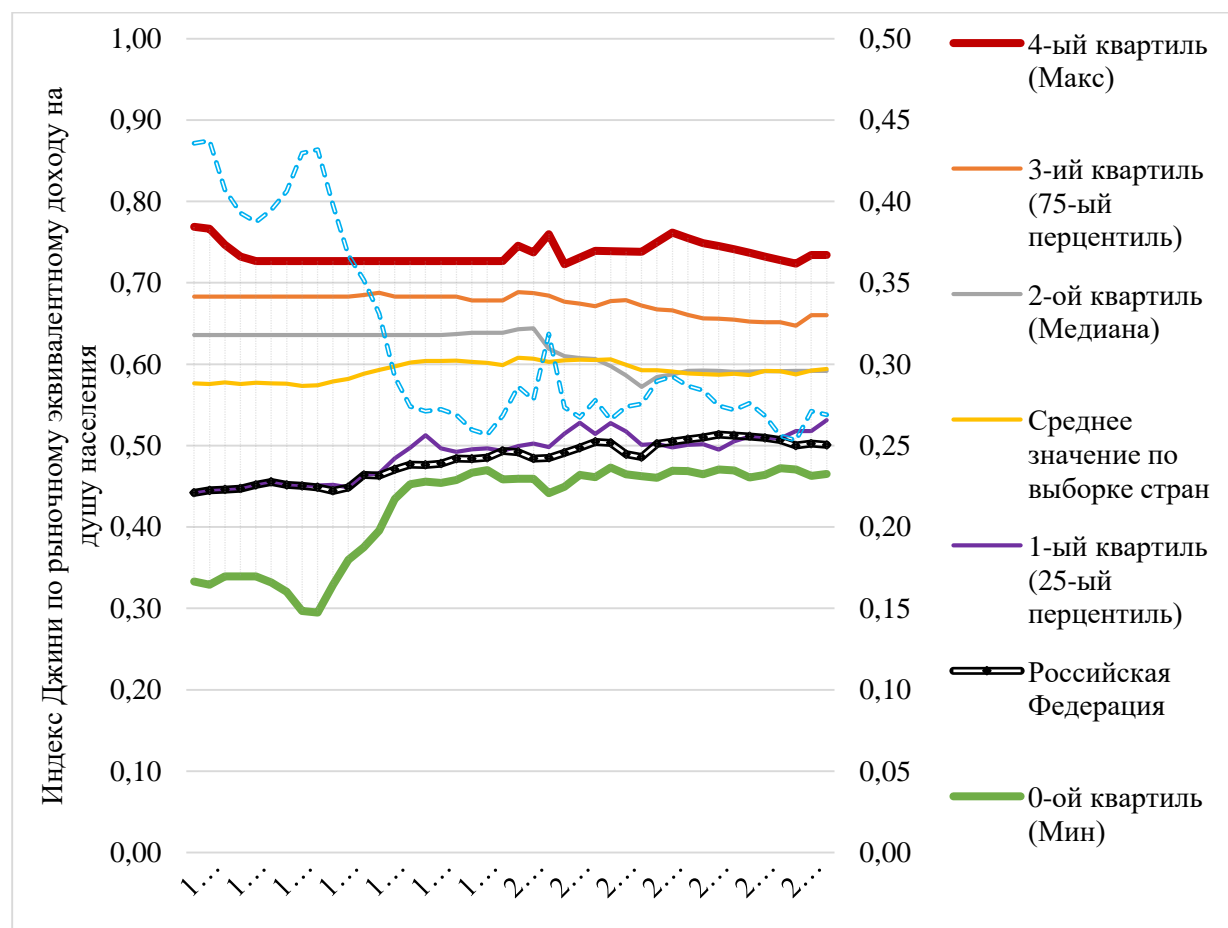


Рис. 1. Сравнительный графический анализ доходного неравенства в РФ по выборке стран-аналогов России по показателю ВВП по ППС на душу населения методом «конверт значений»

Fig. 1. Comparative graphical analysis of income inequality in the Russian Federation by a sample of Russia's analogue countries for PPP GDP per capita using the "envelope of values" method.

Источник: составлено по материалам WID (2023).

В дополнение к рис. 1 проведем графический анализ уровня и динамики доходного неравенства по полной выборке из 173-х стран мира (рис. 2).

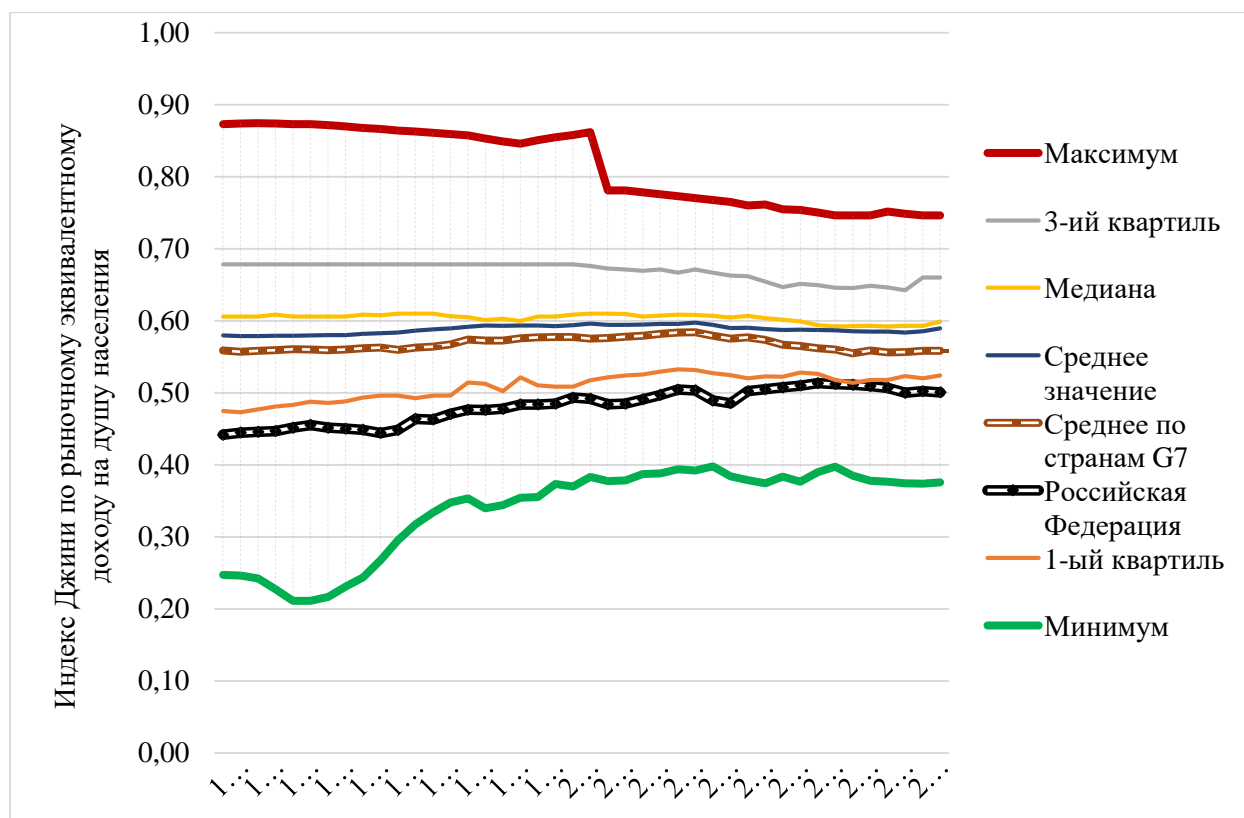


Рис. 2. Сравнительный графический анализ доходного неравенства в Российской Федерации по выборке из 173-х стран мира методом «конверт значений»  
Fig. 2. Comparative graphical analysis of income inequality in the Russian Federation by a sample from 173 countries of the world using the "envelope of values" method

Источник: составлено по материалам WID (2023).

Использование метода «конверт значений» при проведении сравнительного межстранового графического анализа позволяет сделать вывод о том, что уровень доходного неравенства в России находится на достаточно низком уровне. Его долгосрочная динамика также не показывает резких скачков или снижений. Утверждения о чрезмерно «опасном» избыточном доходном неравенстве в распределении рыночных доходов (до налогов и трансфертов) в России, или о том, что оно находится на «экстремально высоких значениях» и/или «угрожающе растёт», с нашей точки зрения, некорректны.

Значительное отличие в уровне доходного расслоения в России и странах G7 по всей видимости связано с тем, что налогообложение доходов населения в странах G7 отличается от российской модели более высоким уровнем прогрессивности и более высокими предельными налоговыми ставками. С этой точки зрения Россия имеет большой запас прочности в части сохранения относительно мягких условий налогообложения доходов населения. Вместе с тем, более высокое равенство при более низком уровне жизни является спорным преимуществом России в этом контексте. Правительству следует продолжать прилагать усилия по ускорению темпов роста ВВП и созданию условий по переходу России в более высокую квартильную группу по показателю ВВП по ППС на душу населения. В случае успеха и при сохранении текущего уровня доходного неравенства это будет свидетельствовать о гораздо более высоком уровне жизни и социальной справедливости в нашей стране.

Полученные выводы опровергают результаты ученых команды Т. Пиккети [Novokmetet al., 2018], основанные на статистических данных послесоветского периода, в кото-

рых российская проблема доходного неравенства значительно преувеличивается. Выборка стран для проведения международных сопоставлений значительно влияет на результаты оценки уровня доходного неравенства в России и может приводить к некорректным выводам. Так, в исследовании Atkinson и Micklewright (1992), авторы показывают, что низкий уровень доходного неравенства населения СССР был выше, чем в сопоставимых коммунистических странах, например, в Чехии, Польше, Венгрии и Китае. Далее, после распада СССР, уровень доходного неравенства по показателю доля доходов 1% наиболее богатых граждан России значительно подскочил и оказался в два раза выше, чем в других посткоммунистических странах [Milanovic, 1999; Jovanovic, 2001]. На основании этих аргументов подчеркивается проблема избыточности доходного неравенства и сопутствующие ей негативные аспекты социально-экономического развития России.

Подчеркнем, что сам по себе показатель доля доходов 1% наиболее богатого населения не является исчерпывающей характеристикой уровня доходного неравенства в стране и позволяет оценить дифференциацию доходов очень поверхностно. Формирование выборки стран-аналогов не по макро- и социально-экономическим сходствам и различиям, а по особенностям устройства их политической системы в принципе допустимо. Но такая методология позволяет манипулировать данными и формировать не научно обоснованную, а «политически окрашенную» точку зрения, например, показывающую безусловные преимущества демократии перед другими формами политического устройства. В этой связи рекомендуется использовать более нейтральные методы проведения межстрановых сопоставлений, например, метод «конверт значений», описанный в настоящем исследовании.

### **Заключение**

В настоящем исследовании рассматривается проблема доходного неравенства населения России. В научной литературе представлено много различных российских и особенно зарубежных публикаций, в которых подчеркивается высокий уровень дифференциации населения России по доходам и богатству. На основании этих выводов даются рекомендации к срочному вмешательству государства для сокращения разрыва в доходах граждан для снижения уровня социальной напряженности в обществе.

В работе проводится исследование теоретической и в большей степени практической значимости методологии графического анализа данных с применением инструмента «конверт значений», который широко распространен на практике как индикатор технического анализа биржевых цен. Данный инструмент позволяет получить однозначное наглядное представление о различных социально-экономических процессах в стране.

Результаты данного исследования, полученные с применением метода «конверт значений» для проведения межстрановых сопоставлений, наглядно показали отсутствие проблемы «острого», «высокого», «угрожающего» и «быстрорастущего» доходного неравенства населения России. Правительству России важно иметь объективные данные о состоянии различных социально-экономических процессов и не делать поспешных популистских решений. В случае с доходным неравенством этот принцип особенно важен, поскольку избыточное регулирование, равно как и его отсутствие, могут стать факторами замедления деловой активности и негативно сказаться на темпах развития экономики.

В заключение исследования сделан вывод об универсальности метода «конверт значений». Результаты исследования могут быть применены органами государственной статистики в качестве методического инструментария оценки уровня неравенства доходов.

### **Список источников**

- РБК. РБК Экономика. «Путин заявил, что Россия вошла в пятерку крупнейших экономик мира. Режим доступа: URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/64e4df409a79478f270807d0> (дата обращения 18-09-2023)
- ТАСС. МВФ: в мире растет неравенство, что обычно происходит перед финансовым кризисом. Режим доступа: URL: <https://tass.ru/ekonomika/7548097> (дата обращения 10.08.2023).



- LIS. Overview DART Aggregates, Indicators, and Decompositions. Available at: <https://www.lisdatacenter.org/data-access/dart/indicators/> (accessed 10.08.2023).
- OECD. Income (IDD) and Wealth (WDD) Distribution Databases Available at: <https://www.oecd.org/social/income-distribution-database.htm> (accessed 10.08.2023)
- OXFAM. Mega-rich recoup COVID-losses in record-time yet billions will live in poverty for at least a decade. Available at: <https://www.oxfam.org/en/press-releases/mega-rich-recoup-covid-losses-record-time-yet-billions-will-live-poverty-least> (accessed 10.08.2023)
- PIIE. How to fix economic inequality? Peterson Institute for International Economics. Available at: <https://www.piie.com/sites/default/files/documents/how-to-fix-economic-inequality.pdf> (accessed 20-08-2023)
- UN. 2020. World Social Report 2020. United Nations. Available at: <https://www.un.org/development/desa/dspd/world-social-report/2020-2.html> (accessed 10.08.2023)
- WID. World inequality data. Available at: <https://wid.world/data/> (accessed 20-08-2023).
- WB. (a). Poverty and Inequality. World bank. Available at: <https://www.worldbank.org/en/research/brief/poverty-inequality/> (accessed 10.08.2023).
- WB (b). World Development Indicators database. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD?view=chart> (accessed 10.09.2023).

### Список литературы

- Анисимова Г. 2020. Обострение социально-экономического неравенства в России. Общество и экономика, 9: 125-134. DOI: 10.31857/S020736760011355-9.
- Балацкий Е.В. 2018. Сравнительные характеристики прогрессивной и плоской шкалы подоходного налога. Журнал институциональных исследований, 10 (3): 102-122. DOI: 10.17835/2076-6297.2018.10.3.102-122.
- Варшавский А.Е. 2019. Чрезмерное неравенство доходов-проблемы и угрозы для России. Социологические исследования, 8: 52-61. DOI 10.31857/S013216250006136-2.
- Дроздов О.А. 2020. Экономическое неравенство в России и перспективы его сокращения. Научные труды Вольного экономического общества России, 224(4): 324-341. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-224-4-324-341.
- Карцева М.А. 2020. Справедливое и несправедливое неравенство в России: оценка вклада неравенства возможностей в неравенство доходов. Прикладная эконометрика, 2(58): 5-31. DOI: 10.22394/1993-7601-2020-58-5-31.
- Капелюшников Р.И. 2020. Команда Т. Пикетти о неравенстве в России: коллекция статистических артефактов. Вопросы экономики, 4: 67-106. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-4-67-106>
- Костылева Л. 2022. Неравенство населения России: тенденции, факторы, регулирование. Институт социально-экономического развития территорий РАН. Вологда: Вологодский научный центр Российской академии наук, 223 с. ISBN 978-5-93299-180-0.
- Леонидова Г.В. 2022. Кластерный анализ доходного неравенства населения российских регионов. Проблемы развития территории, Т. 26, 6: 94-114. DOI 10.15838/ptd.2022.6.
- Лившиц В.Н. 2018. Бедность и неравенство денежных доходов населения в России и за рубежом. Часть 2. Экономическая наука современной России, 1(80): 49-68.
- Малева Т.М., Карцева М.А., Кузнецова, П.О. 2022. Неравенство возможностей в российских регионах: объективные оценки и особенности восприятия населением. Экономика региона, 18(3): 673-686.
- Мареева С.В. 2020. Монетарное неравенство в России в социологическом измерении. Вестник института социологии, 11(3): 78-98. DOI: 10.19181/vis.2020.11.3.664
- Матыцин М.С., Ершов Э.Б. 2012. Исследование дифференциации российского населения по реальным доходам. Экономический журнал Высшей школы экономики, 16(3): 318-340.
- Михайлов А.Ю. 2011. Приватизация в России: мифы и реальность. Всероссийский экономический журнал ЭКО, 6 (444): 5-25.
- Овчарова Л.Н., Попова, Д.О., Рудберг, А.М. 2016. Декомпозиция факторов неравенства доходов в современной России. Журнал Новой экономической ассоциации, 3: 170-185. DOI: 10.31737/2221-2264-2016-31-3-8.



- Сухарев О.С. (2022). Неравенство и его влияние на экономическое развитие. Экономика. Налоги. Право, 15(3): 6-20. doi: 10.26794/1999-849X-2022-15-3-6-20
- Шевяков А.Ю. 2011. Мифы и реалии социальной политики: Монография. Учреждение Российской академии наук Институт социально-экономических проблем народонаселения РАН. М., 76 с.
- Широв А.А., Узьяков М.Н., & Узьякова Е.С. 2022. Перераспределение первичных доходов населения как фактор снижения неравенства и ускорения экономического роста на региональном уровне. Экономика региона, 18(2): 423-436. DOI 10.17059/ekon.reg.2022-2-9.
- Atkinson A.B., Micklewright J. 1992. Economic Transformation in Eastern Europe and the Distribution of Income. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dorofeev, M.L. 2021. Does income inequality create excessive threats to the sustainable development of Russia? Evidence from intercountry comparisons via analysis of inequality heatmaps. Economies, 9(4). DOI 10.3390/economies9040166.
- Dorofeev M.L. 2022. Interrelations between Income Inequality and Sustainable Economic Growth: Contradictions of Empirical Research and New Results. Economies, 10 (2). DOI: 10.3390/economies10020044.
- Jovanovic B. 2001. Russian Roller Coaster: Expenditure Inequality and Instability in Russia, 1994-98. Review of Income and Wealth, 47(2): 251–271. DOI:10.1111/1475-4991.00015
- Milanovic B. 1999. Explaining the increase in inequality during transition. Economics of Transition, 7(2): 299-341. <https://doi.org/10.1111/1468-0351.00016>
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. 2018. From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905-2016. Journal of Economic Inequality, 16(2): 189-223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10888-018-9383-0>

## References

- Anisimova G. 2020. Obostrenie social'no-jekonomicheskogo neravenstva v Rossii. [The aggravation of socio-economic inequality in Russia.] Obshhestvo i jekonomika, 9: 125-134. DOI: 10.31857/S020736760011355-9. (In Russian)
- Balackij E.V. 2018. Sravnitel'nye harakteristiki progressivnoj i ploskoj shkaly podohodnogo naloga. [Comparative characteristics of progressive and flat income tax scales] Zhurnal institucional'nyh issledovanij, 10 (3): 102-122. DOI: 10.17835/2076-6297.2018.10.3.102-122. (In Russian)
- Varshavskij A.E. 2019. Chrezmernoe neravenstvo dohodov-problemy i ugrozy dlja Rossii. [Excessive income inequality-problems and threats for Russia.] Sociologicheskie issledovanija, 8: 52-61. DOI 10.31857/S013216250006136-2. (In Russian)
- Drozdov O.A. 2020. Jekonomicheskoe neravenstvo v Rossii i perspektivy ego sokrashhenija. [Economic inequality in Russia and prospects for its reduction.] Nauchnye trudy Vol'nogo jekonomicheskogo obshhestva Rossii, 224(4): 324-341. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-224-4-324-341. (In Russian)
- Karceva M.A. 2020. Spravedlivoe i nespravedlivoe neravenstvo v Rossii: ocenka vклада neravenstva vozmozhnostej v neravenstvo dohodov. Prikladnaja jekometrika. [Fair and unfair inequality in Russia: estimating the contribution of inequality of opportunity to income inequality], 2(58): 5-31. DOI: 10.22394/1993-7601-2020-58-5-31. (In Russian)
- Kapeljushnikov R.I. 2020. Komanda T. Piketti o neravenstve v Rossii: kollekcija statisticheskikh artefaktov. [T. Piketty's team on inequality in Russia: a collection of statistical artifacts.] Voprosy jekonomiki, 4: 67-106. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-4-67-106> (In Russian)
- Kostyleva L. 2022. Neravenstvo naselenija Rossii: tendencii, faktory, regulirovanie. [Population inequality in Russia: trends, factors, regulation] Institut social'no-jekonomicheskogo razvitija territorij RAN. Vologda: Vologodskij nauchnyj centr Rossijskoj akademii nauk. 223 s. ISBN 978-5-93299-180-0. (In Russian)
- Leonidova G.V. 2022. Klasternyj analiz dohodnogo neravenstva naselenija rossijskich regionov. [Cluster analysis of income inequality of the population of Russian regions] Problemy razvitija territorii, Vol. 26, 6: 94-114. DOI 10.15838/ptd.2022.6. (In Russian)
- Livshic V.N. 2018. Bednost' i neravenstvo denezhnyh dohodov naselenija v Rossii i za rubezhom. Chast' 2. [Poverty and inequality of money incomes of the population in Russia and abroad. Part 2] Jekonomicheskaja nauka sovremennoj Rossii, 1(80): 49-68. (In Russian)
- Maleva T.M., Karceva M.A., Kuznecova, P.O. 2022. Neravenstvo vozmozhnostej v rossijskich regionah: ob#ektivnye ocenki i osobennosti vosprijatija naseleniem. [Inequality of opportunities in Russian

- regions: objective assessments and peculiarities of population perception.] *Jekonomika regiona*, 18(3): 673-686. (In Russian)
- Mareeva S.V. 2020. Monetarnoe neravenstvo v Rossii v sociologicheskom izmerenii. [Monetary inequality in Russia in the sociological dimension]. *Vestnik instituta sociologii*, 11(3): 78-98. DOI: 10.19181/vis.2020.11.3.664 (In Russian)
- Matycin M.S., Ershov Je. B. 2012. Issledovanie differenciacii rossijskogo naselenija po real'nyh dohodam. [A study of differentiation of the Russian population by real income.] *Jekonomicheskij zhurnal Vysshej shkoly jekonomiki*, 16(3): 318-340. (In Russian)
- Mihajlov A.Ju. 2011. Privatizacija v Rossii: mify i real'nost'. [Privatization in Russia: myths and reality.] *Vserossijskij jekonomicheskij zhurnal JeKO*, 6 (444): 5-25. (In Russian)
- Ovcharova L.N., Popova, D.O., Rudberg, A.M. 2016. Dekompozicija faktorov neravenstva dohodov v sovremennoj Rossii. [Decomposition of income inequality factors in modern Russia.] *Zhurnal Novoj jekonomicheskij asociacii*, 3: 170-185. DOI: 10.31737/2221-2264-2016-31-3-8. (In Russian)
- Suharev O.S. (2022). Neravenstvo i ego vlijanie na jekonomicheskoe razvitie. [Inequality and its impact on economic development.] *Jekonomika. Nalogi. Pravo*, 15(3): 6-20. doi: 10.26794/1999-849X-2022-15-3-6-20 (In Russian)
- Shevjakov A. Ju. 2011. Mify i realii social'noj politiki: Monografija. [Myths and realities of social policy: A monograph] *Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut social'no-jekonomicheskijh problem narodonaselenija RAN*. M.: 76 s. (In Russian)
- Shirov A.A., Uzjakov M.N., & Uzjakova E.S. 2022. Pereraspredelenie pervichnyh dohodov naselenija kak faktor snizhenija neravenstva i uskorenija jekonomicheskogo rosta na regional'nom urovne. [Redistribution of primary incomes of the population as a factor in reducing inequality and accelerating economic growth at the regional level.] *Jekonomika regiona*, 18(2): 423-436. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-2-9. (In Russian)
- Atkinson A.B., Micklewright J. 1992. *Economic Transformation in Eastern Europe and the Distribution of Income*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dorofeev, M.L. 2021. Does income inequality create excessive threats to the sustainable development of Russia? Evidence from intercountry comparisons via analysis of inequality heatmaps *Economies*, 9(4). DOI 10.3390/economies9040166.
- Dorofeev M.L. 2022. Interrelations between Income Inequality and Sustainable Economic Growth: Contradictions of Empirical Research and New Results. *Economies*, 10 (2). DOI: 10.3390/economies10020044.
- Jovanovic B. 2001. Russian Roller Coaster: Expenditure Inequality and Instability in Russia, 1994-98. *Review of Income and Wealth*, 47(2): 251–271. DOI:10.1111/1475-4991.00015
- Milanovic B. 1999. Explaining the increase in inequality during transition. *Economics of Transition*, 7(2): 299-341. <https://doi.org/10.1111/1468-0351.00016>
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. (2018). From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905-2016. *Journal of Economic Inequality*, 16(2): 189-223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10888-018-9383-0>

**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 18.10.2023

Поступила после рецензирования 03.11.2023

Принята к публикации 14.11.2023

Received October 18, 2023

Revised November 03, 2023

Accepted November 14, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Дорофеев Михаил Львович**, кандидат экономических наук, доцент Департамента общественных финансов, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Mikhail L. Dorofeev**, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Public Finance, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

УДК 332.142

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-836-847

## Государственная региональная поддержка малого и среднего предпринимательства: кредитный аспект

<sup>1</sup>Эльдиева Т.М., <sup>2</sup>Черствов А.А.

<sup>1</sup>Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого,  
Россия, 173003, Новгородская обл., Великий Новгород, ул. Б.Санкт-Петербургская, 41.

<sup>2</sup>Департамент развития малого и среднего предпринимательства  
Министерства инвестиционной политики Новгородской области,  
Россия, 173005, Новгородская обл., Великий Новгород, пл. Победы-Софийская, д. 1  
E-mail: Tatiana.Eldieva@novsu.ru, a.a.cherstvov@novreg.ru

**Аннотация.** Данная статья раскрывает вопросы государственной поддержки представителей малого и среднего предпринимательства. Авторы рассматривают действующую на территории Новгородской области систему кредитной поддержки, ее применимость и возможности для предпринимательского сообщества региона. На территории Новгородской области такая поддержка осуществляется на основании Областного закона «О развитии малого и среднего предпринимательства в Новгородской области». Государственная поддержка малого и среднего предпринимательства осуществляется в рамках реализуемого с 2018 года национального проекта «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы». В рамках исследования были рассмотрены и проанализированы ряд льготных программ кредитования (программы стимулирования кредитования (ПСК): ПСК «Инвестиционная», ПСК «Оборотная», Программа «1764», «ПСК+1764» и другие). Изучен опыт работы по реализации кредитной поддержки Новгородского фонда поддержки малого предпринимательства. Отмечается положительный эффект проявленных инициатив региональных властей, которые выходят на новый уровень взаимодействия с федеральными органами власти и предпринимательским сообществом, построенные на системном подходе к созданию комплексной и эффективной кредитной поддержки малого и среднего предпринимательства региона. Показана востребованность и эффективность кредитно-гарантийной поддержки бизнеса как одного из инструментов стимулирования развития предпринимательской активности в регионе.

**Ключевые слова:** малый и средний бизнес, предпринимательство, региональная политика, кредитная поддержка

**Для цитирования:** Эльдиева Т.М., Черствов А.А. 2023. Государственная региональная поддержка малого и среднего предпринимательства: кредитный аспект. Экономика. Информатика, 50(4): 836–847. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-836-847

## State Regional Support of Small and Medium-Sized Businesses: Credit Aspect

<sup>1</sup>Tatiana M. Eldieva, <sup>2</sup>Alexander A. Cherstov

<sup>1</sup>Yaroslav the Wise Novgorod State University  
41, B.St. St. Petersburg St., Veliky Novgorod, Novgorod Region, 173003, Russia

<sup>2</sup>Department for the Development of Small and Medium Enterprises  
of the Ministry of Investment Policy of the Novgorod Region  
1, pl. Pobedy-Sofiiskaya, Veliky Novgorod, Novgorod Region, 173005, Russia  
E-mail: Tatiana.Eldieva@novsu.ru, a.a.cherstvov@novreg.ru

**Abstract.** This article reveals the issues of state support for small and medium-sized enterprises. The authors consider the credit support system operating in the Novgorod region, its applicability and

opportunities for the entrepreneurial community of the region. In the Novgorod region such support is provided on the basis of the Regional Law "On the Development of Small and Medium Entrepreneurship in the Novgorod region". State support for small and medium-sized entrepreneurship is provided within the framework of the national project "Small and medium-sized entrepreneurship and support for individual entrepreneurial initiative" implemented since 2018. As part of the research, a number of preferential lending programmes were considered and analysed (Loan Incentive Programmes (LIP): FCP "Investment", FCP "Revolving", Programme "1764", "FCP+1764" and others). The experience of the Novgorod Small Business Support Fund in the implementation of credit support has been studied. The positive effect of the initiatives of the regional authorities, which reach a new level of interaction with the federal authorities and the business community, based on a systematic approach to the creation of a comprehensive and effective credit support for small and medium-sized businesses in the region, is noted. The article shows the demand for and effectiveness of credit and guarantee support of business as one of the tools to stimulate the development of entrepreneurial activity.

**Keywords:** small and medium business, entrepreneurship, regional policy, credit support

**Для цитирования:** Eldieva T.M., Cherstov A.A. 2023. State Regional Support of Small and Medium-Sized Businesses: Credit Aspect. Economics. Information technologies, 50(4): 836–847 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-836-847

---

## Введение

В последние годы наметилась тенденция к увеличению количества и разнообразия мер государственной поддержки малого и среднего бизнеса России, что опережает некоторые зарубежные страны. [Djankov, Miguel, Qian, Roland, Zhuravskaya, 2005]. Сегодня мы видим целенаправленные действия со стороны Правительства РФ, Минэкономразвития России и в каждом российском регионе по созданию всесторонней системной поддержки бизнеса. Такого разнообразия «программ поддержки» не встретишь ни в одной из зарубежных стран [Калмыков, Иванова, Землянская, Мирошников, Исаев, 2019].

Как мы знаем, так было не всегда, при массовом появлении представителей сектора малого и среднего предпринимательства (далее – МСП), а это 90-е, присутствовал высокий уровень неопределенности «в завтрашнем дне». И как отмечают Земцов С. и Царева Ю. лишь в 2000-е годы началось сглаживание территориального различия по уровню развития малого и среднего предпринимательства в относительно стабильные группы [Земцов, Царева, 2023]. При этом мы понимаем, что российские регионы ввиду специфики географического расположения, структуры экономики, инвестиционной привлекательности и многих других факторов существенно отличаются друг от друга. Поэтому уровень их социально-экономического развития имеет прямое влияние на предпринимательскую активность населения.

Последние десятилетия все направления развития предпринимательства носили точечный характер, самой действенной формой стимулирования на тот момент являлось предоставление субсидий. При этом их получение было затруднено высокими требованиями отбора получателей, условия постоянно менялись и не все могли на них рассчитывать [Ферафонтова, 2021]. Однако эти трудности и послужили толчком к созданию системной поддержки предпринимательства – Национальной гарантийной системы, которая сегодня включает в себя три уровня: Корпорация МСП, МСП Банк и сеть из 86 региональных гарантийных организаций (РГО) [Yakovlev, Zhuravskaya, 2013]. В 2006 году по инициативе Минэкономразвития стало возможным открытие учреждений по кредитованию бизнеса во всех регионах России, благодаря масштабированию успешного опыта работы московского Фонда содействия кредитованию [Левшенко, 2020]. Данная инициатива получила широкий отклик предпринимательского сообщества, что привело к созданию в 2014 году Агентства кредитных гарантий – единого центра гарантийной поддержки субъектов МСП, которое послужило фундаментом для построения в 2015 году Корпорации МСП [Плохих, 2020].

Также в этот период происходит настройка государственной политики в области развития МСП, в 2007 году принимается закон № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации», что позволяет вывести на новый уровень взаимодействия все ветви власти, работа приобретает системный и централизованный характер [Скворцова, 2021]. На современном этапе (до 2024) таким «прорывным» документом становится нацпроект «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы», который определяет вектор развития, инструменты поддержки и ключевые маркеры эффективности. Сегодня в гонке по наращиванию предпринимательской активности участвуют почти все субъекты Российской Федерации [Zemtsov, 2020]. Как они осуществляют поддержку и какие механизмы финансирования используют рассмотрим на материале Новгородской области.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования является сектор малого и среднего предпринимательства Новгородской области и действующая система государственной поддержки в части кредитования субъектов бизнеса. В основу исследования легли данные открытых реестров налоговых органов, статистические данные, государственные программы поддержки и развития МСП на федеральном и региональном уровне, материалы статей научных конференций и журналов, посвященных вопросам государственной поддержки МСП в России и регионах. Для выстраивания исследования использовались принципы дедукции, индукции и аргументации, что послужило базой для дальнейших исследовательских рассуждений и проверки экономических фактов. При формировании целостного представления темы исследования были использованы методы анализа, синтеза, типизации, группировки и классификации, а также эмпирические методы исследования: экспертная оценка и изучение опыта. Целью работы является обобщение и анализ действующего механизма государственной поддержки малого и среднего предпринимательства в регионе.

### **Результаты и их обсуждение**

Поддержка предпринимательских инициатив на территории Российской Федерации осуществляется на всех уровнях. Федеральные установки отражены в Конституции Российской Федерации и Федеральном законе от 24.07.2007 № 209-ФЗ (ред. от 29.12.2022) «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации», а также в других законодательных актах, постановлениях и указах [Адырхаева, 2021]. Ведущая роль в реализации государственной политики в сфере малого и среднего предпринимательства принадлежит Министерству экономического развития Российской Федерации и акционерному обществу «Корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства» (далее Корпорация МСП), мажоритарным акционером которой является Правительство Российской Федерации [Костина, 2017].

Предпринимательская активность на региональном уровне поддерживается внутренними нормативными актами. С 2008 года в Новгородской области активно ведется работа по созданию институциональной, финансовой и инфраструктурной поддержки бизнеса. Началом ее построения становится законодательная инициатива Новгородской области от 07.02.2008 № 245-ОЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Новгородской области». Министерство инвестиционной политики Новгородской области как орган исполнительной власти осуществляет координацию, мониторинг и контроль реализации «новой политики роста» среди предпринимательских структур. Вся совокупность мер государственной поддержки и стимулирования среднего и малого бизнеса осуществляется в рамках сформулированных в 2018 году национальных проектов «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы» и «Международная кооперация и экспорт» – для тех, кто планирует или уже вышел на зарубежные рынки.

В рамках национального проекта «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы» на областном уровне были разработаны проекты, направленные на поддержку предпринимательского сообщества. Проекты реализуются для следующих категорий предпринимателей: самозанятые граждане, на стадии бизнес-идеи и действующих предпринимателей:

- «Создание благоприятных условий для осуществления деятельности самозанятыми гражданами»;
- «Создание условий для легкого старта и комфортного ведения бизнеса»;
- «Акселерация субъектов малого и среднего предпринимательства».

Весь комплекс разработанных мероприятий, направленных на поддержку субъектов малого и среднего предпринимательства региона, нашел свое отражение в Государственной программе Новгородской области «Обеспечение экономического развития Новгородской области на 2019-2025 годы», утвержденной Постановлением Правительства Новгородской области от 24.06.2019 № 235 в виде двух подпрограмм: «Развитие малого и среднего предпринимательства» и «Развитие экспортной деятельности в Новгородской области». Целевыми показателями данной программы являются:

- формирование комплексной системы поддержки малого и среднего предпринимательства в Новгородской области, обеспечение увеличения количества субъектов малого и среднего предпринимательства, оборота субъектов малого и среднего предпринимательства;
- повышение экспортного потенциала Новгородской области.

Все меры поддержки можно классифицировать по следующим признакам:

1. Уровень предоставления меры поддержки – федеральный, региональный, муниципальный.

2. Тип предоставленной поддержки – финансовые и нефинансовые меры поддержки.

Рассмотрим один из видов поддержки, который реализуется в настоящее время на территории Российской Федерации в целом и в Новгородской области в частности – это финансовая поддержка в форме кредитной поддержки.

В условиях социально-экономической волатильности в целях снижения негативных эффектов от санкций, введенных рядом недружественных стран в отношении Российской Федерации, Центральным Банком Российской Федерации принимались решения по повышению ключевой ставки. Из рисунка 1 видно, что максимальное ужесточение денежно-кредитной политики приходилось на время введения санкционных ограничений (2022 год).

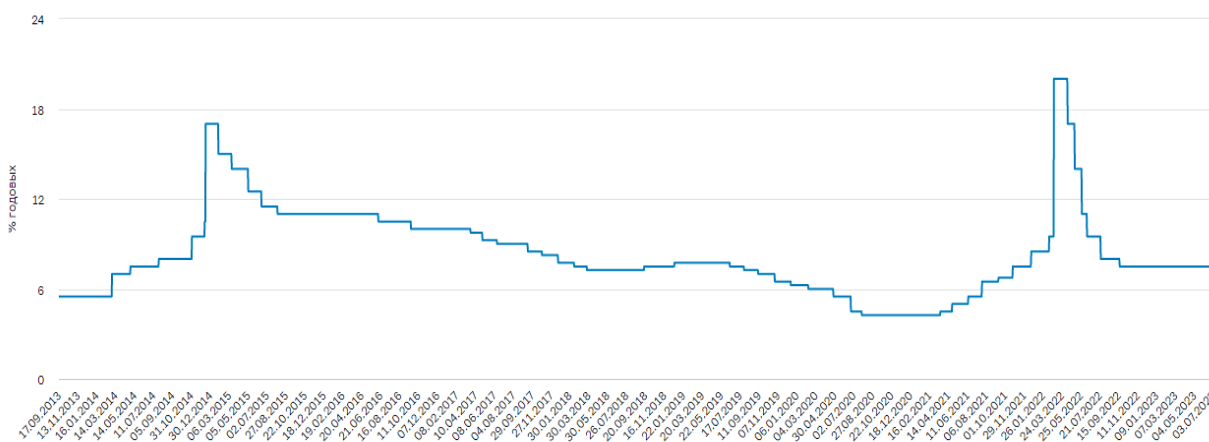


Рис 1. Динамика изменения ключевой ставки ЦБ РФ

Fig. 1. Dynamics of changes in the key rate of the Central Bank of the Russian Federation

Источник: Банк России. Ключевая ставка Банка России URL: [https://cbr.ru/hd\\_base/KeyRate/](https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/) (дата обращения 07.07.2023)

Несмотря на эффективность этого инструмента с точки зрения борьбы с проинфляционными рисками, увеличение ключевой ставки (так, например, 28 февраля 2022 года Совет директоров ЦБ РФ принял решение о повышении ключевой ставки с 9,5 до 20%) повлекло за собой закрытие доступа производственного сектора к кредитованию, отмену всех ранее запланированных инвестиционных программ, реализуемых за счет привлеченных заемных средств. Отсутствие «дешевых» и «длинных» денег негативно сказывается на экономическом развитии, в особенности в секторе малого и среднего предпринимательства [Концибер, 2020].

В целях недопущения возрастания кризисных явлений и недостатка ликвидности для предприятий, в том числе и в секторе малого и среднего бизнеса, объединив усилия, Центральный банк РФ, Минэкономразвития России и АО «Корпорация МСП» разработали целый ряд льготных программ кредитования. Это программы стимулирования кредитования (ПСК) с целевой направленностью на поддержание экономической активности субъектов малого и среднего предпринимательства (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Программы льготного кредитования для субъектов МСП  
 Soft loan programs for small and medium-sized enterprises

Наименование программы	Условия	Получатель
ПСК «Инвестиционная»  ПСК «Оборотная»	На оборотные и инвестиционные цели: – до 10,5% – для среднего бизнеса. – до 11,5% – для малого бизнеса. – до 12% – для микробизнеса. – до 2 млрд рублей. – до 3 лет.	Предприниматели, включенные в реестр МСП.  И не должны быть связаны с представителями крупного бизнеса (доля крупного бизнеса не более 25% в уставном капитале).
Программа «1764»	На инвестиционные цели: – ключевая ставка + 2,75 % годовых. – от 500 тыс. до 2 млрд рублей. – до 10 лет.	Предприниматели, занимающиеся торговлей, оптом и в розницу; сельским хозяйством; осуществляющие деятельность в области внутреннего туризма, науки и техники, здравоохранения, образования, обрабатывающей промышленности, ресторанного бизнеса и предоставляющие бытовые услуги.
	На пополнение оборотных средств: – ключевая ставка + 2,75 % годовых. – от 500 тыс. до 500 млн рублей. – до 3 лет.	
	На развитие предпринимательской деятельности: – ключевая ставка + 3,5 % годовых. – до 10 млн рублей. – до 3 лет.	
	На рефинансирование: – ключевая ставка + 2,75 % годовых. – от 500 тыс. до 2 млн рублей. – до 10 лет.	
«ПСК+1764»	– до 2,5% – для среднего бизнеса. – до 4% – для малого бизнеса. – до 4% – для микробизнеса. в первые 3 года, далее по ставке «1764». – до 2 млрд рублей. – до 3 лет.	Предприниматели, включенные в реестр МСП

Источник: Министерство экономического развития РФ URL: <https://invest.economy.gov.ru/> (дата обращения 17.04.2023).

Для поддержания системообразующих предприятий «на плаву» и не допущения перерывов в работе и сокращения занятости была разработана программа «Льготное кредитование для системообразующих организаций и их дочерних обществ» (рекомендации Минэкономразвития России от 23.03.2020 № 8952-РМ/Д18и), которая дала возможность получать максимальную сумму кредита – 3 млрд рублей. Данный кредит позволит пополнить оборотные средства предприятиям, что снизит риски спада производства [Антонова, Барина, Громов, Земцов, 2020].

Представленные меры государственной поддержки отражают современные потребности бизнеса в финансовой помощи в приоритетных отраслях (видах деятельности), а также целевой поддержки тех или иных групп как уже действующих, так и потенциальных субъектов малого бизнеса [Барина, 2018].

Региональные власти, желая расширить возможности кредитной поддержки субъектов МСП внутри региона, сделали возможным открытие региональной микрофинансовой организации (далее – МФО) и региональной гарантийной организации (далее – РГО), которые в Новгородской области осуществляют свою деятельность на базе Новгородского фонда поддержки малого предпринимательства (микрокредитная компания) (далее – Фонд). Деятельность МФО регулируется Банком России и Федеральным законом от 02.07.2010 № 151-ФЗ «О микрофинансовой деятельности и микрофинансовых организациях». Реализация данного направления позволила осуществлять кредитование по льготной процентной ставке, а именно:

- 1% – 1 млн рублей. Займ выдается индивидуальным предпринимателям или юридическим лицам, учредители которых получили из Центра занятости Новгородской области субсидию на открытие собственного дела, либо получили социальный контракт.

- 3% – 1 млн рублей. Займ выдается на цели осуществления деятельности в сфере социального предпринимательства.

- 1% – 1 млн рублей. Данная программа предусмотрена для субъектов МСП (ИП и ЮЛ), учредители которых на дату подачи заявки являются студентами образовательных организаций Новгородской области.

Базовая программа Фонда в части льготного кредитования – 7,5% на срок до 36 месяцев на сумму не более 5 млн рублей. Сроки и максимальный размер займа регулируется федеральными нормативными актами.

Во время пандемии новой коронавирусной инфекции Новгородским фондом реализовывались специальные программы по кредитованию бизнеса со ставкой от 0,1%.

Кроме того, если у предпринимателя не хватает залога для получения финансирования при получении кредита, займа или лизинговой сделки, то Фонд предоставляет поручительства по всем обязательствам. Сумма поручительства: не более 25 млн руб. по одному договору, или не более 37,5 млн руб. в совокупности на заемщика, но не более 70% от суммы кредита. Вознаграждение, уплачиваемое Заемщиком Фонду: 0,5% годовых от остатка суммы поручительства по кредитам, займам, договорам банковской гарантии, лизингу.

Для более крупных кредитов АО «Корпорация МСП» предоставляет «зонтичный» механизм поручительства. Это один из упрощенных способов получить кредит, поручительство покрывает до 50% от суммы кредита, его размер доходит до 1 млрд. рублей на срок не более 180 месяцев. Само поручительство для предпринимателей бесплатно, комиссию платит банк. Действующим законодательством предусматривается возможность использования совмещенной гарантии Фонда и «зонтичных» поручительств АО «Корпорация МСП» [Lavrinenko, Mikhailova, Romashina, Chistyakov, 2019].

Рассмотрим результаты региональной политики «в действии». На начало 2023 года в Новгородской области насчитывается 20606 субъектов малого и среднего предприни-



мательства, из них 13663 индивидуальных предпринимателя и 6943 юридических лица (табл. 2).

В структуре субъектов малого и среднего предпринимательства по видам экономической деятельности наибольшую долю занимает оптовая и розничная торговля – 32,0 %; производство сельскохозяйственной продукции – 19,0 %; транспортировка и хранение – 15,0 %. Доля обрабатывающих производств составляет 8,0 %; строительства – 10,1 %; сферы предоставления персональных услуг – 6,8 %; гостиниц и предприятий общественного питания – 4,1 %; деятельности по операциям с недвижимым имуществом – 3,7 %; прочие – 1,3 %. Количество самозанятых граждан составляет 20934 человека.

Таблица 2  
Table 2

Количество субъектов малого и среднего предпринимательства в Новгородской области, ед.  
Number of small and medium-sized businesses in the Novgorod region, units

Субъект МПС	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023*
Всего, в том числе	21693	20913	19876	20339	20606
– индивидуальные предприниматели	13702	13372	12753	13319	13663
– юридические лица	7991	7541	7123	7020	6943

\* по состоянию на 01.04.2023

Источник: Федеральная налоговая служба РФ. URL: <https://rmsp.nalog.ru/> (дата обращения 17.04.2023)

Для реализации федеральных программ льготного кредитования, по данным Банка России, в Новгородской области объем кредитов, предоставленных субъектам МСП составляет более 4000 млн рублей, что свидетельствует о росте на 22%, по сравнению с 2022 годом (табл. 3).

Таблица 3  
Table 3

Объемы кредитов, выданных субъектам МСП, млн рублей  
Volumes of loans granted to small and medium-sized enterprises, million rubles

Территория	Годы		Изменение 2022 г. к 2021 г., %	Годы		Изменение 2023 г. к 2022 г., %
				январь-март 2022	январь-март 2023	
Северо-Западный федеральный округ	1338076,0	1401111,0		329829,0	281467,0	
Новгородская область	18628,0	13793,0		3516,0	4293,0	

Источник: составлено авторами на основе данных Банка России

Рассматривая объемы кредитования в разрезе программ льготного кредитования, можно отметить возросший спрос среди предпринимателей, осуществляющих свою деятельность в сферах розничной и оптовой торговли, внутреннего туризма и ресторанного бизнеса, в рамках программы «1764» (табл. 4).

Таблица 4

Объемы льготного кредитования, млн рублей  
Volumes of concessional lending, million rubles

Наименование программы	Период		Результаты
	январь-апрель 2022	январь-апрель 2023	
Программа «1764»	24,1	684,5	увеличение в 28 раз
Программа стимулирования кредитования (ПСК)	42,8	353,2	увеличение в 8 раз
«ПСК+1764»	0,0	120,0	начало действия – август 2022

Источник: составлено авторами на основе данных Банка России

Как уже было сказано выше, в Новгородской области финансовую поддержку субъектам МСП оказывает Новгородский фонд поддержки малого предпринимательства (микрокредитная компания). В последние годы Фонд осуществил поддержку более 1200 предпринимателей на сумму более 2900 млн рублей (табл. 5).

Таблица 5

Объемы финансовой поддержки субъектов МСП  
Новгородским фондом поддержки малого предпринимательства  
Volumes of financial support for small and medium-sized businesses  
by the Novgorod Small Business Support Fund

Показатель	Годы			
	2020	2021	2022	I кв. 2023
Количество выданных займов, ед.	531	382	334	75
Общая сумма выданных займов, млн руб.	962,8	774,95	1 192,2	206,3

Источник: составлено авторами на основе данных Новгородского фонда поддержки малого предпринимательства

С каждым годом растет использование такого финансового инструмента как поручительство региональных гарантийных организаций (табл. 6). Молодым и начинающим предпринимателям за счет совмещения «зонтичного» механизма и поручительства региональной гарантийной организации доступны льготные кредиты, по которым покрывается до 90% риска, тогда как для всех остальных представителей малого и среднего бизнеса покрытие поручительств по кредитным обязательствам составит до 70%.

Таблица 6

Объемы финансовой поддержки субъектов МСП  
региональной гарантийной организацией (РГО) Новгородской области  
The volume of financial support for small and medium-sized businesses  
by the regional guarantee organization of the Novgorod region

Показатель	Годы			
	2020	2021	2022	I кв. 2023
Количество выданных поручительств, ед.	37	54	52	12
Общая сумма выданных поручительств, млн руб.	149,0	309,69	319,13	105,5

Источник: составлено авторами на основе данных региональной гарантийной организации

Конечно, исследуя 2020-2023 годы, нельзя не отметить негативное влияние пандемии новой коронавирусной инфекции и санкций, введенные рядом недружественных стран, которые оказали негативное влияние на сектор малого и среднего предпринимательства, в том числе и на предпринимателей Новгородской области [Яхьяева, 2020]. Однако региональные власти выходят на новый уровень взаимодействия с федеральными органами власти и предпринимательским сообществом, что позволяет выйти на допандемийный уровень развития:

1) благодаря комплексной поддержке со стороны федеральных и региональных властей и несмотря на негативные тенденции в экономике количество субъектов малого и среднего предпринимательства не снизилось. При этом существенно увеличилось количество самозанятых граждан, что позволяет сделать вывод о выходе «из тени» части ранее не легализованных в правовом поле предпринимателей.

2) почти треть всего бизнеса относится к сфере оптовой и розничной торговли, что говорит о незначительных изменениях в структуре малого и среднего предпринимательства.

3) количество занятых в сфере малого и среднего предпринимательства, несмотря на негативные экономические факторы, в течение последних 3 лет показывает устойчивый рост.

Несомненно, действующие инструменты кредитной поддержки показывают свою состоятельность и востребованность среди представителей предпринимательского сообщества. Однако необходимо расширять охват субъектов МСП по направлениям деятельности (ОКВЭД), по размеру бизнеса (микро, малые и средние) и находящихся на стадии становления для возможности использования механизмов льготного кредитования.

Также требуется корректировка действующих программ кредитования, в части увеличения объема и срока выданного кредита. Так, для дальнейшего развития института микрокредитования Правительство Новгородской области инициировало внесение изменений в законодательные акты о необходимости увеличения максимального срока кредита до 7 лет и максимальной суммы до 7 млн рублей в рамках реализации программ Новгородского фонда поддержки малого предпринимательства.

Для снижения кредитной нагрузки, лежащей на плечи бизнеса Правительство Новгородской области готово субсидировать процентную ставку за счет средств регионального бюджета. Конечная процентная ставка для предпринимателя может составить всего 3%. С этой целью разрабатывается новая совместная программа кредитования с АО «Корпорация МСП».

Кредитно-гарантийная поддержка субъектов МСП в Новгородской области за исследуемый период показала свою востребованность и эффективность как один из инструментов стимулирования развития бизнеса в регионе.

### **Заключение**

Несомненно, программы кредитной поддержки позволяют создать условия для свободного доступа представителей малого и среднего предпринимательства к финансовой помощи. Выбранный курс расширения системы поддержки малого и среднего бизнеса, введения новых инструментов и механизмов стимулирования развития, альтернативных банковскому кредиту, повышает доступность бизнеса к финансовым услугам. Их использование расширяет возможности предпринимателей по выбору наиболее подходящего и комфортного для себя способа финансирования.

Важно отметить, что необходимо продолжить путь реализации мер государственной поддержки, которые бы включали региональные особенности развития отраслей малого и среднего бизнеса. Так, в Новгородской области стоит уделить внимание малым предпринимателям, занятым в сфере сельского хозяйства, перерабатывающей промышленности и другим, масштабировать лучшие практики разных регионов России.

В условиях меняющейся политической и экономической ситуации форматы, формы и условия ведения бизнеса быстро меняются, предпринимателям приходится менять мышление, формы взаимодействия и финансирования. Государственные программы тоже должны меняться, подстраиваться под новые «реалии», выстраивая новый путь развития, так создается новая экосистема предпринимательства.

### Список источников

- Центральный банк РФ. Ключевая ставка Банка России URL: [https://cbr.ru/hd\\_base/KeyRate/](https://cbr.ru/hd_base/KeyRate/) (дата обращения 07.07.2023)
- Министерство экономического развития РФ URL: <https://invest.economy.gov.ru/> (дата обращения 17.04.2023).
- Федеральная налоговая служба РФ. URL: <https://rmsp.nalog.ru/> (дата обращения 17.04.2023).
- Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24.07.2007 №209-ФЗ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/25971> (дата обращения 17.04.2023).
- Oya Pinar Ardic, Nataliya Mylenko, Valentina Saltane. 2011. Small and Medium Enterprises. A Cross-Country Analysis with a New Data Set. Wash.: World Bank. Policy Research Working Paper 5538. January 2011.

### Список литературы

- Адырхаева Э.А. 2021. Оценка эффективности государственной поддержки малого и среднего бизнеса в современной России. Актуальные вопросы современной экономики, 1: 469-475. DOI 10.34755/IROK.2021.58.32.066
- Антонова М.П., Барина В.А., Громов В.В., Земцов С.П. 2020. Развитие малого и среднего предпринимательство в России в контексте реализации национального проекта. Издательский дом «Дело». РАНХиГС, 88 с. ISBN 978-5-850006-202-6.
- Барина В.П. 2018. Зарубежный опыт развития социального предпринимательства и возможность его применения в России. М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 100 с.
- Бурханова Р.Р., Исламгулова А.Ф. 2017. Государственная поддержка малого бизнеса в России. Аллея науки, 16 (1): 411-414.
- Земцов С.П., Царева Ю.В. 2023. Долгосрочное влияние экстрактивных и инклюзивных институтов на деловую активность в регионах России. Вопросы экономики, 7: 115-141. DOI 10.32609/0042-8736-2023-7-115-141
- Земцов С.П., Чепуренко А.Ю., Барина В.А., Красносельских А.Н. 2020. Новая предпринимательская политика для России после кризиса 2020 года. Вопросы экономики, 10: 44-67. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-10-44-67>
- Калмыков Н.Н., Иванова Т.Б., Землянская И.С., Мирошников Н.И., Исаев А.П. 2019. О совершенствовании механизмов поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства. Российское предпринимательство, 20(3): 789-806. DOI 10.18334/rp.20.3.40476
- Концибер М.В. В.М. Гафурова 2020. Малый бизнес в России: меры государственной поддержки и развития. Актуальные вопросы экономики и управления: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Магнитогорск, 27 апр. 2020 г. / под общ. ред. Н.Р. Балынской. Магнитогорск: 119-123.
- Костина Н.К. 2017. Государственная поддержка малого и среднего бизнеса в России. Результаты современных научных исследований : материалы междунар. (заоч.) науч.-практ. конф., Астана, Казахстан, 21 дек. 2017 г. / под общ. ред. А.И. Вострецова. Астана: 98-102.
- Левшенко А.Е., Шикина В.Р. 2020. Государственная поддержка развития малого бизнеса в России. Актуальные вопросы налогообложения, налогового администрирования и экономической безопасности : сб. науч. ст. IV Всерос. науч.-практ. конф., Курск, 23 окт. 2020 г. Курск, Т. 1: 229-233.
- Плохих Е.Д. 2020. Государственная поддержка малого бизнеса в 2020 году. Формирование и развитие новой парадигмы науки в условиях постиндустриального общества : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 20 дек. 2020 г. Саратов: 106-111.
- Скворцова Т.А., Куринова Я.И. 2021. Тенденции развития государственной политики России в области поддержки малого и среднего бизнеса. Высокие технологии и инновации в науке :

сб. избран. ст. междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 28 марта 2021 г. Санкт-Петербург: 136-139.

- Совершенствование механизма государственной поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства: коллективная монография / под общ. ред. В.В. Алещенко, В.В. Карпова. Омск: ИЦ «Омский научный вестник», 188 с. ISBN 978-5-91306-063-1
- Ферафонтон М.В. 2021. Актуальные проблемы и перспективы развития малого и среднего предпринимательства в РФ. Заметки ученого : науч.-практ. журн., 5-1: 478-483.
- Яхьяева Б.Н., Омариева К.А. 2020. Анализ действующей системы государственной поддержки малого бизнеса в России. Эпоха науки, 22: 217-222. DOI 10.24411/2409-3203-2020-12248
- Djankov S., Miguel E., Qian Y., Roland G., Zhuravskaya E. 2005. Who Are Russia's Entrepreneurs? Journal of the European Economic Association, Vol. 3, 2–3: 587–597.
- Zemtsov S. 2020. New technologies, potential unemployment and 'nescience economy' during and after the 2020 economic crisis. Regional Science Policy & Practice, 12(4): 723–743.
- Lavrinenko P. A., Mikhailova T. N., Romashina A. A., Chistyakov P. A. 2019. Agglomeration effect as a tool of regional development. Studies on Russian Economic Development, 30(3): 268–274.
- Yakovlev E., Zhuravskaya E. 2013. The unequal enforcement of liberalization: evidence from Russia's reform of business regulation. Journal of the European Economic Association, 11(4): 808–838.

## References

- Adyrhaeva E.A. 2021. Ocenka effektivnosti gosudarstvennoj podderzhki malogo i srednego biznesa v sovremennoj Rossii [Assessment of the effectiveness of state support for small and medium-sized businesses in modern Russia]. Aktual'nye voprosy sovremennoj ekonomiki, 1: 469-475. DOI 10.34755/IROK.2021.58.32.066 (in Russian)
- Antonova M.P., Barinova V.A., Gromov V.V., Zemcov S.P. 2020. Razvitie malogo i srednego predprinimatel'stvo v Rossii v kontekste realizacii nacional'nogo proekta [Development of small and medium-sized enterprises in Russia in the context of the implementation of the national project]. Izdatel'skij dom «Delo». RANHiGS, 88 s. ISBN 978-5-850006-202-6. (in Russian)
- Barinova V.P. 2018. Zarubezhnyj opyt razvitiya social'nogo predprinimatel'stva i vozmozhnost' ego primeneniya v Rossii [Foreign experience in the development of social entrepreneurship and the possibility of its application in Russia]. M.: Izd-vo In-ta Gajdara, 100 s. (in Russian)
- Burhanova R.R., Islamgulova A.F. 2017. Gosudarstvennaya podderzhka malogo biznesa v Rossii [Government support for small businesses in Russia]. Alleya nauki, 16 (1): 411-414. (in Russian)
- Zemcov S.P., Careva YU.V. 2023. Dolgosrochnoe vliyanie ekstraktivnyh i inkluzivnyh institutov na delovuyu aktivnost' v regionah Rossii [The long-term impact of extractive and inclusive institutions on business activity in Russian regions]. Voprosy ekonomiki, 7: 115-141. DOI 10.32609/0042-8736-2023-7-115-141 (in Russian)
- Zemcov S.P., СHepurenko A.YU., Barinova V.A., Krasnosel'kih A.N. 2020. Novaya predprinimatel'skaya politika dlya Rossii posle krizisa 2020 goda [A new business policy for Russia after the crisis of 2020]. Voprosy ekonomiki, 10: 44–67. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-10-44-67> (in Russian)
- Kalmykov N.N., Ivanova T.B., Zemlyanskaya I.S., Miroshnikov N.I., Isaev A.P. 2019. O sovershenstvovanii mekhanizmov podderzhki sub"ektov malogo i srednego predprinimatel'stva [On improving support mechanisms for small and medium-sized businesses]. Rossijskoe predprinimatel'stvo, 20(3): 789-806. DOI 10.18334/rp.20.3.40476 (in Russian)
- Konciber M.V. V.M. Gafurova 2020. Malyj biznes v Rossii: mery gosudarstvennoj podderzhki i razvitiya [Small business in Russia: government support and development measures]. Aktual'nye voprosy ekonomiki i upravleniya: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Magnitogorsk, 27 apr. 2020 g. / pod obshch. red. N.R. Balynskoj. Magnitogorsk: 119-123. (in Russian)
- Kostina N.K. 2017. Gosudarstvennaya podderzhka malogo i srednego biznesa v Rossii [Government support for small and medium-sized businesses in Russia]. Rezul'taty sovremennyh nauchnyh issledovanij : materialy mezhdunar. (zaoch.) nauch.-prakt. konf., Astana, Kazahstan, 21 dek. 2017 g. / pod obshch. red. A.I. Vostrecova. Astana: 98-102. (in Russian)
- Levshenko A.E., SHikina V.R. 2020. Gosudarstvennaya podderzhka razvitiya malogo biznesa v Rossii [State support for the development of small businesses in Russia]. Aktual'nye voprosy nalogooblozheniya, nalogovogo administrirovaniya i ekonomicheskoy bezopasnosti : sb. nauch. st. IV Vseoros. nauch.-prakt. konf., Kursk, 23 okt. 2020 g. Kursk, T. 1: 229-233. (in Russian)

- Plohih E.D. 2020. Gosudarstvennaya podderzhka malogo biznesa v 2020 godu [Government support for small businesses in 2020]. Formirovanie i razvitie novoy paradigmy nauki v usloviyah postindustrial'nogo obshchestva : sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Saratov, 20 dek. 2020 g. Saratov: 106-111. (in Russian)
- Skvortsova T.A., Kurinova YA.I. 2021. Tendencii razvitiya gosudarstvennoj politiki Rossii v oblasti podderzhki malogo i srednego biznesa [Trends in the development of Russian state policy in the field of support for small and medium-sized businesses]. Vysokie tekhnologii i innovacii v nauke : sb. izbran. st. mezhdunar. nauch. konf., Sankt-Peterburg, 28 marta 2021 g. Sankt-Peterburg: 136-139. (in Russian)
- Sovershenstvovanie mekhanizma gosudarstvennoj podderzhki sub"ektov malogo i srednego predprinimatel'stva [Improving the mechanism of state support for small and medium-sized businesses]: kollektivnaya monografiya / pod obshch. red. V.V. Aleshchenko, V.V. Karpova. Omsk: IC «Omskij nauchnyj vestnik», 188 s. ISBN 978-5-91306-063-1 (in Russian)
- Ferafontova M.V. 2021. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya malogo i srednego predprinimatel'stva v RF [Current problems and prospects for the development of small and medium-sized enterprises in the Russian Federation]. Zametki uchenogo : nauch.-prakt. zhurn., 5-1: 478-483. (in Russian)
- Yah'yaeva B.N., Omarieva K.A. 2020. Analiz dejstvuyushchej sistemy gosudarstvennoj podderzhki malogo biznesa v Rossii [Analysis of the current system of state support for small businesses in Russia]. Epoha nauki, 22: 217-222. DOI 10.24411/2409-3203-2020-12248 (in Russian)
- Djankov S., Miguel E., Qian Y., Roland G., Zhuravskaya E. 2005. Who Are Russia's Entrepreneurs? Journal of the European Economic Association, Vol. 3, 2–3: 587-597.
- Zemtsov S. 2020. New technologies, potential unemployment and 'nescience economy' during and after the 2020 economic crisis. Regional Science Policy & Practice, 12(4): 723-743.
- Lavrinenko P.A., Mikhailova T.N., Romashina A. A., Chistyakov P.A. 2019. Agglomeration effect as a tool of regional development. Studies on Russian Economic Development, 30(3): 268-274.
- Yakovlev E., Zhuravskaya E. 2013. The unequal enforcement of liberalization: evidence from Russia's reform of business regulation. Journal of the European Economic Association, 11(4): 808-838.

**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 27.07.2023

Поступила после рецензирования 01.11.2023

Принята к публикации 07.11.2023

Received July 27, 2023

Revised November 01, 2023

Accepted November 07, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Эльдиева Татьяна Махмутовна**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры цифровой экономики и управления, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород, Россия

**Черстов Александр Александрович**, директор департамента развития малого и среднего предпринимательства, Министерство инвестиционной политики Новгородской области, г. Великий Новгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tatiana M. Eldieva**, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Digital Economics and Management, Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

**Alexander A. Cherstov**, Director of the Department for the Development of Small and Medium-sized Enterprises of the Ministry of Investment Policy of the Novgorod Region, Veliky Novgorod, Russia

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 681.511.42

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-848-858

## О возникновении резонансной динамики в импульсной системе управления энергообеспечением нагревательной установки для производства монокристаллов сапфира

<sup>1</sup> Гольцов Ю.А., <sup>2</sup> Абдирасулов А.З., <sup>3</sup> Яночкина О.О., <sup>3</sup> Коломиец Е.А., <sup>1</sup> Кижук А.С.

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

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

<sup>2</sup> Ошский государственный университет,

Кыргызстан, 723500, г. Ош ул. , Ленина, 331

<sup>3</sup> Юго-западный государственный университет,

Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

E-mail: uagoltsov@gmail.com, aitibek.osh@gmail.com,

yanoolga@gmail.com, lenus07@gmail.com, askizhuka@gmail.com

**Аннотация.** Изучаются двухчастотные квазипериодические колебания в импульсной системе управления энергообеспечением нагревательной установки для выращивания кристаллов сапфира, поведение которой описывается неавтономными дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью. Такая модель сводится к двумерному негладкому непрерывному отображению. Через бифуркацию Неймарка-Сакера происходит переход от периодических колебаний к квазипериодическим. В фазовом пространстве отображения квазипериодическим колебаниям соответствует замкнутая инвариантная кривая. Выполнен анализ особенностей возникновения резонансной динамики. Области резонансной динамики в пространстве параметров образуют, так называемые языки Арнольда. В негладких системах языки Арнольда имеют специфическую структуру, отличную от структуры резонансных языков гладких систем. Известно, что притягивающая замкнутая инвариантная кривая существует внутри каждого резонансного языка. На этой кривой имеется четное число периодических орбит, половина из которых устойчивые, а половина – седловые, а сама инвариантная кривая образована неустойчивыми многообразиями седловых циклов. Показано, что на замкнутой инвариантной кривой возникают резонансы через гомоклиническую бифуркацию, когда число вращения Пуанкаре становится рациональным.

**Ключевые слова:** система управления энергообеспечением нагревательной установки, двухчастотные колебания, негладкое отображение, бифуркация Неймарка-Сакера, бифуркация граничного столкновения, двумерный тор, замкнутая инвариантная кривая

**Благодарности:** Работа Гольцова Ю.А. и Кижук А.С. выполнена в рамках реализации Федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Абдирасулов А.З. поддержан грантом 14-22 Ошского государственного университета.

Яночкина О.О. и Коломиец Е.А. поддержаны Минобрнауки РФ, программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», проекты № 1.71.23 П и № 1.7.21/S-2.

Исследование проводилось под руководством профессора Ж.Т. Жусубалиева, Международная научная лаборатория динамики негладких систем, Юго-Западный государственный университет, Россия.

**Для цитирования:** Гольцов Ю.А., Абдирасулов А.З., Яночкина О.О., Коломиец Е.А., Кижук А.С. 2023. О возникновении резонансной динамики в импульсной системе управления

энергообеспечением нагревательной установки для производства монокристаллов сапфира.  
Экономика. Информатика, 50(4): 848–858. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-848-858

## On the Appearance of Resonant Dynamics in the Pulse Control System for the Energy Supply of a Heating Plant for Growing Sapphire Crystals

<sup>1</sup> Gol'tsov Yu. A., <sup>2</sup> Abdirasulov A. Z., <sup>3</sup> Yanochkina O. O., <sup>3</sup> Kolomiets E. A., <sup>1</sup> Kizhuk A. S.

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov  
46 Kostyukov St., Belgorod, 308012, Russia

<sup>2</sup> Osh State University  
331 Lenin St, Osh, 723500, Kyrgyzstan

<sup>3</sup> Southwest State University  
94, 50 let Oktyabrya St., Kursk, 305040, Russia  
E-mail: uagoltsov@gmail.com, aitibek.osh@gmail.com,  
yanoolga@gmail.com, lenus07@gmail.com, askizhuka@gmail.com

**Abstract.** In this paper we study the nonlinear phenomena that can be observed in an energy supply pulse modulated control system of a heating unit. The behavior of such a system is described by nonautonomous differential equations with discontinuous right-hand sides. We reduce the investigation of this system to the studying of a two-dimensional non-smooth map. We demonstrate how a quasiperiodic dynamics can arise from a stable periodic motion through a Neimark-Sacker bifurcation. The paper also discusses the specific features of the transition from phase-locked dynamics to quasiperiodicity. The regions of phase-locked dynamics in the parameter space form the so-called Arnold tongues. For piecewise smooth systems, Arnold tongues have a specific sausage-like structure. Within each resonance tongue there is an attracting closed invariant curve. This closed curve includes two cycles, a saddle and a stable, and is formed by the saddle-node connection composed of the unstable manifolds of the saddle cycle. We show that transition from a quasiperiodic to the resonance dynamics may occur in a homoclinic bifurcation. Our numerical analysis shows that firstly a pair periodic orbits (stable) appears in a saddle-node bifurcation. Near the saddle-node bifurcation point we observe the coexistence of the stable cycle and the stable closed invariant curve with a quasiperiodic dynamics. The unstable manifolds of the saddle cycle separate the basins of attraction of the coexisting motions. As the parameters change the manifolds of the saddle cycle become tangent to each other, and this leads to the formation of a nontransversal homoclinic orbit. With the further change of parameters the stable and unstable manifolds of the saddle cycle intersect transversally to form the homoclinic structure. Finally, after the second homoclinic bifurcation a stable resonant closed curve appears, which is formed by the unstable manifolds of the saddle cycle.

**Keywords:** energy supply control system of a heating unit, two-frequency oscillations, non-smooth map, Neimark-Sacker bifurcation, border-collision bifurcation, two-dimensional torus, closed invariant curve

**Acknowledgements:** The work of Gol'tsov Yu. A. and Kizhuk A. S. were supported within the framework of the Program «Priority 2030» on the base of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. The work was realized using equipment of High Technology Center at BSTU named after V. G. Shukhov.

Abdirasulov A. Z. was supported by the grant 14-22 of the Osh State University.

Yanochkina O. O. and Kolomiets E. A. were supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the scope of the Grant «Implementation of the Strategic Academic Leadership program Priority 2030», projects No 1.71.23 II and No 1.7.21/S-2.

The research was performed under the guidance of Prof Zh. T. Zhusubaliyev, International Scientific Laboratory for Dynamics of Non-Smooth Systems, Southwest State University, Russia.



**For citation:** Gol'tsov Yu.A., Abdirasulov A.Z., Yanochkina O.O., Kolomiets E.A., Kizhuk A.S. 2023. On the Appearance of the Resonant Dynamics in the Pulse Control System for the Energy Supply of a Heating Plant For Growing Sapphire Crystals. Economics. Information technologies, 50(4): 848-858 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-848-858

## Введение

Многие задачи физики, математики, биологии, экономики приводят к конечномерным динамическим системам, которые демонстрируют двухчастотные колебания. Двухчастотным колебаниям в фазовом пространстве динамической системы соответствует двумерный инвариантный тор, а замкнутая инвариантная кривая – в отображении [Guckenheimer, Holmes, 2002; Kuznetsov, 2004; Mira et al., 1996; Iooss, Joseph, 1989].

В зависимости от числа вращения Пуанкаре, движение на торе (или замкнутой кривой) может быть квазипериодическим, если оно иррационально и периодическим, если рационально. В первом случае предельным множеством является весь тор, а во втором случае – периодическая орбита [Guckenheimer, Holmes, 2002; Kuznetsov, 2004; Mira et al., 1996; Iooss, Joseph, 1989].

Как известно, в классическом случае, если не выполняются специфические условия, которые называются условиями сильных резонансов, замкнутая инвариантная кривая возникает через бифуркацию Неймарка-Сакера [Guckenheimer, Holmes, 2002; Kuznetsov, 2004; Mira et al., 1996; Iooss, Joseph, 1989].

Рассматриваемый класс систем управления описывается дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью, которые сводятся к негладким непрерывным или разрывным отображениям [Filippov, 1988; Zhusubaliyev, Mosekilde, 2003; Di Bernardo et al., 2008].

В работах [Zhusubaliyev et al., 2002; Zhusubaliyev et al., 2006] показано, что в негладких динамических системах, наряду с классическим, существует другой механизм возникновения замкнутой кривой из неподвижной точки, который связан с особыми бифуркациями, получившими название бифуркаций граничного столкновения («border collision») [Feigin, 1970; Nusse, Yorke 1992; Di Bernardo et al., 1999, Avrutin et al., 2019; Sushko et al., 2016; Zhusubaliyev et al., 2021; Zhusubaliyev et al., 2015; Zhusubaliyev et al., 2022; Banerjee et al., 2000; Zhusubaliyev, Mosekilde et al., 2003; Di Bernardo et al., 2008; Zhusubaliyev et al., 2001].

В случае, когда число вращения рациональное число, то говорят, что имеет место резонанс. Области резонансной динамики в пространстве параметров образуют так называемые языки Арнольда. В негладких системах структура языков Арнольда [см., например, Zhusubaliyev et al., 2002; Zhusubaliyev et al., 2006] отлична от резонансных областей гладких систем.

В данной работе исследуется переход от двухчастотных квазипериодических колебаний к резонансной динамике в импульсной системе управления энергообеспечением нагревательной установки для выращивания монокристаллов сапфира [Жусубалиев и др., 2017.]. Показано, что в области квазипериодической динамики сначала возникает пара периодических орбит через седло-узловую бифуркацию. Устойчивая периодическая орбита сосуществует с устойчивой замкнутой кривой с иррациональным числом вращения. Устойчивые многообразия седлового цикла определяют границы бассейнов притяжения сосуществующих аттракторов. Затем, при вариации параметров квазипериодический режим становится периодическим, через гомоклиническую бифуркацию.

## Постановка задачи

Постановка задачи.

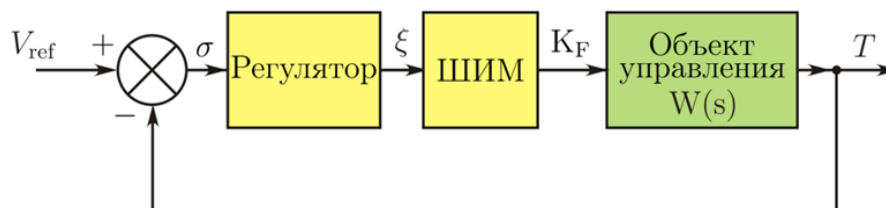


Рис. 1. Система управления энергообеспечением нагревательной установки.

Здесь  $V_{ref}$  – задающий сигнал;  $\sigma$  – сигнал ошибки; ШИМ – широтно-импульсный модулятор;  $\xi$ ,  $K_F$  – входной и выходной сигналы ШИМ;  $T$  – температура печи в точке измерения;  $W(s)$  – передаточная функция объекта управления

Fig. 1. Control system for the energy supply of a heating plant. Here  $V_{ref}$  is the reference signal;  $\sigma$  is the error signal; PWM is pulse width modulator;  $\xi$ ,  $K_F$  are the input and output signals of PWM;  $T$  is the temperature of the furnace at the measuring point;  $W(s)$  is the transfer function of the plant

Структурная схема системы управления энергообеспечением нагревательной установки для выращивания кристаллов сапфира изображена на рисунке 1, где передаточная функция объекта управления имеет вид:

$$W(s) = \frac{327,8}{10240s^2 + 352s + 1} = \frac{K}{T_1 \cdot T_2 \cdot s^2 + (T_1 + T_2) \cdot s + 1}.$$

Здесь  $T_1$ ,  $T_2$  — постоянные времени нагревателя и внутреннего печного пространства, соответственно,  $K$  – коэффициент передачи объекта.

Состояние такой системы описывается дифференциальным уравнением с разрывной правой частью

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b} \times K_F(\xi), \quad (1)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{T_1 \cdot T_2} & -\frac{T_1 + T_2}{T_1 \cdot T_2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K \cdot E_0}{T_1 \cdot T_2} \end{bmatrix},$$

$$K_F(\xi) = \frac{1}{2}[1 + \text{sign}(\xi)],$$

$$\xi = \alpha(V_{ref} - \beta x_1(k \cdot a_0)) - V_0(t / a_0 - \lfloor t / a_0 \rfloor), \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $x_1 = T$ ;  $x_2 = dT/dt$ ;  $T$  – температура печи в точке измерения;  $\xi$ ,  $K_F$  – входной и выходной сигналы широтно-импульсного модулятора (ШИМ);  $V_{ref}$  – управляющий сигнал;  $E_0$  – напряжение питания;  $a_0$  – период модуляции;  $\lfloor \cdot \rfloor$  – функция, выделяющая целую часть аргумента;  $\beta$  – коэффициент передачи датчика обратной связи,  $\alpha$  – коэффициент усиления,  $V_0$  – опорный сигнал модулятора.

Уравнение (1) можно записать в безразмерной форме

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \lambda_1(x - K_F); \\ \dot{y} &= \lambda_2(y - K_F), \\ K_F &= \begin{cases} 1, & \xi \geq 0; \\ 0, & \xi < 0, \end{cases}\end{aligned}\quad (2)$$

$$\begin{aligned}\xi &= q + x(\lfloor \tau \rfloor) - \vartheta y(\lfloor \tau \rfloor) - \frac{P}{\alpha}(\tau - \lfloor \tau \rfloor), \\ \lfloor \tau \rfloor &= k, \quad k=0, 1, 2, \dots,\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}\tau &= a_0 / t, \\ \lambda_1 &= -a_0 / T_1, \\ \lambda_2 &= -a_0 / T_2, \\ \vartheta &= \lambda_1 / \lambda_2, \\ q &= \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\beta \cdot K \cdot E_0 \cdot \lambda_2} V_{ref}, \\ P &= \frac{V_0}{V_{ref}} q, \\ T &= \frac{K \cdot E_0 \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (x - \vartheta y), \\ dT / dt &= \frac{K \cdot E_0 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2}{a_0 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)} (x - y).\end{aligned}$$

Параметры модели такие же, как и в [Жусубалиев и др., 2017].  
Уравнения (2) сводятся к негладкому непрерывному отображению:

$$\begin{aligned}F : (x, y) &\mapsto F(x, y), \\ F(x, y) &= \begin{cases} F_L(x, y), & \vartheta y - x < q - q / \alpha, \\ F_M(x, y), & q - q / \alpha \leq \vartheta y - x \leq q, \\ F_R(x, y), & \vartheta y - x > q. \end{cases}\end{aligned}\quad (3)$$

Здесь

$$\begin{aligned}F_L(x, y) &= \begin{pmatrix} e^{\lambda_1(x-1)+1} \\ e^{\lambda_2(y-1)+1} \end{pmatrix}; \\ F_R(x, y) &= \begin{pmatrix} e^{\lambda_1 x} \\ e^{\lambda_2 y} \end{pmatrix}; \\ F_M(x, y) &= \begin{pmatrix} e^{\lambda_1(x-1)+e^{\lambda_1(1-z)}} \\ e^{\lambda_2(y-1)+e^{\lambda_2(1-z)}} \end{pmatrix}, \\ q + x - \vartheta y - qz / \alpha &= 0.\end{aligned}$$

Здесь  $F_L(x, y)$ ,  $F_M(x, y)$  и  $F_R(x, y)$  являются монотонными функциями. Области определения  $F_L(x, y)$ ,  $F_M(x, y)$  или  $F_M(x, y)$  и  $F_R(x, y)$  разделяются границей, которая называется «border» или многообразием переключения.

### Бифуркационный анализ

На рисунке 2 изображена однопараметрическая бифуркационная диаграмма, рассчитанная численно при  $\Gamma = 7.8$  и  $45.9 < \alpha < 49.8564$ , где  $\Gamma = E_0/E^*$  – нормированное входное напряжение ( $E^* = 1\text{В}$ ). Бифуркационная диаграмма иллюстрирует возникновение пятиполосного квазипериодического режима через бифуркацию Неймарка-Сакера.

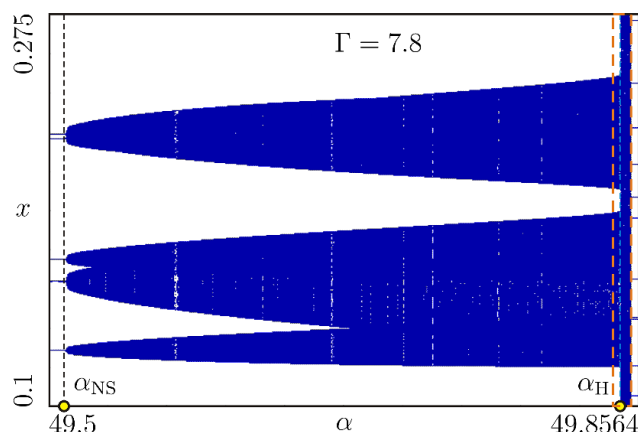


Рис. 2. Бифуркационная диаграмма для  $\Gamma = 7.8$  и  $45.9 < \alpha < 49.8564$

Fig. 2. Bifurcation diagram for  $\Gamma = 7.8$  and  $45.9 < \alpha < 49.8564$

На рисунке 3(а) представлен фазовый портрет отображения (3), из которого видно, что пятиполосному квазипериодическому режиму соответствует пятипериодная замкнутая кривая.

На рисунке 3(б) изображен увеличенный фрагмент фазового портрета, на котором представлена одна из пяти периодических замкнутых кривых. На этом рисунке показано, что границей бассейна притяжения устойчивой замкнутой кривой являются устойчивые многообразия седлового 5-цикла. Заметим, что квазипериодический аттрактор не является единственным: с ним сосуществуют и другие устойчивые периодические движения, например, периодов 9 и 11.

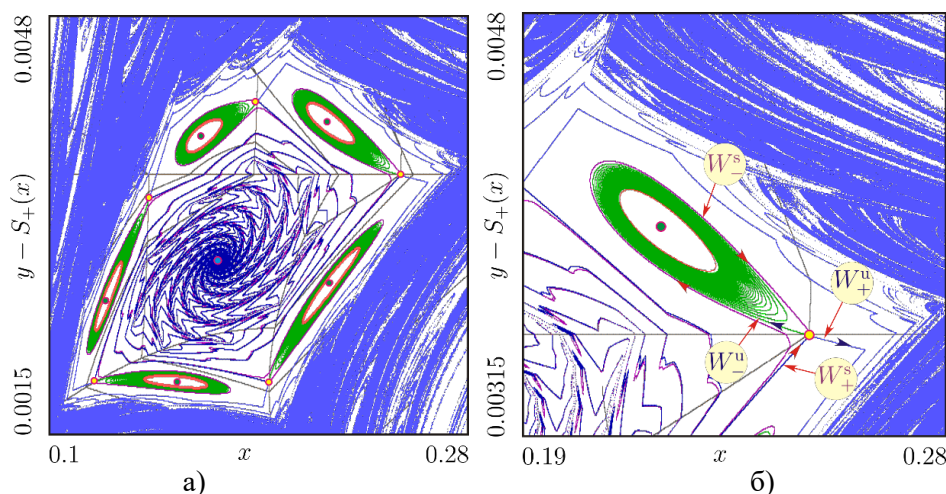


Рис. 3. (а) Фазовые портреты пяти-полосного квазипериодического аттрактора

(б) Увеличенный фрагмент фазового портрета (рис. 3(а))

Fig. 3. (a) Phase portrait for a five-band quasiperiodic attractor (b) Magnification of (fig. 3 (a))

На рис. 4 показана бифуркационная диаграмма для области, где существует устойчивый резонансный 125-цикл ( $\Gamma = 7.8$ ,  $49.8448467 < \alpha < 49.8449281$ ). В точке  $\alpha_1$  возникают устойчивый и седловой периодические орбиты периода 125 через седло-узловую бифуркацию (рис. 4).

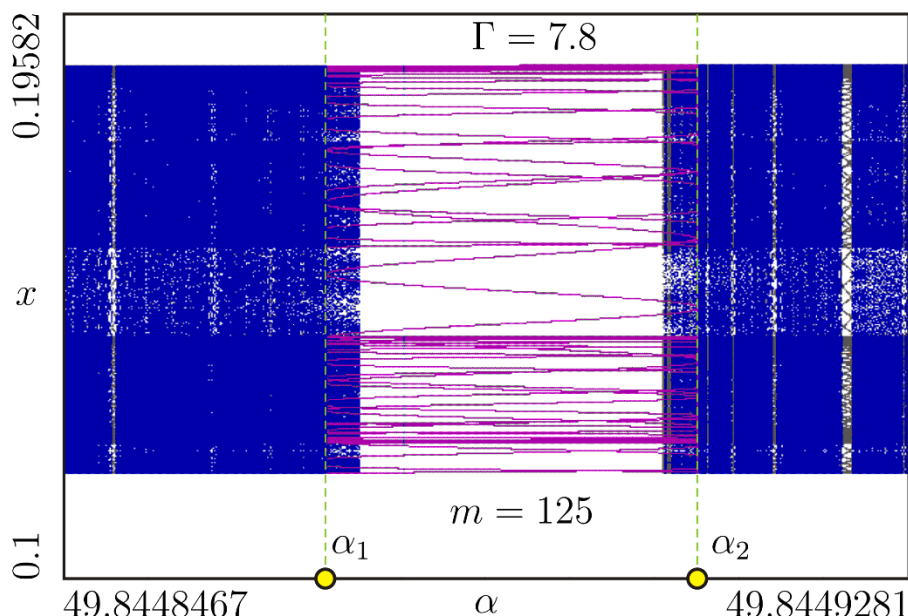


Рис. 4. Бифуркационная диаграмма для  $49.8448467 < \alpha < 49.8449281$   
Fig. 4. Bifurcation diagram for  $49.8448467 < \alpha < 49.8449281$

На рисунке 5(а) представлен фазовый портрет отображения (3) при  $\alpha = 49.8448728$ , из которого видно, что устойчивый цикл периода 125 сосуществует с устойчивой замкнутой кривой. Устойчивое многообразие  $W^s$  седлового 125-цикла определяет границы бассейнов притяжения сосуществующих аттракторов.

Фазовые портреты на рисунке 5(б-г), рассчитанные при  $\alpha = 49.844875299$ ,  $\alpha = 49.8448753$ ,  $\alpha = 49.8448753084$ , показывают механизмы перехода от замкнутой инвариантной кривой с квазипериодической динамикой к резонансному 125-циклу через гомоклиническую бифуркацию.

На рисунке 5(б) ( $\alpha = 49.844875299$ ) приведен фазовый портрет, отвечающий первому гомоклиническому касанию неустойчивого  $W^u$  и устойчивого  $W^s$  многообразий. На рисунке 5(в) ( $\alpha = 49.8448753$ ) показана гомоклиническая структура, отвечающая трансверсальному пересечению неустойчивого  $W^u$  и устойчивого  $W^s$  многообразий седловой периодической орбиты. На рисунке 5(г) изображен фазовый портрет при  $\alpha = 49.8448753084$ , иллюстрирующий вторую гомоклиническую бифуркацию, а на рисунке 5(д) ( $\alpha = 49.844877$ ) представлена устойчивая резонансная кривая после гомоклинических бифуркаций. На рисунке 5(г) показано, что неустойчивыми многообразиями  $W^u$  седлового цикла периода 125 образована замкнутая инвариантная кривая.

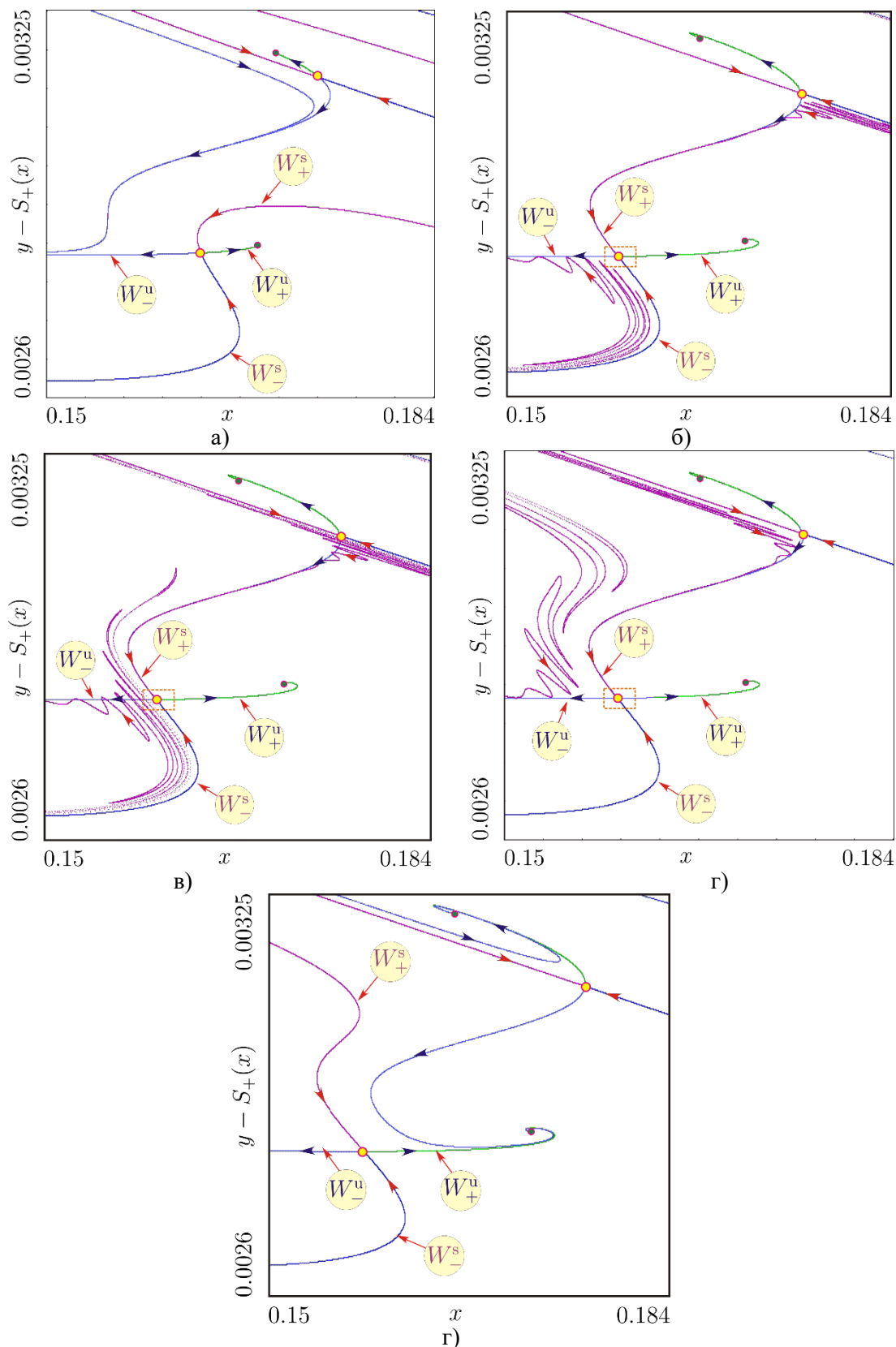


Рис. 5. (а) Фазовый портрет после седло-узловой бифуркации;  
(б) Первое гомоклиническое касание; (в) Гомоклиническая структура;  
(г) Второе гомоклиническое касание; (д) Резонансная замкнутая инвариантная кривая  
Fig. 5. (a) Phase portrait after the saddle-node bifurcation; (b) First homoclinic tangency;  
(c) Homoclinic structure; (d) Second homoclinic tangency; (e) Resonant closed invariant curve

## Заключение

В представленной работе изучен переход от двухчастотных квазипериодических колебаний к резонансной динамике импульсной системы управления энергообеспечением нагревательной установки для выращивания кристаллов сапфира. Показано, что в области существования устойчивой замкнутой кривой, отвечающей двухчастотным колебаниям, сначала, через седло-узловую бифуркацию, возникает пара периодических орбит – устойчивая и седловая. Устойчивая периодическая орбита сосуществует с устойчивой замкнутой кривой с иррациональным числом вращения. Границей бассейнов притяжения сосуществующих аттракторов являются устойчивые многообразия седлового цикла. Затем, при вариации параметров, устойчивый квазипериодический режим переходит в устойчивый резонансный цикл через гомоклиническую бифуркацию.

## Список литературы

- Жусубалиев Ж.Т., Рубанов В.Г., Гольцов Ю.А., Яночкина О.О., Поляков С.А. 2017. Квазипериодичность в системе управления температурным полем нагревательной установки. Научные ведомости БелГУ. Серия Экономика. Информатика. Вып. 44, 23(272): 113–122.
- Avrutin V., Gardini L., Sushko I. and Tramontana F. 2019. Continuous and Discontinuous Piecewise-Smooth One-Dimensional Maps: Invariant Sets and Bifurcation Structures. New Jersey, London, Singapore, Hong Kong: World Scientific, 648.
- Banerjee S., Karthik M. S., Yuan G. and Yorke J. A. 2000. Bifurcations in one-dimensional piecewise-smooth maps — Theory and applications in switching circuits. IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl. 47(3): 389–394. DOI: 10.1109/81.841921.
- Banerjee S., Ranjan P. and Grebogi C. 2000. Bifurcations in two-dimensional piecewise-smooth maps: Theory and applications in switching circuits. IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl., 47(5): 633–643. DOI: 10.1109/81.847870
- Di Bernardo M., Budd C.J., Champneys A.R. and Kowalczyk P. 2008. Piecewise-Smooth Dynamical Systems: Theory and Applications. New York: Springer, 504.
- Di Bernardo M., Feigin M.I., Hogan S.J., Homer M.E. 1999. Local analysis of C-bifurcations in n-dimensional piecewise-smooth dynamical systems. Chaos Solitons & Fractals. 10: 1881–1908.
- Feigin M.I. 1970. Doubling of the oscillation period with C-bifurcations in piecewise-continuous systems, PMM, 34(5): 861–869. [https://doi.org/10.1016/0021-8928\(70\)90064-X](https://doi.org/10.1016/0021-8928(70)90064-X)
- Filippov A.F. 1988. Differential Equations with Discontinuous Right-hand Sides. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 314.
- Guckenheimer J., Holmes Ph. 2002. Nonlinear Oscillations. Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields. Springer New York, 478.
- Iooss G., Joseph D.D. 1989. Elementary Stability and Bifurcation Theory. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 347.
- Kuznetsov Yu. 2004. Elements of Applied Bifurcation Theory. Springer New York, 654.
- Mira C., Gardini L., Barugola A. and Cathala J.-C. 1996. Chaotic dynamics in two-dimensional noninvertible maps. World Scientific, Singapore, 632.
- Nusse H.E., Yorke J.A. 1992. Border-collision bifurcations Including “Period two to period three” for piecewise smooth systems. Physica D. 57(1-2): 39–57. DOI:10.1016/0167-2789(92)90087-4
- Sushko I., Gardini L. and Avrutin V. 2016. Nonsmooth one-dimensional maps: some basic concepts and definitions. J. Diff. Eq. and Applicat. 22(12): 1816–1870. DOI:10.1080/10236198.2016.1248426
- Zhusubaliyev Zh.T. and Mosekilde E. 2003. Bifurcations and Chaos in Piecewise-Smooth Dynamical Systems. New Jersey, London, Singapore, Hong-Kong: World Scientific, 376.
- Zhusubaliyev Zh.T., Avrutin A. and Bastian F. 2021. Transformations of closed invariant curves and closed-invariant-curve-like chaotic attractors in piecewise smooth systems. Internat. J. Bifurcat. Chaos. 31(3): 2130009-1–213009-24. DOI:10.1142/S0218127421300093
- Zhusubaliyev Zh.T., Avrutin V., Sushko I. and Gardini L. 2022. Border collision bifurcation of a resonant closed invariant curve. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. 32(4): 043101-1–043101-10. DOI:10.1063/5.0086419

- Zhusubaliyev Zh.T., Mosekilde E. 2015. Multistability and hidden attractors in a multilevel DC/DC converter. *Mathematics and Computers in Simulation*. 109: 32-45. DOI: 10.1016/j.matcom.2014.08.001
- Zhusubaliyev Zh.T., Mosekilde E., Maity S.M., Mohanan S., Banerjee S. 2006. Border collision route to quasiperiodicity: numerical investigation and experimental confirmation. *Chaos*. 16: 023122–1 – 023122–11. DOI: 10.1063/1.2208565
- Zhusubaliyev Zh.T., Soukhoterlin E.A., Mosekilde E. 2001. Border-collision bifurcations and chaotic oscillations in a piecewise-smooth dynamical system. *Int. J. Bifurc. Chaos*. 11(12): 2977–3001. DOI:10.1142/S0218127401003991
- Zhusubaliyev Zh.T., Soukhoterlin E.A., Mosekilde E. 2002. Border-collision bifurcations on a two-dimensional torus. *Chaos, Solitons & Fractals*. 13(9): 1889–1915. DOI:10.1016/S0960-0779(01)00205-3

## References

- Zhusubaliyev Zh.T., Rubanov V.G., Gol'tsov Yu.A., Yanochkina O.O., Polyakov S.A. 2017. Quasiperiodicity in a temperature field control system of a heating unit. *Scientific statements of BelSU. Ser. Economy. Informatics*. Issue 44, 23(272): 113 - 122 (in Russian).
- Avrutin V., Gardini L., Sushko I. and Tramontana F. 2019. *Continuous and Discontinuous Piecewise-Smooth One-Dimensional Maps: Invariant Sets and Bifurcation Structures*. New Jersey, London, Singapore, Hong Kong: World Scientific, 648.
- Banerjee S., Karthik M. S., Yuan G. and Yorke J. A. 2000. Bifurcations in one-dimensional piecewise-smooth maps – Theory and applications in switching circuits. *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl.* 47(3): 389–394. DOI: 10.1109/81.841921.
- Banerjee S., Ranjan P. and Grebogi C. 2000. Bifurcations in two-dimensional piecewise-smooth maps: Theory and applications in switching circuits. *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Fundam. Theory Appl.* 47(5): 633–643. DOI: 10.1109/81.847870
- Di Bernardo M., Budd C.J., Champneys A.R. and Kowalczyk P. 2008. *Piecewise-Smooth Dynamical Systems: Theory and Applications*. New York: Springer, 504.
- Di Bernardo M., Feigin M.I., Hogan S.J., Homer M.E. 1999. Local analysis of C-bifurcations in n-dimensional piecewise-smooth dynamical systems. *Chaos Solitons & Fractals*. 10: 1881–1908.
- Feigin M.I. 1970. Doubling of the oscillation period with C-bifurcations in piecewise-continuous systems, *PMM*, 34(5): 861–869. [https://doi.org/10.1016/0021-8928\(70\)90064-X](https://doi.org/10.1016/0021-8928(70)90064-X)
- Filippov A.F. 1988. *Differential Equations with Discontinuous Right-hand Sides*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 314.
- Guckenheimer J., Holmes Ph. 2002. *Nonlinear Oscillations. Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. Springer New York, 478.
- Iooss G., Joseph D.D. 1989. *Elementary Stability and Bifurcation Theory*. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 347.
- Kuznetsov Yu. 2004. *Elements of Applied Bifurcation Theory*. Springer New York, 654.
- Mira C., Gardini L., Barugola A. and Cathala J.-C. 1996. *Chaotic dynamics in two-dimensional noninvertible maps*. World Scientific, Singapore, 632.
- Nusse H.E., Yorke J.A. 1992. Border-collision bifurcations Including “Period two to period three” for piecewise smooth systems. *Physica D*. 57(1-2): 39–57. DOI:10.1016/0167-2789(92)90087-4
- Sushko I., Gardini L. and Avrutin V. 2016. Nonsmooth one-dimensional maps: some basic concepts and definitions. *J. Diff. Eq. and Applicat.* 22(12): 1816–1870. DOI:10.1080/10236198.2016.1248426
- Zhusubaliyev Zh.T. and Mosekilde E. 2003. *Bifurcations and Chaos in Piecewise-Smooth Dynamical Systems*. New Jersey, London, Singapore, Hong-Kong: World Scientific, 376.
- Zhusubaliyev Zh.T., Avrutin A. and Bastian F. 2021. Transformations of closed invariant curves and closed- invariant-curve-like chaotic attractors in piecewise smooth systems. *Internat. J. Bifurcat. Chaos*. 31(3): 2130009-1–213009-24. DOI:10.1142/S0218127421300093
- Zhusubaliyev Zh.T., Avrutin V., Sushko I. and Gardini L. 2022. Border collision bifurcation of a resonant closed invariant curve. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 32(4): 043101-1–043101-10. DOI:10.1063/5.0086419
- Zhusubaliyev Zh.T., Mosekilde E. 2015. Multistability and hidden attractors in a multilevel DC/DC converter. *Mathematics and Computers in Simulation*. 109: 32-45. DOI: 10.1016/j.matcom.2014.08.001



- Zhusubaliyev Zh.T., Mosekilde E., Maity S.M., Mohanan S., Banerjee S. 2006. Border collision route to quasiperiodicity: numerical investigation and experimental confirmation. *Chaos*. 16: 023122–1 – 023122–11. DOI: 10.1063/1.2208565
- Zhusubaliyev Zh.T., Soukhoterlin E.A., Mosekilde E. 2001. Border-collision bifurcations and chaotic oscillations in a piecewise-smooth dynamical system. *Int. J. Bifurc. Chaos*. 11(12): 2977–3001. DOI:10.1142/S0218127401003991
- Zhusubaliyev Zh.T., Soukhoterlin E.A., Mosekilde E. 2002. Border-collision bifurcations on a two-dimensional torus. *Chaos, Solitons & Fractals*. 13(9): 1889–1915. DOI:10.1016/S0960-0779(01)00205-3

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 14.04.2023

Поступила после рецензирования 03.10.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received April 14, 2023

Revised October 03, 2023

Accepted December 01, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Гольцов Юрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Техническая кибернетика, Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

**Абдирасулов Айтибек Закирович**, директор IT академии при ОшГУ, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан

**Яночкина Ольга Олеговна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

**Коломиец Елена Александровна**, кандидат технических наук, преподаватель кафедры вычислительной техники, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

**Кижук Александр Степанович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Техническая кибернетика, Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Yuriy A. Gol'tsov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Cybernetics, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

**Aitibek Z. Abdirasulov**, Director of the IT Academy at Osh State University, Osh, Kyrgyzstan

**Olga O. Yanochkina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Southwest State University, Kursk, Russia

**Elena A. Kolomiets**, Candidate of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Computer Engineering, Southwest State University, Kursk, Russia

**Aleksandr S. Kizhuk**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Cybernetics, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

УДК: 004.942

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-859-872

## Системно-объектное моделирование смарт-контрактов

**Жихарев А.Г., Киданов В.В., Корсунов Н.И.**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: 1104936@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Научная статья посвящена системно-объектному моделированию смарт-контрактов на платформе Ethereum с использованием языка Solidity и инструмента Remix. В работе представлена имитационная модель создания и управления смарт-контрактом на основе метода системно-объектного моделирования. Модель включает описание ресурсов и иерархию операций и процессов, а также инструментария, связанных с созданием и взаимодействием с контрактами. Особое внимание уделяется использованию языка Solidity для написания смарт-контрактов и инструмента Remix для их разработки и тестирования. Необходимо отметить, что модель сфокусирована на функциональных аспектах, связанных с пользовательским взаимодействием, и не включает подробного рассмотрения блокчейновых функций, таких как работа виртуальной машины Ethereum (EVM) и включение транзакций в новый блок. Разработанная системно-объектная модель максимально унифицирована и послужит основой для дальнейшей разработки методологии проектирования смарт-контрактов с минимальным количеством уязвимостей исходного кода.

**Ключевые слова:** системно-объектная модель, смарт-контракт, уязвимость смарт-контракта, блокчейн

**Для цитирования:** Жихарев А.Г., Киданов В.В., Корсунов Н.И. 2023. Системно-объектное моделирование смарт-контрактов. Экономика. Информатика, 50(4): 859–872. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-859-872

---

## System-Object Modeling of Smart Contracts

**Alexander G. Zhikharev, Vladislav V. Kidanov, Nikolay I. Korsunov**

Belgorod State National Research University  
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: 1104936@bsu.edu.ru

**Abstract.** The scientific article is devoted to the system-object modeling of smart contracts on the Ethereum platform using the Solidity language and the Remix tool. The paper presents a simulation model of the creation and management of a smart contract based on the method of system-object modeling. The model includes a description of resources and a hierarchy of operations and processes, as well as tools related to the creation and interaction with contracts. Particular attention is paid to the use of the Solidity language for writing smart contracts and the Remix tool for their development and testing. It should be noted that the model focuses on functional aspects related to user interaction and does not include a detailed consideration of blockchain functions, such as the operation of the Ethereum Virtual Machine (EVM) and the inclusion of transactions in a new block. The developed system-object model is maximally unified and will serve as a basis for further development of the methodology for designing smart contracts with a minimum number of source code vulnerabilities.

**Keywords:** system-object model, smart contract, smart contract vulnerability, blockchain

**For citation:** Zhikharev A.G., Kidanov V.V., Korsunov N.I. 2023. System-Object Modeling of Smart Contracts. Economics. Information technologies, 50(4): 859–872 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-859-872

---

## Введение

В современном мире блокчейн-технологии [Накамото, 2008] привлекают все большее внимание в сфере информационных технологий. Это связано с тем, что технология блокчейн позволяет гарантировать целостность информации, которая представлена и хранится с использованием данной технологии. В общем смысле технология блокчейн представляет собой Систему распределенного реестра [Накамото, 2008]. (Последовательность блоков или единиц цифровой информации, последовательно хранящихся в общедоступной базе данных, которая служит основой для криптовалют). Одной из ключевых составляющих блокчейн-сети являются смарт-контракты [Жихарев, Киданов, Фефелов, 2023] (далее СК), которые представляют собой программы, способные автоматизировать и гарантировать исполнение различных соглашений и условий между участниками блокчейн-сети. Рентабельность, экономия времени, безопасность, прозрачность и точность – вот лишь некоторые из преимуществ [Жихарев, Киданов, Фефелов, 2023]. В результате этих преимуществ рынок смарт-контрактов, вероятно, будет расширяться. Их использование позволяет автоматизировать и обеспечить надежность выполнения соглашений и транзакций в цифровом пространстве. Однако создание и управление смарт-контрактами требует комплексного подхода, а метод функционального моделирования [Жихарев, Белов, Рачинский, 2019] упростит понимание и ускорит их разработку.

В данной научной статье представлено системно-объектное моделирование смарт-контрактов в фреймворке «Remix» (интегрированной среды разработки (Integrated Development Environment), сокр. IDE) [Амир Латиф и др., 2020] на платформе Ethereum. Предложенный метод позволяет создавать графические модели различных процессов и операций, включая описание ресурсов, информации, инструментария и связей между ними.

Технология системно-объектного моделирования [Жихарев, Белов, Рачинский, 2019] может стать удобным инструментом для проектирования и верификации защищенных смарт-контрактов [Жихарев, Киданов, Фефелов, 2023], что обусловлено многими факторами, такими как: безопасность (ошибки в коде при разработке СК), доверие (неверное функционирование, атаки на СК и их уязвимость – затрудняют широкое применение технологии и снижает доверие потенциальных клиентов), экономическая рентабельность (автоматизация и прозрачность данных противостоят уязвимости, финансовым и репутационным рискам), развитие инновационной технологии (СК играют ключевую роль в эволюции развития блокчейн-технологии). Разработка простого и надежного инструмента для проектирования гарантированно защищенных смарт-контрактов будет способствовать развитию блокчейн-экосистемы и созданию более надежных и безопасных приложений.

В данной статье авторами был совершен важный шаг для ускорения процессов понимания и функционального моделирования смарт-контрактов, что является актуальной проблемой в области блокчейн-технологий. Разработанная модель может быть использована в дальнейших исследованиях и практических приложениях для оптимизации создания и управления СК в сети блокчейн.

## Модель Смарт-Контракта

Системно-объектный подход моделирования представляет собой методологию анализа и проектирования систем. В рамках этого подхода система рассматривается как совокупность взаимосвязанных объектов, каждый из которых выполняет определенные функции и имеет свои характеристики.

Данный подход был выбран и взят за основу как наилучший в связи с тем, что он уделяет особое внимание объектам в системе и их взаимодействию. Объекты представляются абстрактными сущностями, которые имеют состояние, поведение и связи с другими объектами.

Основные принципы системно-объектного подхода включают:

- идентификацию и моделирование объектов в системе;
- определение и описание свойств и атрибутов объектов;

- анализ и определение взаимосвязей между объектами;
- определение функциональных возможностей каждого объекта;
- разделение системы на модули или компоненты на основе объектов.

Данный подход позволит лучше понять процесс разработки и структуру Смарт-Контракта на языке Solidity [Хегед, 2018], а также взаимодействие компонентов системы, что позволит облегчить разработку программного обеспечения за счет разделения системы на более мелкие модули, реализующие конкретные функции.

Этапы создания Смарт-Контракта:

0. Концепция. Определяется цель разработки Смарт-контракта для Ethereum, определение основных задач и условий будущего договора.

1. Разработка. Кодирование Смарт-контракта с использованием языка программирования (Solidity от Ethereum).

2. Компиляция. Перед развертыванием Смарт-контрактов их необходимо скомпилировать. Процесс преобразования кода вашего контракта в файл JSON, чтобы он мог быть прочитан другими веб-приложениями. (Пример: Смарт-контракт для Ethereum, после написания на Solidity компилируются в байт-код EVM [Дингман и др., 2019] (или виртуальной машины Ethereum), что делает их совместимыми со всеми сетями EVM).

3. Развертывание. Развертывание СК или фактическое размещение в выбранной сети. (При развертывании СК выполняется и совершается транзакция с использованием реальной криптовалюты). После этого этапа развернутый контракт запускается и все закодированные в нем функции заработают после выполнения установленных условий.

4. Тестирование. Тщательное тестирование перед размещением СК в сети (ведь Смарт-контракты неизменяемы после размещения и все ошибки, обнаруженные после развертывания, отредактировать невозможно).

5. Выполнение. После выполнения, развертывания и запуска СК в сети проверяется его работоспособность. Это включает в себя проверку кошельков (чтобы убедиться, что нужные балансы появляются в нужное время), решение задач по обслуживанию и проблем с хранением.

Применение системно-объектного подхода моделирования способствует созданию гибкой и масштабируемой системы, которая легко поддается изменениям и расширению. Он широко используется в таких областях, как разработка программного обеспечения, системный анализ, проектирование информационных систем и управление проектами.

Пример Смарт-Контракта:

```
//SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.15;
contract Wallet {
    address public owner;
    mapping (address => uint) public payments;
    constructor() {
        owner = msg.sender;
    }
    function payForItem() public payable {
        payments[msg.sender] = msg.value;
    }
    function withdrawal() public {
        address payable _to = payable(owner);
        address _thisContract = address(this);
        _to.transfer(_thisContract.balance);
    }
}
```

Листинг 1. Код Смарт-Контракта  
Listing 1. Smart Contract, Code

В данном смарт-контракте присутствуют только две функции:

1. Функция "payForItem()". Это публичная функция без возвращаемого значения (void), которая принимает платеж от отправителя и записывает сумму платежа в словарь "payments" по адресу отправителя.

2. Функция "withdrawal()". Это публичная функция без возвращаемого значения (void), которая переводит все деньги, находящиеся на счете контракта, на адрес владельца контракта.

Важно, что в представленном смарт-контракте не используются классы [Чен и др., 2021], так как он изначально написан на языке Solidity, который не поддерживает классы в традиционном понимании. Однако с точки зрения контракта рассматривается его структура. В данном случае контракт "Wallet" является основным и единственным контрактом в данной модели.

Первым шагом моделирования системы в системно-объектном подходе является ее графическое представление, т.е. разработка контекстной диаграммы, которая позволяет определить границы системы и ее взаимодействие с другими системами или акторами.

Контекстная диаграмма приводит работу по разработке Смарт-Контракта (далее СК) в общий вид, рисунок 1.

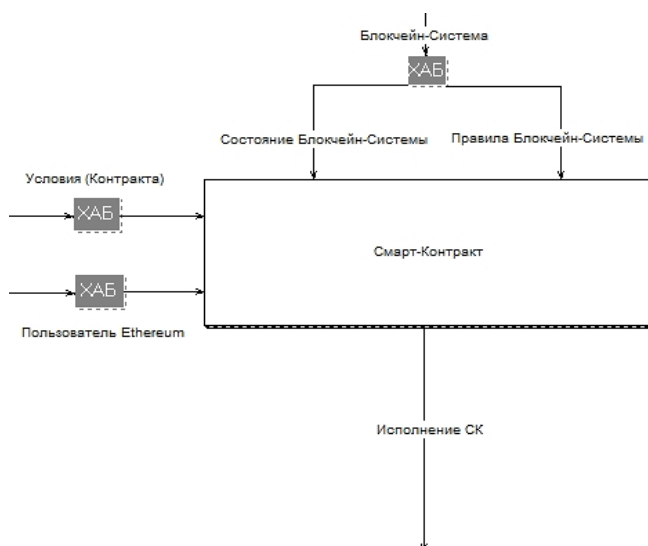


Рис. 1. Контекстная диаграмма взаимосвязей СК с внешней средой

Fig. 1. Contextual diagram of the relationship of the UK with the external environment

Информация по Данным.

*Входные данные:*

- текущее состояние Блокчейн-Системы;
- данные о контрагентах (Когнитивные данные лица, управляющего смарт-контрактом).

*Выходные данные:*

- исполнение Смарт-контракта  
(Новое состояние Блокчейн системы – «завершенный Смарт-Контракт»). (Блокчейн система приобретает новое состояние, когда исполняется Смарт-Контракт).

Информация по Управлению.

Общий вид – *Управление:*

- Правила Блокчейн Системы. (т.е. «Протоколы» которых нет, или свод правил сети Ethereum, как в нашем случае).

*Механизм:*

- автоматизированная Блокчейн-Система (техническое средство поддержки технологического бизнес-процесса по разработке и исполнению Смарт-Контракта).

### Компоненты Блокчейн-платформы Ethereum:

- Вычислительные средства Ethereum (компьютеры пользователей) – EVM (Эфириум Вертуал Машина) является средой исполнения Смарт-Контракта в блокчейн Эфириума. (EVM – предоставляет исполнительную среду для выполнения кода СК написанных на Solidity (и в др. языках тоже)).
- Операторы (участники обеспечивают функционирование и поддержку инфраструктуры Эфириума. Операторы выполняют роль узлов сети [Conte de Leon et al., 2017], которые поддерживают работу сети и выполняют различные функции (например, проверка транзакций, создание блоков, хранение данных, обрабатывают транзакции и операции с Эфиром в соответствии с правилами Сети Эфириум (или «протоколом»)).
- P2P-сеть, реализованная в интернете – сеть, в которой участники (узлы) взаимодействуют напрямую друг с другом без посредников (каждый узел – равноправен в статусе и в функционале [Гао и др., 2019]. Например, направляет и принимает деньги)).
- Транзакции [Хан, Сарвар, Авайс, 2022] – сетевые сообщения, содержащие сведения об отправителе и получателе, значение и полезные данные.
- Клиенты (Ethereum) [Дхулаввагол, Бхаджантри, Тотад, 2020] – Это ПО (которое помогает пользователем взаимодействовать с сетью Эфириум), самый известный «Remix IDE».
- Алгоритмы – алгоритм консенсуса. Ethereum [Хао др., 2018] заимствует модель консенсуса Bitcoin под названием Nakamoto Consensus. Она использует последовательные блоки с единичными подписями, где с помощью алгоритма PoW (proof of work – доказательство (выполнения) работы) [Хао др., 2018] определяется самая длинная цепочка (то есть текущее состояние); алгоритм безопасности PoW под названием Ethash, но в будущем на смену ему придет механизм консенсуса PoS (proof of stake – доказательство доли владения).

Декомпозицию процесса разработки Смарт-Контракта, с его последующим исполнением (рисунок 2), сформулируем в следующие предметные цели:

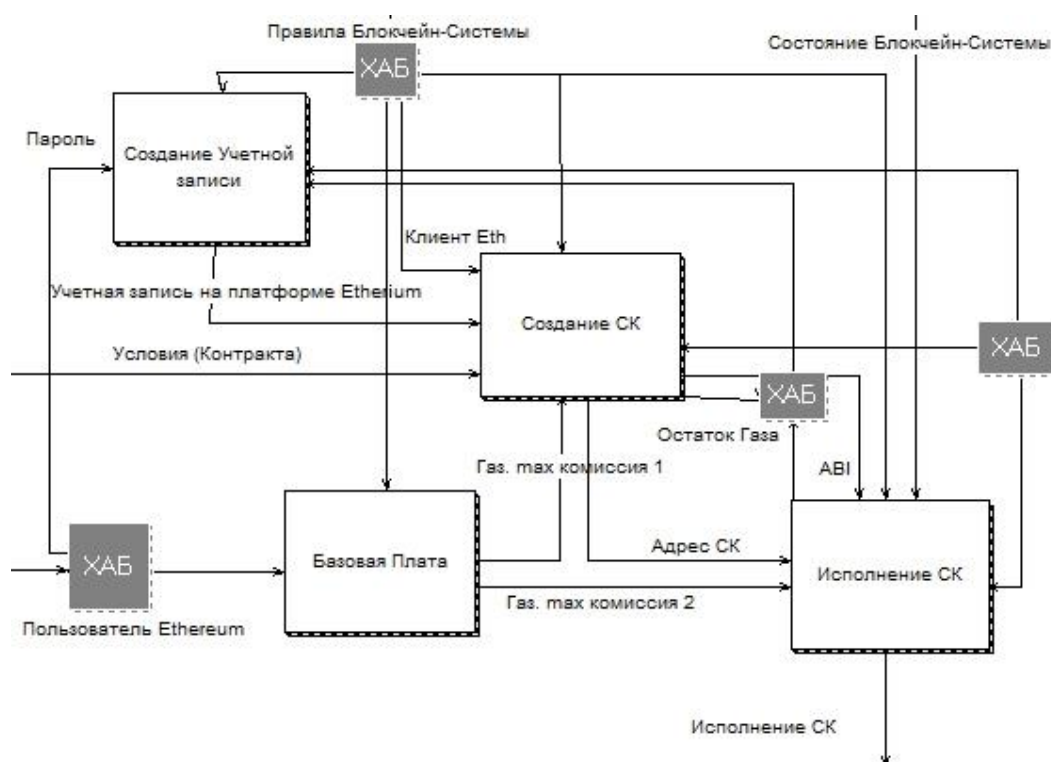


Рис. 2. Схема разработки и исполнения Смарт-Контракта  
(без детализации Управления и Механизмов)  
Fig. 2. Smart Contract development and execution scheme  
(without detailed Controls and Mechanisms)

1) «Создание Смарт-Контракта», Х2 – пользователь (разработчик) взаимодействует с СК через методы, что позволяет осуществлять управление контрактом и его функциональностью;

2) «Исполнение Смарт-Контракта», Х3 – Пользователь может взаимодействовать с СК для выполнения определенных операций.

Разрабатывался Смарт-Контракт на Публичной Блокчейн Сети «Ethereum».

Для разработки Смарт-Контракта на языке Solidity и реализации полного пользовательского функционала на блокчейн-платформе Ethereum требуется Создание учетной записи внешнего владельца (ЕОА), Х1.

«Базовая плата» (или «Плата за Газ» [Семельсбергер, Боруп, Грин, 2006]) Х4, моделирующая процедура «уплаты комиссии» за транзакцию пользователем Сети Ethereum. Данная транзакция является обязательной, так как каждый блок имеет резервную цену, известную как «базовая плата». Это минимальная плата «за газ», которую пользователь должен заплатить, чтобы включить транзакцию в следующий блок.

*Процесс «Создание учетной записи Х1».*

Х1 – создание учетной записи в электронном кошельке MetaMask [Айер и др., 2018] (программное обеспечение, содержащее закрытые ключи. Используется для доступа к учетным записям Ethereum и управления ими, а также для взаимодействия с смарт-контрактами. Несмотря на название, кошельки никогда не хранят настоящие монеты или токены). Электронный кошелек – объект, содержащий адрес, баланс, одноразовое число и, при необходимости, хранилище и код. Учетная запись может принадлежать контракту или иметь внешнего владельца (англ. externally owned account, или ЕОА) [Касиредди, 2017].

Информация по Данным:

*Входные данные:*

– ПАРОЛЬ.

*Выходные данные:*

– Учетная Запись в блокчейн-платформе Ethereum.

Данные Учетной записи пользователя (разработчика Смарт-Контракта) содержат:

А) публичный ключ;

Б) приватный ключ;

В) баланс Eth.

Внутренняя транзакция (или «сообщение») [Касиредди, 2017]. Транзакция, отправленная с учетной записи контракта на другую учетную запись или ЕОА. (Т0 – Транзакция по созданию контракта. Специальная транзакция с «нулевым адресом» в качестве получателя. Используется для регистрации контракта и записи его в блокчейн Ethereum. Тn – данные, переданные в блокчейн Ethereum, подписанные исходной учетной записью, нацелены на определенный адрес. Транзакция содержит метаданные, такие как лимит газа для этой транзакции).

Транзакция Ethereum – это действие по изменению состояния, которое инициирует пользователь, через свою учетную запись (пример – отправка зафиксированных данных на определенный адрес).

Открытый блокчейн работает как децентрализованные системы, ключевым аспектом которых является контроль приватных ключей [Антонопулос, Вуд, 2018], управляющих их средствами и доступом к «электронным кошелькам» или «учетной записи» (чтобы убрать путаницу: один приватный ключ – равен одной «учетной записи»). Данный процесс включает в себя 4 функции, рисунок 3.

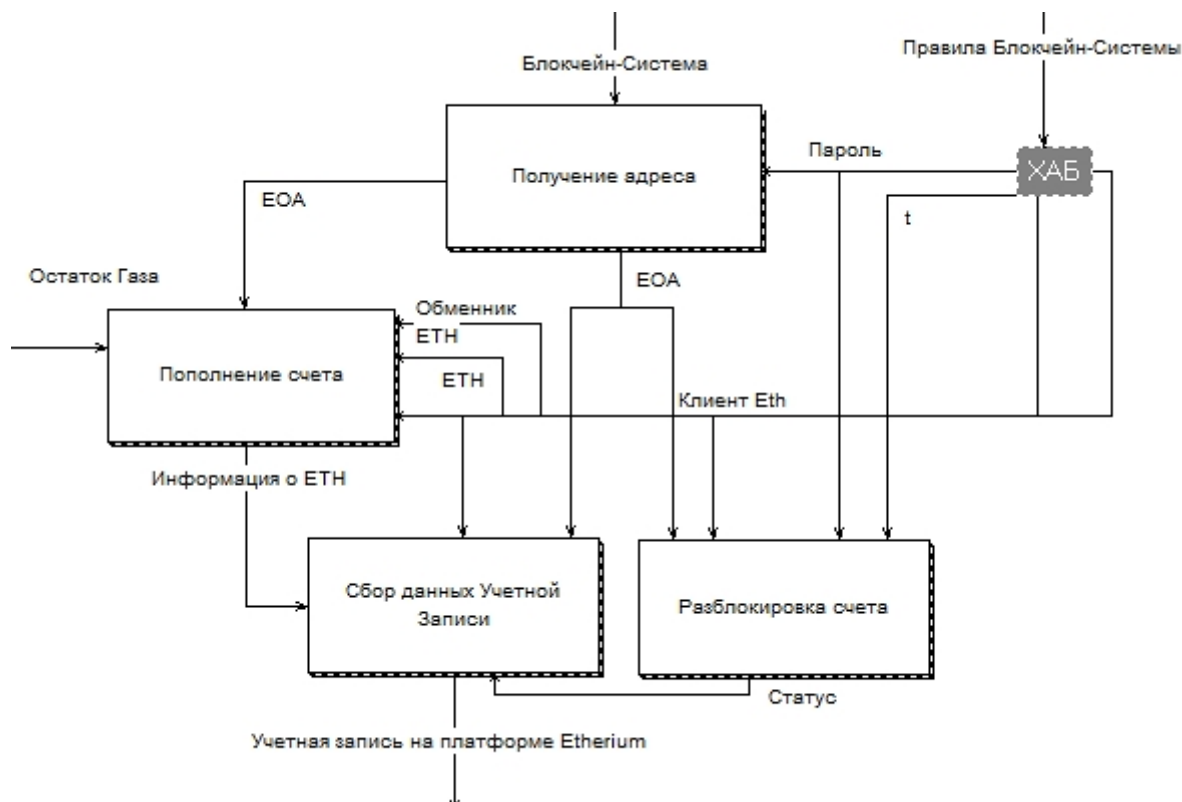


Рис. 3. Процесс «Создание кошелька», X1 (без детализации Управления)  
Fig. 3. The process of «Creating a wallet», X1 (without detailed Controls and Mechanisms)

Создание «электронного кошелька» заключается в формировании запроса и получение адреса ЕОА (идентификатора).

Наш электронный кошелек MetaMask. При его активации генерируется мнемоническая резервная копия, состоящая из 12 английских слов. На странице учетной записи отображается следующая информация: название аккаунта, адрес Ethereum, название сети.

Неопытным разработчиками рекомендуем, первоначально, переключить кошелек на тестовую сеть, чтобы не использовать реальные средства, а лишь ЕТН из «тестнета» [Вуд и др., 2014].

На диаграмме представлен механизм «Обменник валют», по средствам которого осуществляется пополнение счета. N-ная сумма ЕТН необходима для осуществления транзакции по исполнению СК.

С целью упрощения восприятия и увеличения читабельности *Управление* (соглашение Пользователя, правила работы с платформой Эфириум и его Клиентами) не показано.

*Механизмы:*

- платформа Ethereum;
- клиент Eth.

Функция «Пополнение счета» детально не моделируется.

Информация по Данным:

*Входные данные:*

- учетная запись (на которую распространяется Соглашение Пользователя);
- количество Эфира;
- «Остаток Газа» от будущих транзакций.

*Выходные данные:*

- информация о количестве ЕТН.

Также для создание электронного кошелька необходимо «Разблокировать счет».

Информация по Данным:



*Входные данные:*

- запись ЕОА;
- ПАРОЛЬ;
- $t$  (время, потраченное на разблокировку, в сек).

*Входные данные:*

- статус (информация об успешной разблокировке счёта или соответствующее уведомление об ошибке, если разблокировка не удалась по какой-либо причине).

В дальнейшем детали и специфика функции могут быть определены разработчиком смарт-контракта в соответствии с конкретными требованиями и сценариями использования (например, условие «ограничения» операции при определенном количестве неправильно введенных паролей).

Состояние данных актуализируется на этапе «Сбора данных учетной записи» (техническая функция), рисунок 4.

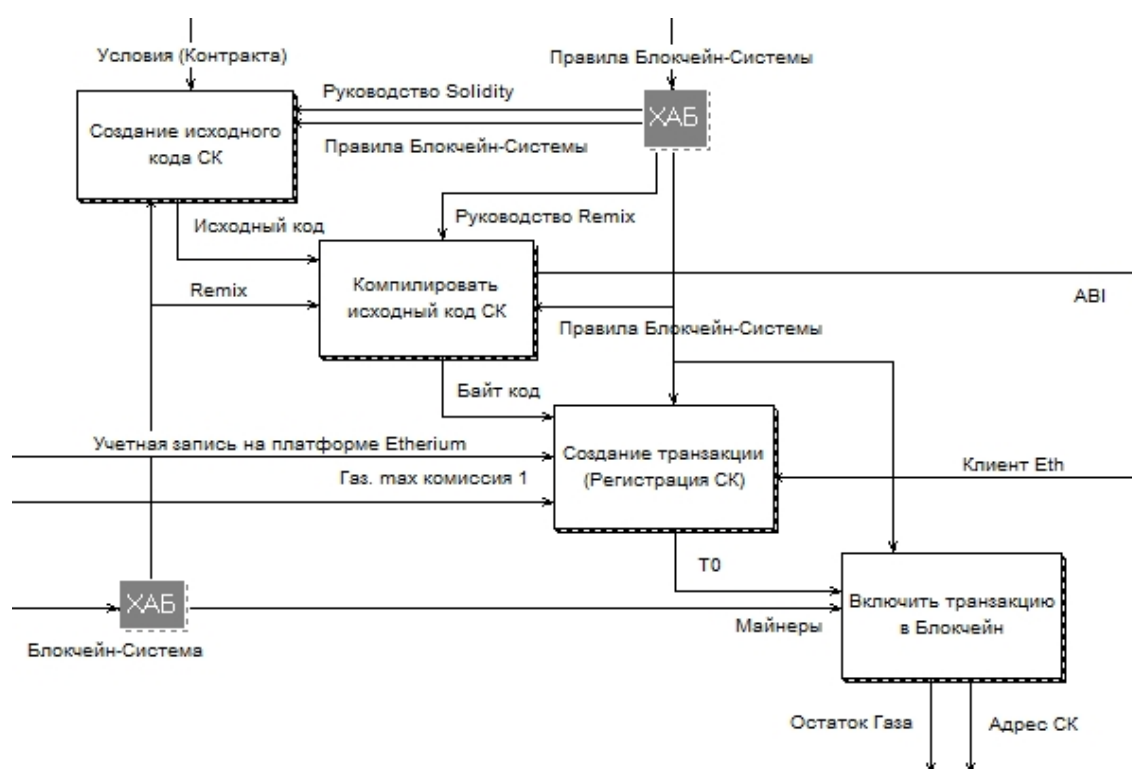


Рис. 4. Детализация процесса «Создание СК», X1  
Fig. 4. Detailing of the process of «Creating a SC», X1

На данном этапе Пользователь разрабатывает программный код СК, который будет выполнять желаемые функции и исполнять логику контракта. Процесс детализации «Создание СК» на рисунке 4.

Функция «Создание исходного кода Смарт-Контракта».  $X_{2.1}$  учитывает предмет и условия договора, которые прописываются на языке Solidity (самом известном языке для написания контракта и генерации байт-кода для EVM) по средствам интерфейса Remix IDE.

Информация по Данным:

*Входные данные:*

- условия контракта.

*Входные данные:*

- исходный код.

*Управление* – руководство Solidity.

*Механизм* – Remix IDE.

Для преобразования *Исходного кода Смарт-Контракта (Вход X<sub>2.2</sub>)* в байт-код, который может быть выполнен машиной EVM в сети блокчейн, необходим компилятор Solidity. Компилятор поставляется в виде отдельного исполняемого файла и входит в состав различных фреймворков и интегрированных сред разработки (IDE), в нашем случае использовался Remix.

Информация по Данным:

*Входные данные:*

– исходный код.

*Выходные данные:*

– IBE, (двоичный интерфейс приложений);

– байт-код.

*Управление* – Руководство Solidity.

*Механизм* – Remix IDE.

ABI называют интерфейсом между двумя программными модулями или между операционной системой и пользовательской программой. ABI определяет способ доступа к структурам данных и функциям в машинном коде. ABI – это основной метод кодирования и декодирования данных в машинный код и обратно.

В Ethereum ABI используется для кодирования вызовов внутри контрактов с расчетом на EVM и для считывания данных из транзакций. Целью ABI-интерфейса является определение функций, которые можно вызывать из контракта, и описание того, какие аргументы принимает каждая из этих функций и какой результат она возвращает.

Следующим этапом является «регистрация СК» (функция «deploy» – развертывание) в блокчейне Ethereum. (Для проверки контракта использовался тестнет Ropsten). Регистрация контракта в блокчейне подразумевает создание специальной транзакции с конечным нулевым адресом (0x000...). Этот адрес сообщает блокчейну Ethereum о намерении зарегистрировать контракт Пользователем. В Remix данный шаг автоматизирован, отправку транзакции в MetaMask.

Транзакция «создания» не содержит эфир, а содержит 258 байт данных (скомпилированный контракт) [Сингх, Хосен, Юн, 2021]. Транзакции требуют платы и должны быть включены в подтвержденный блок. Gas – это вычисления, необходимые для обработки транзакции валидатором. Пользователи обязаны платить комиссию за вычисления.

Газ является ключевым компонентом Ethereum. С одной стороны, это буфер между (постоянно меняющейся) ценой эфира и наградой, которую майнеры получают за свою работу, с другой – это защита от DoS-атак [Вуд и др., 2014]. Чтобы предотвратить случайные или злонамеренные бесконечные циклы и прочие расточительные вычисления в сети, инициатор каждой транзакции обязан указать лимит на объем вычислений, за которые он готов заплатить. Таким образом, данный механизм делает невыгодной отправку многочисленных бесполезных транзакций, поскольку их цена является пропорциональной вычислительным ресурсам, трафику и объему потребляемого хранилища.

Когда виртуальной машине EVM нужно завершить транзакцию, ей вначале выдается запас газа в размере, указанном в транзакции в качестве лимита. Каждый выполняемый опкод имеет определенную стоимость, поэтому по мере продвижения (по этапам) выполнения кода программы запас газа уменьшается. Перед каждой операцией EVM проверяет, достаточно ли оставшегося газа для ее выполнения. Если ответ отрицательный, работа программы прекращается (прерывается), а транзакция откатывается.

Если EVM успешно достигнет конца выполнения, не превысив заданный лимит, потраченный газ выплачивается майнеру в качестве комиссии за транзакцию с предварительной конвертацией в эфир (в соответствии с ценой, указанной в транзакции):

*комиссия майнера = израсходованный газ \* цена на газ*

Оставшийся газ возвращается отправителю, тоже с предварительной конвертацией в эфир в соответствии с ценой, указанной в транзакции:

*оставшийся газ = лимит на газ израсходованный газ*  
*возмещенный эфир = оставшийся (неизрасходованный) газ \* цена газа*

Информация по Данным:

*Входные данные:*

- байт-код;
- максимальная комиссия за газ.

*Выходные данные:*

- T0 (транзакция «создания»).

*Механизм* – Блокчейн-Система, Клиент Eth.

Далее происходит «включение транзакции» в блокчейн сеть. При завершении транзакционного процесса (успешного или нет), майнерами генерируется квитанция транзакции (transaction receipt). (Эта квитанция содержит записи логов (англ. log entries, или logs), которые описывают действия, произошедшие в процессе выполнения транзакции. События – это высокоуровневые объекты языка Solidity, используемые для формирования данных логов).

\* Квитанция (англ. receipt). Данные, возвращаемые клиентом Ethereum для представления результата отдельной транзакции, включая ее хеш, номер ее блока, объем расходуемого газа (gas) и адрес контракта, если речь идет о его развертывании.

Отметим, адрес контракта также возможно использовать в транзакции в качестве получателя, посылая на него средства или вызывая его функции.

На этапе включения транзакции в блокчейн-сеть, майнеры [Вуд и др., 2014] выполняют функцию проверки и подтверждения транзакций, а также создают новые блоки в блокчейне. Они работают над решением сложных вычислительных задач, которые называются «доказательством работы» (Proof of Work), чтобы доказать свою производительность и защитить сеть от вредоносных действий. Их функции:

1. Проверка транзакций (их «правильность», подписи, количество доступных средств для перевода и соответствие правилам протокола блокчейна. Далее – транзакция добавляется в «Мемпул» [Оливейра и др., 2021] (пул неподтвержденных транзакций)).

2. Создание блоков. (Создание блока включает сбор нескольких проверенных транзакций вместе и решение сложной вычислительной задачи для добавления блока в цепочку. Далее транзакция включается в блок и распространяется в блокчейн сети).

3. Децентрализованное управление. (Благодаря возможности принимать решения путем голосования за изменения с помощью протоколов, таких как "голосование по вилке" (fork voting), определить будущую направленность сети).

## Исполнение СК

Смарт-контракт «WALLET» является программой для управления эфиром, исполняемая внутри виртуальной машины (EVM), которая создается в рамках специальной транзакции, (этап компиляции СК в байт-код). Когда СК появляется в сети блокчейн, он получает адрес Ethereum точно так же, как «кошелек». Каждый раз, когда кто-то отправляет транзакцию по этому адресу, контракт запускается в EVM (транзакции, отправляемые по адресу контракта, могут содержать эфир и/или данные. Эфир, если контракт содержит его, «депонируется» на баланс контракта. Если контракт содержит данные, они могут определять имя функции контракта и вызывать ее, посылая условия (аргументы) для функции.

Для вызова функции СК, обязательным условием по его выполнению является «разблокированный кошелек» X1.4 и Транзакция Tn. Код Смарт-контракт будет активирован в сети блокчейн, когда сообщение (транзакция) с Учетной записи будет отправлена на Адрес смарт-контракта (для взаимодействия с СК необходимо знать его адрес и бинарный интерфейс приложения), рисунок 5.

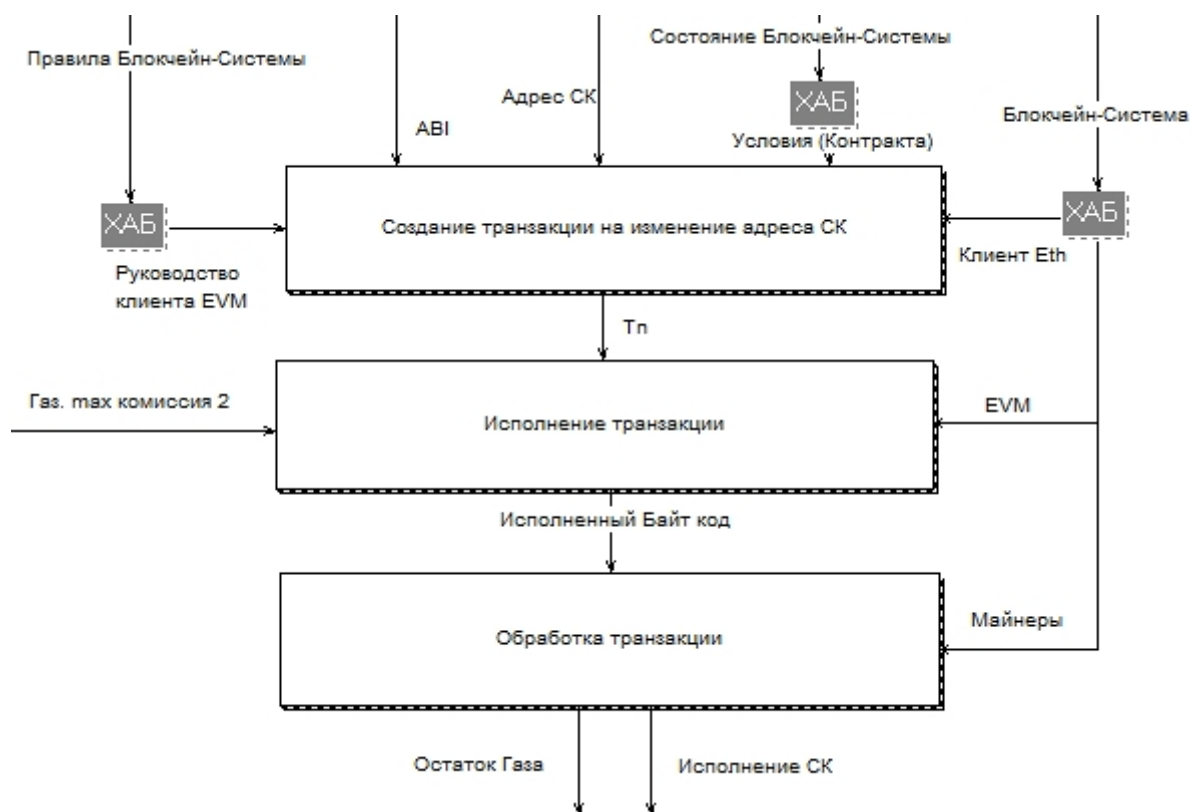


Рис. 5. Исполнение СК, X3  
Fig. 5. Execution Smart contract, X3

Процедура изменения адреса СК в сети блокчейн  $X_{3.1}$  аналогична  $X_{2.3}$ .  
Отличия: наличие адреса СК и «сообщение» (внутренней транзакции,  $T_n$ ).  
Взаимодействие с СК происходит через электронный кошелек MetaMask.  
*Механизм* – Клиент Eth.

Транзакция на этапе  $X_{3.2}$  попадает в блокчейн Ethereum и включается в блок для дальнейшего исполнения. Виртуальная машина Ethereum (EVM) исполняет транзакцию путем выполнения байт-кода, указанного в транзакции. В случае изменения адреса смарт-контракта, EVM будет выполнять соответствующий код, указанный в транзакции.

Результаты исполнения транзакции на этапе  $X_{3.3}$  «записываются» майнерами в блокчейн. Если адрес смарт-контракта изменился, новый адрес будет зафиксирован в блокчейне Ethereum. Это позволяет другим участникам сети узнать актуальный адрес смарт-контракта и взаимодействовать с ним. (Кроме того, результаты транзакции могут быть использованы для последующего аудита и проверки).

### Заключение

В рамках исследования был разработан код смарт-контракта "Wallet". Контракт представляет собой простую систему кошелька, где пользователи могут делать платежи за товары или услуги, а владелец контракта осуществлять вывод средств.

Использование «UFO Modeller» для проведения системно-объектного моделирования позволило более полно и точно представить процесс разработки СК с целью его дальнейшей формализации.

Отметим, технология системно-объектного имитационного моделирования позволяет симулировать выполнение смарт-контракта, что позволит проверить его на адекватность генерируемых им транзакций [Жихарев, Киданов, Феллов, 2023].

Дальнейшей актуальной задачей является анализ кода смарт-контрактов по средствам системно-объектного моделирования с точки зрения возникновения уязвимостей

программного кода. Такой подход позволит более детально изучить функциональность контрактов, а также выявить возможные уязвимости еще на этапе разработки, что позволит предотвращать потенциальные атаки или ошибки в смарт-контрактах.

Однако следует отметить, разрабатываемое решение на основе системно-объектного моделирования будет являться относительно новым и инновационно направленным. Дальнейшие исследования и разработки могут привести к улучшению инструментов и методик, стандартизации процессов разработки СК, а также расширению применения (методов / решений на основе) системно-объектного моделирования в области блокчейн-технологий.

### Список литературы

- Айер К. и др. 2018. Среда разработки ethereum. Создание игр с использованием смарт-контрактов Ethereum: промежуточные проекты для разработчиков Solidity. С. 19-36.
- Амир Латиф Р.М. и др. 2020. Remix IDE: платформа на основе смарт-контрактов для сектора здравоохранения с использованием технологии блокчейн. Мультимедийные инструменты и приложения. С. 1-24.
- Антонопулос А.М., Вуд Г. 2018. Освоение ethereum: построение смарт-контрактов и dapps. O'reilly Media.
- Вуд Г. и др. 2014. Ethereum: безопасная децентрализованная книга обобщенных транзакций. Желтая книга проекта Ethereum. № 151. с. 1-32.
- Гао Й. и др. 2019. Измерение и анализ топологии в сети ethereum p2p. Симпозиум IEEE 2019 по компьютерам и коммуникациям (ISCC). IEEE. С. 1-7.
- Дингман У. и др. 2019. Дефекты и уязвимости в смарт-контрактах, классификация с использованием платформы NIST bugs framework. Международный журнал сетевых и распределенных вычислений. 7(3): 121-132.
- Дхулаввагол П.М., Бхаджантри В.Х., Тотад С.Г. 2020. Анализ производительности клиентов ethereum на блокчейне с учетом приложения для электронного голосования. Procedia Computer Science. Т. 167. С. 2506-2515.
- Жихарев А.Г., Белов С.П., Рачинский С.А. 2019. Перспективы системно-объектного имитационного моделирования систем передачи информации. Экономика. Информатика. 46(3): 563-572.
- Жихарев А.Г., Киданов В.В., Фефелов О.С. 2023. К вопросу о безопасности обработки информации с использованием смарт-контрактов. Научный результат. Информационные технологии. 8(1): 46-55.
- Касиредди П. 2017. Как вообще работает Ethereum. Medium.
- Накамото С. 2008. Биткоин: одноранговая система электронных платежей. Обзор децентрализованного бизнеса.
- Оливейра В.С. и др. 2021. Анализ подтверждения транзакции в ethereum с использованием методов машинного обучения. Обзор оценки производительности ACM SIGMETRICS. 48(4): 12-15.
- Семельсбергер Т.А., Боруп Р.Л., Грин Х.Л. 2006. Диметилловый эфир (DME) как альтернативное топливо. Журнал источников энергии. 156(2): 497-511.
- Сингх С., Хосен А.С.М.С., Юн Б. 2021. Атаки на безопасность блокчейна, проблемы и решения для будущей распределенной сети интернета вещей. IEEE Access. Т. 9. С. 13938-13959.
- Хан М.М.А., Сарвар Х.М.А., Авайс М. 2022. Анализ потребления газа транзакциями блокчейн Ethereum. Параллелизм и вычисления: практика и опыт. 34(4): e6679.
- Хао Й. и др. 2018. Анализ производительности алгоритма консенсуса в частном блокчейне. Симпозиум IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2018 (IV). IEEE. С. 280-285.
- Хегед С.П. 2018. К анализу ландшафта сложности смарт-контрактов ethereum на основе solidity. Материалы 1-го Международного семинара по новым тенденциям в разработке программного обеспечения для блокчейна. С. 35-39.
- Чен Дж. и др. 2021. Проверка дефектов: автоматическое обнаружение дефектов смарт-контрактов путем анализа байт-кода evm. IEEE Transactions on Software Engineering. 48(7): 2189-2207.
- Conte de Leon D et al. 2017 "Blockchain: properties and misconceptions", Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, 11(3): 286-300.

## References

- Ayer K. et al. 2018. Ethereum Development Environment. Creating games using Ethereum smart Contracts: Interim projects for Solidity developers. pp. 19-36.
- Amir Latif R.M. et al. 2020. Remix IDE: a platform based on smart contracts for the healthcare sector using blockchain technology. Multimedia tools and applications. pp. 1-24.
- Antonopoulos A.M., Wood G. 2018. Mastering ethereum: Building Smart Contracts and dapps. O'reilly Media.
- Wood G. et al. 2014. Ethereum: a secure decentralized book of generalized transactions. Yellow Book of the Ethereum project. No 151. p. 1-32.
- Gao Y. et al. 2019. Measurement and analysis of topology in the ethereum p2p network. IEEE 2019 Symposium on Computers and Communications (ISCC). IEEE. pp. 1-7.
- Dingman W. et al. 2019. Defects and vulnerabilities in smart contracts, classification using the NIST bugs framework // International Journal of Network and Distributed Computing. 7(3): 121-132.
- Dhulavvagol P.M., Bhajantri V.H., Total S.G. 2020. Performance analysis of ethereum clients on the blockchain taking into account the application for electronic voting. Procedia Computer Science. Vol. 167. pp. 2506-2515.
- Zhikharev A.G., Belov S.P., Rachinsky S.A. 2019. Prospects for system-object simulation modeling of information transmission systems. Economics. Information technologies. 46(3): 563-572.
- Zhikharev A.G., Kidanov V.V., Fefelov O.S. 2023. On the issue of security of information processing using smart contracts. Research result. Information Technologies. 8(1): 46-55.
- Kasireddi P. 2017. How does Ethereum work in general. Medium.
- Nakamoto S. 2008. Bitcoin: Peer-to-peer electronic payment system. Review of decentralized business.
- Oliveira V.S. et al. 2021. Analysis of transaction confirmation in ethereum using machine learning methods. Review of ACM SIGMETRICS performance evaluation. 48(4): 12-15.
- Semelsberger T.A., Borup R.L., Green H.L. 2006. Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. Journal of Energy Sources. 156(2): 497-511.
- Singh S., Hosen A.S.M.S., Yun B. 2021. Attacks on blockchain security, problems and solutions for the future distributed Internet of Things network. IEEE Access. Vol. 9. pp. 13938-13959.
- Hanna., Sarvar H.M.A., And weiss M. 2022. Analysis of gas consumption by transactions of the Ethereum blockchain // Parallelism and computing: Practice and experience. 34(4): e6679.
- Hao Y. et al. 2018. Performance analysis of the consensus algorithm in a private blockchain. IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2018 (IV). IEEE. pp. 280-285.
- Heged S.P. 2018. On the analysis of the complexity landscape of ethereum smart contracts based on solidity. Materials of the 1st International Seminar on New Trends in Software Development for Blockchain. pp. 35-39.
- Chen J. et al. 2021. Defect checking: automatic detection of smart contract defects by analyzing evm bytecode. IEEE Transactions on Software Engineering. 48(7): 2189-2207.
- Conte de Leon D et al. 2017. "Blockchain: properties and misconceptions", Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, 11(3): 286-300.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 24.10.2023

Поступила после рецензирования 17.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received October 24, 2023

Revised November 17, 2023

Accepted December 01, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Жихарев Александр Геннадиевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander G. Zhikharev**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automated Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Киданов Владислав Викторович**, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Корсунов Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Vladislav V. Kidanov**, post-graduate student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Nikolay I. Korsunov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.94  
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-873-882

## Модель оценки эффективности организационных мер для обеспечения информационной безопасности АССН при появлении неизвестной вредоносной программы

<sup>1</sup> Мельников А.В., <sup>2</sup> Сумин В.И., <sup>1</sup> Кобяков Н.С.

<sup>1</sup> Воронежский институт МВД России,  
Россия, 394065, г. Воронеж, пр. Патриотов, д. 53

<sup>2</sup> Воронежский институт ФСИН России  
Россия, 394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1а

E-mail: meln78@mail.ru, viktorsumin51@yandex.ru, kkobyakov1234@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем специального назначения при появлении неизвестных вредоносных программ. Обсуждаются вопросы реализации организационных мер обеспечения информационной безопасности, направленные на подготовку пользователей автоматизированных систем специального назначения. Для оценки эффективности принятых организационных мер сформирована модель на основе метода анализа иерархий. Исходя из численного эксперимента, рассчитан корректирующий коэффициент с использованием искусственной нейронной сети. Итоговая модель верифицирована на тестовом наборе данных и может применяться руководителями подразделений, обеспечивающих информационную безопасность для принятия управленческих решений.

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, искусственная нейронная сеть, цели обеспечения информационной безопасности

**Для цитирования:** Мельников А.В., Сумин В.И., Кобяков Н.С. 2023. Модель оценки эффективности организационных мер для обеспечения информационной безопасности АССН при появлении неизвестной вредоносной программы. Экономика. Информатика, 50(4): 873–882. DOI:

---

## Model for Assessing the Effectiveness of Organizational Measures to Ensure Information Security of ASSN When an Unknown Malware Appears

<sup>1</sup> Alexander V. Melnikov, <sup>2</sup> Victor I. Sumin, <sup>1</sup> Nikolay S. Kobaykov

<sup>1</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia  
53 Patriots Ave., Voronezh, 394065, Russia

<sup>2</sup> VRI of the FPS of Russia  
1a Irkutskaya St, Voronezh, 394072, Russia

E-mail: meln78@mail.ru, viktorsumin51@yandex.ru, kkobyakov1234@gmail.com

**Abstract.** The article discusses issues of ensuring information security of automated special-purpose systems in the event of the appearance of unknown malicious programs. Issues of implementing organizational measures to ensure information security aimed at training users of special-purpose automated systems are discussed. The goals for implementing organizational measures are identified as signs for forming a model. To assess the effectiveness of the organizational measures taken, a model was formed based on the hierarchy analysis method. The initial data for forming the model are the results of a survey of specialists in the field of information security. During the survey, experts assessed the effectiveness of the measures in accordance with a linguistic scale from 0 to 10. Based on a numerical



experiment, a correction factor is calculated using an artificial neural network. Fourteen examples are defined for training the artificial neural network. The final model was tested on a test data set and can be used by heads of information security departments to make management decisions.

**Keywords:** analytic hierarchy process, artificial neural network, information security objectives

**For citation:** Melnikov A.V., Sumin V.I., Kobayakov N.S. 2023. Model for Assessing the Effectiveness of Organizational Measures to Ensure Information Security of ASSN When an Unknown Malware

---

## Введение

Обеспечение информационной безопасности становится все более актуальным в условиях появления большого количества автоматизированных систем [Sumin et al., 2021]. Автоматизированные системы специального назначения также получают все более широкое распространение, поскольку позволяют ускорить выполнение задач, возложенных на подразделение. Такое широкое распространение автоматизированных систем приводит к появлению новых и совершенствованию уже существующих методов по противодействию угроз злоумышленников. Одной из наиболее актуальных угроз информационной безопасности автоматизированных систем специального назначения является реализация деструктивных функций вредоносных программ. Меры по обеспечению информационной безопасности могут быть законодательные, организационные, технологические, морально-этические, физические и программно-аппаратные (технические). Несмотря на важность вышеперечисленных мер, должностным лицам, обеспечивающим информационную безопасность автоматизированных систем специального назначения, особое внимание следует уделять организационным мерам.

В настоящее время отсутствуют подходы, предназначенные для численной оценки эффективности применения организационных мер обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем специального назначения. Оценка эффективности принятых организационных мер позволит определить их необходимый набор для обеспечения информационной безопасности в зависимости от опасности вредоносной программы.

## Объекты и методы исследования

Цель работы: разработка модели оценки эффективности принятых организационных мер по подготовке пользователей автоматизированных систем специального назначения для обеспечения информационной безопасности в условиях возможной реализации деструктивных функций неизвестных вредоносных программ.

Постановка задачи. Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Определить цели реализации организационных мер по подготовке пользователей АССН для обеспечения информационной безопасности.
2. Определить перечень организационных мер по подготовке пользователей АССН для обеспечения информационной безопасности.
3. Сформировать модель для оценки эффективности принятых организационных мер.
4. Выполнить верификацию разработанной модели.

## Результаты и их обсуждение

Автоматизированные системы специального назначения становятся все более распространены и необходимы для оперативного решения задач [Сумин, 2023; Сумин, Громов, Тютюнник, 2023; Сумин и др., 2023]. Вопросы деструктивных воздействий вредоносных программ широко исследуются во многих современных исследованиях [Натали-

чев и др., 2021; Середкин, 2022]. Авторы приходят к единому мнению о том, что обеспечение информационной безопасности является одним из наиболее актуальных направлений деятельности государства. Особенно актуален вопрос обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем от неизвестных вредоносных программ для силовых ведомств.

Исходя из опыта обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем специального назначения и результатов научных исследований, определены цели реализации организационных мер по подготовке пользователей для обеспечения информационной безопасности в условиях возможной реализации деструктивных функций неизвестных вредоносных программ [Язов, Соловьев, 2018; Жиялков и др., 2021; Горячев, Кобяков, 2022; Жиялков, Лубков, Болгова, 2022; Мельников, Кобяков, Жилин, 2023]:

1. Недопущение создания угроз реализации деструктивных функций вредоносных программ при эксплуатации автоматизированных систем специального назначения. Достижение цели подразумевает четкое знание каждым пользователем автоматизированной системы специального назначения актуальных угроз деструктивных функций вредоносных программ и действий по недопущению их реализации ( $e_1$ ).

2. Умение пользователей эксплуатировать автоматизированную систему специального назначения в новых условиях. В результате достижения цели пользователи смогут эксплуатировать автоматизированную систему специального назначения и выполнять свои служебные обязанности в полном объеме, несмотря на ограничения ( $e_2$ ).

3. Знание и понимание алгоритма действий в случае обнаружения признаков реализации деструктивных функций вредоносных программ на автоматизированном рабочем месте пользователя. Достижение цели обеспечит своевременную реакцию пользователей на заражение автоматизированного рабочего места вредоносной программой и реализацию действий по недопущению ее дальнейшего распространения по сети или другим рабочим местам ( $e_3$ ).

4. Понимание ответственности за нарушение новых требований по обеспечению безопасности информации, обрабатываемой в автоматизированной системе специального назначения. В результате достижения цели пользователи будут осознавать в полном объеме ответственность за реализацию угроз информационной безопасности вследствие их действий или бездействий ( $e_4$ ).

5. Осведомленность пользователей о появлении неизвестной вредоносной программы. Достижение данной цели обеспечит информированность пользователей о том, что появилась неизвестная вредоносная программа и описание ее функций ( $e_5$ ).

Достижение всех целей часто не целесообразно по следующим причинам:

1. Специалистов в области обеспечения информационной безопасности намного меньше, чем пользователей автоматизированных систем специального назначения, их привлечение к проведению занятий может привести к недостаточному вниманию на непосредственно обеспечение безопасности информации.

2. Отрыв пользователей автоматизированных систем специального назначения от исполнения своих должностных обязанностей на продолжительное время.

3. Создание и ведение дополнительных служебных документов для учета различных отчетных данных.

Для объективной оценки необходимости реализации организационных мер в работе [Мельников, Кобяков, 2023] предложен подход, согласно которому реализуемые меры выбираются исходя из оценки опасности вредоносных программ.

Для оценки опасности вредоносных программ в [Кобяков, 2023; Мельников, Кобяков, 2023; Кобяков и др., 2023] предложена лингвистическая шкала:

1. Низкая опасность [0 – 3.99].
2. Средняя опасность [4.0 – 6.99].
3. Высокая опасность [7.0 – 8.99].

#### 4. Критическая опасность [9.0 – 10.0].

Целесообразно сформировать модель для оценки эффективности реализованных организационных мер с той же лингвистической шкалой. Следовательно, для вредоносных программ с низкой опасностью нужно реализовывать организационные меры с низкой эффективностью, и т.д.

Для формирования модели для оценки эффективности принятых организационных мер воспользуемся подходом на основе метода анализа иерархий, реализованного в работах [Жилин, 2022; Мельников, Сумин, Кобяков, 2023].

Основываясь на результатах опроса 10 специалистов в области обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем специального назначения, получим следующую модель для оценки эффективности принятых организационных мер:

$$E_M = 10 \times (0,474 \times e_1 + 0,237 \times e_2 + 0,158 \times e_3 + 0,079 \times e_4 + 0,053 \times e_5) \quad (1)$$

Для верификации данной модели рассчитаем эффективность принятых мер с использованием модели и сравним результаты с мнением экспертов. Сравнение результатов представлено в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Сравнение результатов оценки эффективности мер  
Comparison of the results of assessing the effectiveness of measures

№ п/п	Организационная мера	Достигнутые цели	Эфф. (модель)	Эфф. (опрос)	Эфф. (ИНС)
1.	Проведение комплексных занятий с пользователями	$e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$	10	10	9.78
2.	Проведение практических занятий по недопущению нелегитимных действий пользователей	$e_1, e_3, e_5$	6,32	6,6	5.92
3.	Контроль за используемыми ресурсами АССН	$e_1, e_4$	5,53	5,75	6.15
4.	Выдача инструкций по порядку действий в случае обнаружения ВП, с описанием ее функций	$e_3, e_5$	2,11	2,5	3.07
5.	Проведение информирования с пользователями	$e_4, e_5$	1,32	3,1	3.3
6.	Проведение практических занятий по порядку эксплуатации АССН, с акцентом на информацию о ВП и ответственности за нарушение требований по ИБ	$e_2, e_4, e_5$	3,69	6	5.42
7.	Проведение практических занятий по порядку эксплуатации АССН, с акцентом на недопущение действий, которые могут привести к созданию угроз ИБ	$e_1, e_2$	7,11	7,5	7.09
8.	Выдача инструкций в случае обнаружения ВП и обязательный учет работы пользователей в АССН	$e_3, e_4$	2,37	3	3.68
9.	Проведение информирования с пользователями о функциях ВП и действиях, которые могут привести к их реализации	$e_1, e_5$	5,27	5,7	5.54
10.	Проведение практических занятий по порядку эксплуатации АССН, с акцентом на информацию о ВП	$e_2, e_5$	2,9	3,25	4.25

Окончание табл.1  
End table 1

№ п/п	Организационная мера	Достигнутые цели	Эфф. (модель)	Эфф. (опрос)	Эфф. (ИНС)
11.	Проведение практических занятий по порядку эксплуатации АССН и порядку действий при обнаружении признаков реализации функций ВП	$e_2, e_3$	4	4,5	4.63
12.	Проведение практических занятий по недопущению нелегитимных действий пользователей и учет работы пользователей в АССН	$e_1, e_3, e_4$	6,399	6,5	7.09
13.	Проведение практических занятий по недопущению нелегитимных действий пользователей и порядку эксплуатации АССН	$e_1, e_2, e_3$	8,69	8	8.04
14.	Проведение занятий по порядку действий при обнаружении признаков реализации функций ВП и учет работы пользователей в АССН	$e_3, e_4, e_5$	2,9	5,35	4.25

Как мы видим, в 3-ех случаях (№5, №6, №14) сильно разнится мнение экспертов об оценке эффективности применения организационных мер и результат оценки с использованием модели. Для уточнения результатов сформируем искусственную нейронную сеть. Параметры искусственной нейронной сети представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Table 2

Параметры искусственной нейронной сети  
Artificial neural network parameters

Название параметра	Описание
Язык программирования	Python
Используемые библиотеки	Numpy, Keras, Tensorflow
Количество слоев	1
Количество входных нейронов	5
Функция активации	ReLU (Rectified Linear Unit)
Функция потерь	MSE (Mean squared error)
Функция оптимизации	SGD (Stochastic gradient descent)
Количество эпох обучения	600

Обучив нейронную сеть, получим следующую модель для оценки эффективности организационных мер:

$$E_M = 10 \times (0,425 \times e_1 + 0,233 \times e_2 + 0,121 \times e_3 + 0,148 \times e_4 + 0,072 \times e_5) \quad (2)$$

При сравнении результатов, рассчитанных с использованием данной модели, точность повышается, но, вместе с тем, в примере №10 в ходе опроса определен уровень эффективности «низкий», а в ходе моделирования с использованием искусственной нейронной сети «средний».

Рассмотрим весовые коэффициенты искусственной нейронной сети и метода анализа иерархий, представленные на рисунке 1.

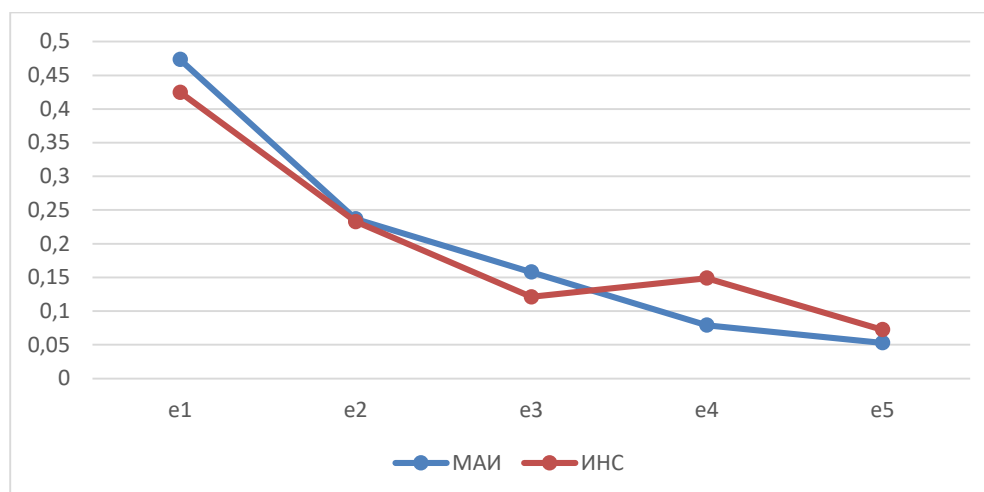


Рис 1. Сравнение весовых коэффициентов достигаемых целей  
Fig.1 Comparison of weighting coefficients of achieved goals

Исходя из графика, видно, что в ходе моделирования искусственной нейронной сетью весовые коэффициенты у целей №4 и №5 ( $e_4$ ,  $e_5$ ) выше, чем в методе анализа иерархий. Для учета совместного достижения целей, приводящих к повышению эффективности принятых организационных мер, целесообразно использовать мультипликатор ( $e_4$ ,  $e_5$ ), принимающий значение 1, когда принятие организационной меры включает в себя достижение целей №4 и №5, и значение 0, если не включает.

В результате моделирования с использованием искусственной нейронной сети с мультипликатором получим следующую модель для оценки эффективности организационных мер обеспечения информационной безопасности:

$$E_M = 10 \times (0,479 \times e_1 + 0,246 \times e_2 + 0,128 \times e_3 + 0,046 \times e_4 - 0,113 \times e_5 + 0,214 \times e_{4,5}) \quad (3)$$

Данную модель целесообразно использовать для оценки эффективности принятых организационных мер, т.к. в ходе верификации получены непротиворечивые результаты. Вместе с тем, в модели присутствует отрицательный весовой коэффициент. Использование данной модели будет означать, что достижение цели  $e_5$  приводит к снижению эффективности реализации мер. Руководителю подразделения по обеспечению информационной безопасности для принятия управленческих решений и разработке методических документов будет более объективна и понятна модель, сформированная на основе экспертного опроса. Для внесения изменений в модель (1) необходимо определить корректирующий коэффициент.

Для расчета корректирующего коэффициента необходимо в обученной искусственной нейронной сети предположить значение эффективности организационных мер, реализация которых достигает целей  $e_4$  и  $e_5$ . Рассмотрим численный метод вычисления корректирующего коэффициента.

$$K = \frac{\frac{z_{4ИНС}}{z_{4МАИ}} + \frac{z_{5ИНС}}{z_{5МАИ}}}{2}, \quad (4)$$

где  $z_{4ИНС}$  – эффективность меры, реализация которой обеспечивает достижение цели  $e_4$ , вычисленное с использованием искусственной нейронной сети;  $z_{4МАИ}$  – эффективность меры, реализация которой обеспечивает достижение цели  $e_4$ , вычисленное с использованием модели, сформированной на основе метода анализа иерархий.

В нашем случае корректирующий коэффициент примет следующий вид:

$$K = \frac{\frac{2,18}{0,79} + \frac{1,71}{0,53}}{2} \quad (5)$$

Корректирующий коэффициент  $K=2,99$ . Следовательно, необходимо скорректировать модель, полученную с использованием метода анализа иерархий, в случае, когда реализация организационной меры приводит к достижению целей  $e_4$  и  $e_5$ . Таким образом, модель (1) в случае совместного достижения целей  $e_4$  и  $e_5$  примет вид:

$$E_M = 10 \times (0,474 \times e_1 + 0,237 \times e_2 + 0,158 \times e_3 + 0,236 \times e_4 + 0,159 \times e_5) \quad (6)$$

Целесообразно верифицировать данную модель на примерах из таблицы 1, которые сильно отличались от результатов опроса. Повторная верификация представлена в таблице 3.

Таблица 3  
Table 3

Сравнение результатов оценки эффективности мер  
Comparison of the results of assessing the effectiveness of measures

№ п/п	Организационная мера	Достигнутые цели	Эффективность (модель)	Эффективность (опрос)	Эффективность (модель с коэффициентом)
1.	Проведение информирования с пользователями	$e_4, e_5$	1,32	3	3,95
2.	Проведение практических занятий по порядку эксплуатации АССН, с акцентом на информацию о ВП и ответственности за нарушение требований по ИБ	$e_2, e_4, e_5$	3,69	6	6,32
3.	Проведение занятий по порядку действий при обнаружении признаков реализации функций ВП и учет работы пользователей в АССН	$e_3, e_4, e_5$	2,9	5,25	5,53

Исходя из результатов повторной верификации, мы видим, что численный метод с корректирующим коэффициентом позволяет более точно оценить эффективность применения организационных мер.

### Заключение

Для оценки эффективности принятых организационных мер для обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем специального назначения предложено разработать модель на основе метода анализа иерархий и искусственных нейронных сетей. В ходе моделирования были решены следующие задачи:

1. Определены цели реализации организационных мер по подготовке пользователей АССН для обеспечения информационной безопасности (5 целей).
2. Определен перечень организационных мер по подготовке пользователей АССН для обеспечения информационной безопасности (14 мер).

3. Разработана модель оценки эффективности принятых организационных мер на основе метода анализа иерархий. Сформирован корректирующий коэффициент для мер, реализация которых обеспечивает совместное достижение целей е4 и е5.

4. Выполнена верификация полученных моделей.

Предложенный в работе подход к моделированию оценки опасности эффективности принятых мер целесообразно использовать и для других мер по обеспечению информационной безопасности. Прогнозирование эффективности принятых организационных мер позволит должностному лицу, ответственному за обеспечение информационной безопасности, принимать корректные управленческие решения при появлении неизвестной вредоносной программы, в зависимости от ее опасности.

### Список литературы

- Горячев С.Н., Кобяков Н.С. 2022. Анализ деструктивных функций и процессов реализации угроз вредоносных программ на ИС органов внутренних дел. Защита информации. Инсайд. 2(104): 42-45. EDN FOWCTU.
- Жилин Р.А. 2022. Модели и численные методы оценки эффективности функционирования систем безопасности объектов органов внутренних дел: специальность 01.01.00 "Математика": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Воронеж, 146 с. EDN BSEFXL.
- Жиляков Е.Г., Лубков И.И., Болгова Е.В. 2022. Анализ и аппроксимация функций по эмпирическим данным на основе субполосных представлений. Экономика. Информатика. 49(4): 833-853. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-4-833-853. EDN FAVCQO
- Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Заливин А.Н., Болгова Е.В. 2021. Субполосные представления в задачах обработки эмпирических данных. Дифференциальные уравнения, математическое моделирование и вычислительные алгоритмы: Сборник материалов международной конференции, Белгород, 25–29 октября 2021 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, С. 111-113. EDN QUGWTW.
- Кобяков Н.С. 2023. Оценка опасности вредоносных программ классов "Троянские программы". Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2(10): 31-38. EDN OYZHVV.
- Мельников А.В., Кобяков Н.С., Жилин Р.А. 2023. Модели и алгоритмы реализации организационных мер защиты информации в АССН от деструктивных воздействий ранее неизвестных вредоносных программ. Вестник Воронежского института МВД России. № 3: 80-87. EDN ZILKNA.
- Мельников А.В., Сумин В.И., Кобяков Н.С. 2023. Модель оценки опасности вредоносных утилит. Промышленные АСУ и контроллеры. № 7: 33-40. DOI 10.25791/asu.7.2023.1448. EDN KBALDV.
- Мельников А.В., Кобяков Н.С. 2023. Подход к оценке опасности деструктивных воздействий вредоносных программ на автоматизированные системы специального назначения. Безопасность информационных технологий. 30(3): 51-60. DOI 10.26583/bit.2023.3.03. EDN RJWWZH.
- Наталичев Р.В., Горбатов В.С., Гавдан Г.П., Дураковский А.П. 2021. Эволюция и парадоксы нормативной базы обеспечения безопасности объектов критической информационной инфраструктуры. Безопасность информационных технологий. 28(3): 6-27. DOI 10.26583/bit.2021.3.01. EDN JIMDXU.
- Кобяков Н.С., Мельников А.В., Поляков К.А., Плюхин А.Ю. 2023. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662134 Российская Федерация. «Расчет опасности вредоносных программ»: № 2023660462: заявл. 23.05.2023: опубл. 06.06.2023. EDN CBJXFU.
- Середкин С.П. 2022. Особенности кибератак на объекты критической информационной инфраструктуры в современных условиях. Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 4(16): 56-66. DOI 10.26731/2658-3704.2022.4(16).56-66. – EDN YTMDF.

- Сумин В.И. 2023. Оптимизация функционирования информационных систем специального назначения. Информационные процессы, системы и технологии. Т. 4, № 1(25): 16-21. DOI 10.52529/27821617\_2023\_4\_1\_16. – EDN ATIRON.
- Сумин В.И., Громов Ю.Ю., Тютюнник В.М. 2023. Оптимизация функционирования информационных систем специального назначения. Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. № 5: 1-6. DOI 10.36535/0548-0027-2023-05-1. EDN TXKJUV.
- Сумин В.И., Мельников А.В., Анциферова В.И., Сазонова С.А. 2023. Разработка логико-математических моделей принятия управленческих решений в сложных организационных системах специального назначения. Моделирование систем и процессов. 16(1): 26-34. DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-26-34. EDN NGLTFU.
- Язов Ю.К., Соловьев С.В. 2018. Организация защиты информации в информационных системах от несанкционированного доступа. Монография. Воронеж: Кварта, 588 с.
- Sumin V.I., Zybin D.G., Golovkin R.B. et al. 2021. Research of the process of functioning of hierarchical multi-level complex organizational systems. Journal of Physics: Conference Series: Current Problems, Voronezh, 07–09 декабря 2020 года. Voronezh, P. 012089. DOI 10.1088/1742-6596/1902/1/012089. EDN UYTLMY.

## References

- Goryachev S.N., Kobayakov N.S. 2022. Analiz destruktivnykh funktsiy i protsessov realizatsii ugroz vredonosnykh programm na IS organov vnutrennikh del [Analysis of destructive functions and processes of implementation of malware threats on the information systems of internal affairs bodies]. 2(104): 42-45. (in Russian).
- Zhilin R.A. 2022. Modeli i chislennye metody otsenki effektivnosti funktsionirovaniya sistem bezopasnosti ob"ektov organov vnutrennikh del: spetsial'nost' 01.01.00 "Matematika": dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Voronezh, 146 p. (in Russian).
- Zhilyakov E.G., Lubkov I.I., Bolgova E.V. 2022. Analysis and Approximation of Functions from Empirical Data Based on Subband Representations. Economics. Information technologies. 49(4): 833–853. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-4-833-853.
- Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Zalivin A.N., Bolgova E.V. 2021. Subpolosnye predstavleniya v zadachah obrabotki jempiricheskikh dannyh [Subband representations in empirical data processing problems]. Differentsial'nye uravneniya, matematicheskoe modelirovanie i vychislitel'nye algoritmy: Sbornik materialov mezhdunarodnoj konferencii, Belgorod, 25–29 oktjabrja 2021 goda. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universi-tet, p. 111-113 (in Russian).
- Kobyakov N.S. 2023. Otsenka opasnosti vredonosnykh programm klassov "Troyanskije programmy" [Assessing the danger of malware classes Trojan programs] Al'manakh Permskogo voennogo instituta voysk natsional'noy gvardii. 2(10): 31-38. (in Russian)
- Melnikov A.V., Kobayakov N.S., Zhilin R.A. 2023. Models and algorithms for implementing organizational measures to protect information in ASSN from the destructive effects of previously unknown malicious programs. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. No. 3: 80-87.
- Melnikov A.V., Sumin V.I., Kobayakov N.S. 2023. Model for assessing the danger of malicious utilities. Industrial automated control systems and controllers. No. 7: 33-40. DOI 10.25791/asu.7.2023.1448.
- Melnikov A.V., Kobayakov N.S. Approach to assessing the danger of destructive effects of malicious programs on automated systems for special purposes. Security of information technologies. 2023. 30(3): 51-60. DOI 10.26583/bit.2023.3.03.
- Natalichev R.V., Gorbato V.S., Gavdan G.P., Durakovskiy A.P. 2021. Evolution and paradoxes of the regulatory framework for ensuring the safety of critical information infrastructure objects. Security of information technologies. 28(3): 6-27. DOI 10.26583/bit.2021.3.01.
- Kobyakov N.S., Mel'nikov A.V., Polyakov K.A., Plyukhin A.Yu. 2023. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2023662134 Rossiyskaya Federatsiya. «Raschet opasnosti vredonosnykh programm»: № 2023660462: zayavl. 23.05.2023: opubl. 06.06.2023 (in Russian).
- Seredkin S.P. 2022. Features of cyber attacks on objects of critical information infrastructure in modern conditions. Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems. 4(16): 56-66. DOI 10.26731/2658-3704.2022.4(16).56-66.



- Sumin V.I. 2023. Optimization of the functioning of special-purpose information systems. Information processes, systems and technologies. Т. 4, No. 1(25): 16-21. DOI 10.52529/27821617\_2023\_4\_1\_16. EDN ATIRON.
- Sumin V.I., Gromov Yu.Yu., Tyutyunnik V.M. Optimizatsiya funktsionirovaniya informatsionnykh sistem spetsial'nogo naznacheniya [Optimization of the functioning of special-purpose information systems]. Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2: Informatsionnye protsessy i sistemy. 2023. № 5: 1-6. DOI 10.36535/0548-0027-2023-05-1 (in Russian).
- Sumin V.I., Melnikov A.V., Antsiferova V I., Sazonova S.A. 2023. Development of logical and mathematical models for making management decisions in complex organizational systems for special purposes Modeling of systems and processes. 16(1): 26-34. DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-26-34. EDN NGLTFU.
- Yazov Yu.K., Soloviev S.V. 2018. Organizatsiya zashchity informatsii v informatsionnykh sistemakh ot nesanksionirovannogo dostupa [Organization of information protection in information systems from unauthorized access]. Monografiya. Voronezh: Kvarta, 588 p. ISBN 978-5-93737-158-4 (in Russian).
- Sumin V.I., Zybin D G., Golovkin R.B. et al. 2021. Research of the process of functioning of hierarchical multi-level complex organizational systems. Journal of Physics: Conference Series: Current Problems, Voronezh, 07–09 декабря 2020 года. Voronezh, P. 012089. DOI 10.1088/1742-6596/1902/1/012089. EDN UYTLMY.

**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 06.11.2023

Поступила после рецензирования 26.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received November 06, 2023

Revised November 26, 2023

Accepted December 01, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Мельников Александр Владимирович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел, Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия

**Сумин Виктор Иванович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем, Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия

**Кобяков Николай Сергеевич**, адъюнкт кафедры автоматизированных информационных систем органов внутренних дел, Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander V. Melnikov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia

**Victor I. Sumin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Security of Telecommunication Systems, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russia

**Nikolay S. Kobyakov**, adjunct of the Department of Automated Information Systems of Internal Affairs Bodies, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-883-892

## Метод пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде

<sup>1</sup> Кукушкин Л.С., <sup>2</sup> Бурданова Е.В., <sup>2</sup> Заливин А.Н.

<sup>1</sup> Акционерное общество Рязанское производственное техническое предприятие «Гранит»  
Россия, 390039, г. Рязань, ул. Интернациональная, 1Г

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: leofrontier@gmail.com, burdanova@bsu.edu.ru, zalivin@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Проблема разработки новых и модернизации существующих методов оперативно-технического мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в мелководной среде, становится всё более актуальной. В статье рассматривается новое решение пассивного мониторинга на малых глубинах (4-5 метра), когда применение гидроакустической локализации сопровождается значительным ростом уровня помехового фона. Предлагается регистрировать колебания давления, которые появляются в воде в поле неоднородной волны, сопровождающей движение пловца. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили научно-практическую значимость разработанного метода. Даны рекомендации по его использованию.

**Ключевые слова:** мониторинг, малоразмерный объект, водная акватория, новые физические принципы, составляющие основу измерений, и их реализация, результаты экспериментальных исследований

**Для цитирования:** Кукушкин Л.С., Бурданова Е.В., Заливин А.Н., 2023. Метод пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде. Экономика, Информатика, 50(4): 883–892. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-883-892

## Method for Passive Monitoring Small-Sized Objects Moving in Water

<sup>1</sup> Leonid S. Kukushkin, <sup>2</sup> Ekaterina V. Burdanova, <sup>2</sup> Aleksandr N. Zalivin

<sup>1</sup> Joint Stock Company Ryazan Production Technical Enterprise “Granit”

1G Internatsionalnaya St, Ryazan, 390039, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University

85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: leofrontier@gmail.com, burdanova@bsu.edu.ru, zalivin@bsu.edu.ru

**Abstract.** Currently, the problem of developing new and modernizing existing methods of operational and technical monitoring of water areas is becoming urgent. At the same time, issues related to the monitoring of small-sized objects moving in shallow water at depths of up to 5 meters are the least worked out. The article discusses a new solution for passive monitoring, including in conditions of shallow depths, when the use of sonar location is accompanied by a significant increase in the level of background noise. Its essence lies in the registration of pressure fluctuations that occur when an object

moving in water flows around in the field of an inhomogeneous wave accompanying it in the process of movement. It is shown that the peculiarity of the wave created by the flow around the body of the object is characterized by the presence of a unmasking feature in the form of a zone of local varying pressures. Such a zone is formed around an object moving in the water (for example, a swimmer) and spreads with it, and its distinctive features become sharply distinguished in the changing water space next to the object. The conducted experimental studies confirmed the scientific and practical significance of the developed method. Recommendations on its use are given.

**Keywords:** monitoring, small-sized object, water area, physical principles of selection, wave heterogeneity, water pressure, algorithms and detection methods

**For citation:** Kukushkin L.S., Burdanova E.V, Zalivin A.N. Method for Passive Monitoring Small-Sized Objects Moving in Water. Economics. Information technologies, 50(4): 883–892 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-883-892

---

## Введение

Вопросы оперативно-технического мониторинга водных акваторий были актуальными всегда. Об этом свидетельствует активно проводимые работы. На рисунке 1 приведена ситуационная схема организации и взаимодействия различных инфотелекоммуникационных средств перспективной комплексной системы мониторинга и охраны побережья и прилегающей водной акватории [Кузнецов, 2019; Ширяев и др., 2023].

Из неё следует необходимость: 1) организации как минимум трёх водных рубежей охраны (ближней, средней и дальней) с использованием как активных, так и пассивных средств мониторинга; 2) применения средств электронного наблюдения, радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и поражения средств нападения с использованием как береговых, так и корабельных комплексов и систем обороны. Также перспективные комплексные системы охраны и обороны побережья предполагают массированное использование различных беспилотных аппаратов, а также различных информационных и телекоммуникационных технологий связи и управления.

Статья посвящена вопросам совершенствования методов мониторинга важных объектов и границ прибрежных районов. Основой повышения эффективности мониторинга становятся инновационные методы измерений, представления, обработки и информационной поддержки принятия решений (ИППР) [Гладков, Чаплинский, 2008; Борейко и др., 2014]. Важная их особенность заключается в поиске новых резервов в виде различных нетрадиционных технических решений, использование которых позволило бы вывести ведущиеся в этой области науки и техники работы на качественно новый уровень [Кукушкин, 2003; Кадыков, 2014; Инзарцев и др., 2018; Кузнецов, 2019]. При этом задача связана с обнаружением малоразмерных объектов на мелководье, когда все известные методы гидроакустической локации становятся малоэффективными [Кутателадзе, 1973, Инзарцев и др., 2018]. Мелководье – это хорошо освоенная пловцами среда [Кутателадзе, 1973; Кадыков, 2014; Кузнецов, 2018; Кузнецов, 2019].

Большую актуальность такой мониторинг приобретает при охране важных объектов [Князев, Яцун, Яцун, 2019; Матвиенко, Хворостов, Каморный, 2019], например, атомных электростанций (АЭС), вблизи которых имеются каналы глубиной менее 5 м и объемные мало глубинные акватории (рис. 1).



Рис. 1. Ситуационная схема перспективной системы мониторинга водной акватории и побережья с использованием инфо-телекоммуникационных средств  
Fig. 1. Situational diagram of a prospective monitoring system of the water area and the coast using information and telecommunication means

### Недостатки существующих методов

Условия мелководья усугубляют решение проблемы оперативно-технического мониторинга водных акваторий, при этом использование традиционных методов активной акустической гидролокации не дает ожидаемого эффекта [Кузькин, Матвиенко, Переселков, 2019; Матвиенко и др., 2022]. Из-за многочисленных отражений звука и излучаемых сигналов от дна и водной поверхности использование локационных методов невозможно. Пассивные методы мониторинга, ориентированные на обнаружение подводных объектов, также оказываются малоприменимы. Они реагируют только на объекты мониторинга, которые сами становятся источниками акустического излучения. Например, к ним относится шум винтов подводного аппарата. Пловец на ластах является исключением: создаваемые при его движении волны становятся неразличимыми на фоне естественных шумов водных акваторий. Единственный принцип обнаружения пловца под водой – магнитометрический. При этом отклик извещателя такого типа основывается на железосодержащихся у пловца-нарушителя материалах. [Кадыков, 2014; Zhang, Па, Kneip, 2018; Казначеева и др., 2021].

Но магнитометрический метод обладает низкой чувствительностью. Эффективное его применение ограничено расстоянием 2-3 м до объекта мониторинга. Этот недостаток связан с наблюдаемым значительным уменьшением мощности сигнала, порядок угасания которой определяется показателем  $r^{-6}$ , где  $r$  – расстояние до контролируемого объекта. Практическая значимость такого метода существенно уменьшена, поскольку в современной экипировке пловца железосодержащие материалы отсутствуют. Методы мониторинга нарушителя с использованием радиолокации также существенно ограничены, поскольку затухание мощности излучаемого сигнала пропорционально  $r^{-4}$ , что не менее, чем на два порядка хуже при его распространении в атмосфере. Единственным методом мониторинга при этом остаётся гидроакустика. Известен метод обнаружения объектов под водой, при этом падающий от излучателя на приемник извещателя звуковой луч пересекается обнаруживаемым объектом. [Кузнецов, 2019; Матвиенко и др., 2019; Олейник и др., 2022].

Однако он обладает сигнализационной надежностью, не удовлетворяющей предъявляемым современным требованиям к извещателям. Основная причина такого положения заключается в многочисленных помехах и высоком уровне неопределённости при измерениях, проводимых в прибрежных водных акваториях техническими средствами охраны. Проведенные исследования показывают, что основной недостаток известных методов обнаружения подводного пловца на мелководье заключается в сложности создания условий для эффективного мониторинга его движения. Явление рефракции звука в реальной, а не идеализированной водной среде негативно сказывается на эффективности известных методов обнаружения. Поэтому эффект маскирования подводного нарушителя становится ярко выраженным. Из-за этого он становится не наблюдаемым техническими средствами охраны при расстояниях более 8 м. При этом проблемным становится возможность обнаружения нарушителя, когда его движение отображается на низких частотах сигнала, к которым оказываются нечувствительны приёмники извещателей из-за помех, создаваемых естественным шумом водной среды. Поэтому особо актуальной становится разработка новых пассивных методов мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде [Кукушкин, 2018; Кузнецов, 2019; Burdanova et al 2019; Попов и др., 2022].

### **Сущность метода пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде**

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости поиска новых приёмов, использование которых позволило бы с заданными показателями сигнализационной надёжности решить задачу мониторинга подводного пловца-нарушителя. Проведенные исследования показывают, что одно из таких нетрадиционных решений связано с обнаружением и регистрацией колебаний давления в поле неоднородной волны в воде, возникающей перед и после проплывающего пловца-нарушителя. Поэтому объектом мониторинга становятся процессы обтекания движущегося в воде объекта. В этом проявляется особенность предлагаемого метода. Его суть заключается в мониторинге особенностей изменений зоны локальных давлений волны, которая образуется вокруг движущегося в воде объекта. Она становится наиболее резко выраженной в контролируемом водном пространстве и поэтому выбрана в качестве информационного критерия обнаружения нарушителя. При этом работа извещателя должна быть направлена на обнаружение различий зон давления, появляющихся впереди и за движущимся под водой объектом мониторинга.

Основной появляющийся при этом вопрос заключается в следующем: «Какие принципы измерений могут быть использованы в качестве теоретической основы построения такого извещателя»? Определим независимые исходные физические параметры, определяющие процесс обтекания тела. Это  $p$  – давление в поле неоднородной волны;  $\rho$  – плотность среды;  $U$  – скорость движения тела. Подлежащие учету исходные данные представлены в таблице 1:  $l$  и  $L$  – характерные линейные параметры волны давления в поперечном и продольном направлениях;  $\mu$  – динамическая вязкость воды, в которой движется объект мониторинга;  $r$  – расстояние до него и  $t$  – текущее время.

При организации измерений необходимо выйти на такую определяемую при измерениях универсальную величину  $M$  интенсивности звуковых лучей, использование которой позволило бы повысить эффективность обнаружения наличия пловца в охраняемой водной акватории в условиях. Для повышения эффективности измерений, определяемой показателем достоверности обнаружения пловца, необходимо определить какие комбинации физических параметров могут быть использованы для решения этой проблемной задачи. Для построения системы измерений необходимо, прежде всего, определить такие различные соотношения перечисленных исходных данных, которые были бы безразмерными. Выполненный анализ размерности получаемых при этом величин показывает, что предъявляемым требованиям отвечают следующие отношения:

$$p^2 r / \rho \mu U^3, U t / L, L / l, \rho U l / \mu \quad (1)$$

Эти комбинации различных отношений отвечают требованиям, определяющим основу построения систем телеизмерений [Гладков, Чаплинский, 2008, Zhilyakov et al., 2020].

Ими, как показали проведенные исследования, и определяется взаимосвязь исходных физических параметров, которая и составляет сущность предлагаемого метода. Кроме того, оказывается, что каждое из полученных безразмерных отношений имеет свою физическую интерпретацию.

Первая комбинация определяет следующую взаимосвязь параметров: плотность среды  $\rho$ ; скорость  $U$  движения; давление  $p$  волны, создаваемой при движении объекта мониторинга; динамической вязкости воды  $\mu$ , в которой движется объект мониторинга и расстояние до него  $r$ .

Второе соотношение, раскрывающее следующую прикладную форму зависимости  $p$  от  $U$  и  $r$  в волне:

$$p \sim U^{1.5} \text{ и } p \sim r^{-0.5}. \quad (2)$$

В предлагаемом методе прикладной характер использования соотношений (1) и (2) заключается в следующем:

- в разрабатываемой системе мониторинга должны определяться параметры  $l$  и  $L$ , знание которых позволяет идентифицировать трансформацию пространственной структуры волны давления  $p$ , данная трансформация вызвана влиянием скорости  $U$  движения тела на пространственную структуру волны;

- параметры локальных областей сжатий и разрежений в волне должны меняться при изменениях скорости движения объекта или тела, что, в свою очередь, приводит к изменениям формы зависимости давления от  $U$  и  $r$ .

Движение пловца или объекта создает пространственно-временную характеристику давления в волне, которая определяется безразмерным отношением  $U t / L$ . В описываемом методе характеристика пространственно-временной периодичности поля давления является универсальной. Её физическое определение происходит в извещателе и имеет вид определённых последовательностей чередования максимумов и минимумов давления в волне. Подлежащие дополнительному определению на основе известных методов технической охраны мелководных акваторий скорость движения тела  $U$  и продольный размер поля давления  $L$ , влияют на пространственно-временную характеристику давления в волне. Определение отношения  $L/l$  должно являться основой метода. Поэтому в статье используется классификация, где безразмерная комбинация параметров является третьей. Её отличительная особенность состоит в том, что появляется двумерная по проявлению характеристика поля давления.

Такое решение отвечает требованиям, которые предъявляются конструктивной теорией измерений и сигнальных определений к создаваемым перспективным извещателям [Гладков, Чаплинский, 2008]. Это направление активно развивается в системах мониторинга, использующих нетрадиционное представление данных измерений образами-остатками и другими замещающими структурно-алгоритмическими преобразованиями (САП) [Кукушкин, 2003, Князев, Яцун, Яцун, 2019, Шишкин, Скатков, 2019]. Многочисленными экспериментальными исследованиями и техническими реализациями показано, что в этом случае активно используется внутренняя структура ( $S_{\text{внутр}}$ ) получаемых данных измерений для достижения комплексного положительного технического эффекта. В этом случае обеспечивается возможность одновременного улучшения не одного, а сразу нескольких показателей эффективности мониторинга.

В существующих научно-методических подходах, ориентированных на традиционно используемую внешнюю структуру ( $S_{\text{внешн}}$ ) представления данных измерений, она не используется, что является их основным недостатком. Эта идея также плодотворно работает

и в других технических приложениях, например, при обнаружении сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах [Элбакидзе и др., 2018; Олейник и др., 2022]. Применяемую при этом субполосную обработку информации можно рассматривать как полезное использование внутренней структуры ( $S_{\text{внутр}}$ ) данных, получаемых при сверхширокополосной радиолокации.

Предлагаемый подход к мониторингу также отличается от известных решений тем, что используются различные проблемно-ориентированные технические решения. Так, при измерениях учитывается тот факт, что при строгом подходе отношение  $L/l$  зависит от параметров движущегося тела или объекта. Данное отношение является постоянным (инвариантом) в условиях проведения экспериментальных исследований, когда движение в водной среде совершает одно и то же тело, объект. При таких условиях проведения эксперимента можно воспользоваться неполной комбинацией параметров. При этом целесообразно использовать зависимости  $p$  от  $r$  и  $p$  от  $Ut$ .

Правильность выбранного подхода к построению при создании технических систем охраны извещателей нового типа подтверждается тем, что четвертая безразмерной комбинации становится узнаваемой. Она представлена числом Рейнольдса, известным в гидродинамике. В предлагаемом методе использование четвертого безразмерного отношения величин определяет характер обтекания тела в водной среде. Он может быть ламинарным или турбулентным.

Таким образом, особенность полученных результатов определяется тем, что частный случай построения безразмерных величин, которые составляют основу мониторинга движения пловца, является известным и не вызывает сомнений. Благодаря этому существенно повышается значимость прикладного использования других полученных безразмерных соотношений.

Это служит дополнительным доказательством обоснованности разработанных теоретических положений, которые должны быть использованы при построении извещателей нового типа. При этом необходимо отметить тот известный факт, что по сравнению с извещателями, датчиками и сенсорами, которые используют при технической охране сухопутных границ контролируемых важных объектов, морская тематика их использования разработана недостаточно. Об этом свидетельствует существующая практика охраны водных акваторий.

Проведенные исследования показали, что необходимо учитывать практическое использование рассмотренных соотношений и предлагаемого пассивного способа мониторинга. Использование различных технических приспособлений при передвижении в воде (например, использование ласт) очень сильно влияют на результаты измерений, т.к. вносит дополнительный вклад в формирование поля неоднородной волны давления впереди и сзади пловца (объекта). В этом случае повышение давления перед движущимся объектом, которое появляется за счет скоростного напора среды при его движении, сопровождается обратным процессом: его понижению за его пределами. Образовавшееся различие в давлениях приводит, в свою очередь, к дополнительному притоку воды в разреженную область водного пространства. В результате этого появляются высокочастотные колебания давления, обусловленные импульсной работой ласт и сменой давлений. Все эти теоретические описания составляют основу и для определения технологий измерений, которые, в свою очередь, определяют облик разрабатываемых извещателей и систем технической охраны, построенной на их основе.

### **Результаты экспериментов по мониторингу движущихся в воде пловцов**

Проведенный измерительный эксперимент отличают следующие особенности. Приемник-гидрофон, выполняющий функции измерений, опускали в воду на дно озера на глубину 4 м. При этом на водной поверхности два разметочных буя размещались по линии пересечения с гидрофоном. Дополнительная цель такой разметки заключалась в том,

чтобы она выполняла и функции ориентира для пловца. Кроме того, её использование должно обеспечивать возможность реализации наиболее простой технологии оценивания его скорости на основе определения времени прохождения под водой от одного буя до другого, расстояние между которыми известно. Пловец должен был находиться под водой на глубине около 2 м у одного из буйев. Через определённое время он проплывал на ластах до другого буя над установленным на дне приёмником-гидрофоном. На вспомогательном плавучем средстве с установленным на нём дисплеем компьютера осуществлялся приём сигналов колебаний давления, сформированных приёмником-гидрофоном. Одновременно регистрировался также и фон естественного низкочастотного шума водной среды. Он использовался при проведении экспериментальных исследований для оценки уровня неопределённости получаемых данных измерений.

Проведенные испытания показали, что расхождение теоретических расчётов и полученных при проведении экспериментов количественных оценок зависимости давления  $p$  в волне от скорости движения пловца  $U$  в виде соотношения  $p \sim U^{1.5}$  не превышает 5%.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют сделать следующий важный для прикладного применения метода вывод. При расстоянии между соседними приемниками в цепочке, не превышающим 4-5 м, обнаружение пловца будет обеспечиваться вероятностью  $P \geq 0,95$ . Следовательно, использование метода также будет ограничено сравнительно небольшими глубинами, не более 4-5 м. Кроме того, для получения обнадёживающих результатов мониторинга необходимо совершенствовать существующие информационные технологии борьбы с помехами, уровень которых может существенно превышать то его значение, которое было зарегистрировано при проведении экспериментальных исследований. Поэтому одна из сопутствующих задач метода должна заключаться в разработке технологий помехоустойчивой обработки сигналов, формируемых приёмниками-гидрофонами [Кузнецов, 2018, Ширяев, Кукушкин, Олейник, 2023]. Также предварительная обработка принятых сигналов, формируемых приемниками-гидрофонами, должна существенно уменьшить объемы передачи данных в центр сбора и принятия решений.

### Заключение

В статье описаны и проанализированы основные недостатки существующих методов оперативно-технического мониторинга водных акваторий. На основе полученных выводов о необходимости поиска новых приёмов, позволяющих решить задачу мониторинга подводного водных акваторий, разработан метод обнаружения пловцов-нарушителей, движущихся в воде, на небольшой глубине с использованием приёмников-гидрофонов. Основу его реализации составляет определение безразмерных соотношений между основными демаскирующими признаками движения под водой пловца-нарушителя. Разработанный метод отличается простотой реализации. Но в то же время его применение характеризуется и высокими показателями эффективности обнаружения нарушителей. В результате проведенных экспериментальных исследований, было показано, что использование изложенного метода обнаружения позволяет обнаружить пловца-нарушителя с вероятностью  $P \geq 0,95$ . Также показаны основные ограничения метода, связанные с небольшими глубинами. Экспериментально доказано, что расхождение теоретических расчетов и практических результатов количественных оценок зависимости давления  $p$  в волне от скорости движения пловца  $U$  в виде соотношения  $p \sim U^{1.5}$  не превышает 5%. Описана перспектива совершенствования метода, которая связана с разработкой инновационных технологий обработки сигналов, формируемых приемниками-гидрофонами и искажённых помехами различного происхождения.



### Список литературы

- Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. 2019. Система управления АНПА большой автономности на базе мультиагентного подхода. Подводные исследования и робототехника. 2(28): 23–31.
- Гладков И.А., Чаплинский В.С. 2008. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем. – М.: Минобороны России, 328с.
- Инзарцев А.В., Борейко А.А., Боровик А.И., Ваулин Ю.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Сидоренко А.В., Спорышев М.С., Щербатюк А.Ф. 2018. Опыт использования АНПА типа МТ2010 для экологических исследований в бухте Золотой Рог Экологические системы и приборы. № 12. С. 38–45.
- Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. 2018. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение. под. ред. Л.В. Киселева. Владивосток: Дальнаука, 367 с.
- Кукушкин С.С. 2018. Способ первичной обработки информации с обнаружением и исправлением ошибок передачи Патент № 2658795, опубл. 22.06.2018, бюл. №18.
- Кутателадзе С.С. 1973. Пристенная турбулентность. Изд. «Наука», Новосибирск, 473с.
- Кукушкин С.С. 2003. Теория конечных полей и информатика, в 2-х т, т. 1 «Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках». – М.: Минобороны РФ, 378с.
- Кадыков И.Ф. 2014. Приемник низкочастотных колебаний давления в водной среде/ Патент РФ №2498251.
- Кузнецов В.И. 2019. Способ оперативно-технической охраны рубежей объектов и границ. Патент РФ № 2705770, G08B 13/02, опубл. 11.11.2019; Бюл. № 33.
- Кузнецов В.И. 2018. Способ первичной обработки информации с использованием адаптивной нелинейной фильтрации. Патент РФ № 2674809, опубл. 14.11.2018; Бюл. №32.
- Князев С.И., Яцун А. С., Яцун С. Ф. 2019. Управляемое движение малогабаритного подводного робототехнического комплекса (МБПК) Балтийский морской форум. Материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. Калининград, С. 40–45.
- Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Переселков С.А. 2019. Применение интерферометрической обработки для локализации малозумных источников звука // Подводные исследования и робототехника. 4 (30). С. 49–57.
- Казначеева Е.С., Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Переселков С.А., Хворостов Ю.А. 2021. Оценка дальности обнаружения малогабаритного подводного аппарата по его шумовому полю. Подводные исследования и робототехника. № 4 (38). С. 80–84.
- Матвиенко Ю.В., Новиков А.И., Ремезков А.В. 2019. Концепция создания роботизированного комплекса обследования и мониторинга технического состояния объектов подводной добычи. (Материалы восьмой всерос. науч.техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана» (ТПОМО8)). Владивосток, С. 6–10.
- Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В., Глушенко М.Ю., Кузькин В.М., Переселков С.А. 2022. Экспериментальные исследования системы обнаружения Малозумных подводных целей в мелководных акваториях. Подводные исследования и робототехника. 3(41): 4–14. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_41\_03\_01. EDN: CUYKTZ.
- Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В. 2019. Способ обнаружения подводного источника широкополосного шума: патент 201901778 РФ. № 2699923; заявл. 23.01.2019; опубл. 11.09.2019, Бюл. № 24
- Олейник И.И., Орищук С.Г., Головкин М.В., Прохоренко Е.В. 2022. Обнаружение сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации. Экономика. Информатика, 49(3): 597–607.
- Попов А.Н., Тетерин Д.П., Яшин А.Г., Харитонов А.Ю., Жиликов Е.Г., Олейник И.И. 2022. Субполосный способ радиолокационного обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Описание изобретения к патенту RU 2765272 С1 27.01.2022.
- Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Борискин С.С., Оберемко А.Г., Кукушкин Л.С. 2023. Способ сжатого помехоустойчивого кодирования данных для передачи и хранения информации (Патент № 2789785 С1 09.02.2023, бюл. № 7).
- Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Олейник И.И. 2023. Методы обработки информации при построении высокопроизводительных аппаратных систем на основе распараллеливания потоков передаваемых данных. Экономика. Информатика. 50(2):465–475.

- Шишкин Ю.Е., Скاتков А.В. 2019. Информационные технологии обнаружения аномалий в мониторинговых наблюдениях: монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 368 с.
- Элбакидзе А.В., Каевицер В.И., Смольянинов И.В., Пивнев П.П., Тарасов С.П., Воронин В.А. 2018. Автономные комплексы для исследования дна и донных отложений мелководных водоемов М. Изв.ЮФУ. Техн. науки. 200(6): 6–18.
- Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology, 8(6): 3166-3170.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 1(9): 78-86
- Jun Zhang, Viorela Ila, Laurent Kneip. 2018. Robust Visual Odometry in Underwater Environment. OCEANS 2018 – MTS/IEEE Conf. KOBE, P. 1-9.

### References

- Boreyko A.A., Inzartsev A.V., Mashoshin A.I., Pavin A.M., Pashkevich I.V. 2019. ANPA management system of great autonomy based on a multi-agent approach. Underwater research and robotics. No. 2 (28). pp. 23-31.
- Gladkov I.A., Chaplinsky V.S. 2008. Methods and information technologies for monitoring the state of dynamic systems. M.: Ministry of Defense of Russia, 328 p.
- Inzartsev A.V., Boreyko A.A., Borovik A.I., Vaulin Yu.V., Kamorny A.V., Lvov O.Yu., Matvienko Yu.V., Sidorenko A.V., Sporyshev M.S., Shcherbatyuk A.F. 2018. Experience in the use of ANPA type MT2010 for environmental research in the Golden Horn Bay Ecological systems and devices. No. 12. pp. 38-45.
- Inzartsev A.V., Kiselev L.V., Kostenko V.V., Matvienko Yu.V., Pavin A.M., Shcherbatyuk A.F. 2018. Underwater robotic complexes: systems, technologies, applications / ed. by L.V. Kiselev. Vladivostok: Dalnauka, 367 p.
- Kukushkin S.S. 2018. Method of primary information processing with detection and correction of transmission errors Patent No. 2658795, publ. 22.06.2018, bul. No. 18.
- Kutateladze S.S. 1973. Wall turbulence. Publishing house "Science", Novosibirsk, 473 p.
- Kukushkin S.S. 2003. Theory of finite fields and Computer Science, in 2 volumes, vol. 1 "Methods and algorithms, classical and non-traditional, based on the use of the structural remainder theorem". Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation, 378 p.
- Kadykov I.F. 2014. Receiver of low-frequency pressure fluctuations in an aqueous medium. RF Patent No. 2498251
- Kuznetsov V.I. 2019. Method of operational and technical protection of the boundaries of objects and borders. RF Patent No. 2705770, G08B 13/02, publ. 11.11.2019; Bul. No. 33.
- Kuznetsov V.I. 2018. A method of primary information processing using adaptive nonlinear filtering. RF Patent No. 2674809, publ. 14.11.2018; Bul. No. 32.
- Knyazev S.I., Yatsun A.S., Yatsun S.F. 2019. Controlled movement of a small-sized underwater robotic complex (MBPC) Baltic Sea Forum. Materials of the VII International Baltic Sea Forum: in 6 volumes Kaliningrad, pp. 40-45.
- Kuzkin V.M., Matvienko Yu.V., Perestrokov S.A. 2019. The use of interferometric processing for localization of low-noise sound sources. Underwater research and robotics. 4(30): 49-57.
- Kaznacheeva E.S., Kuzkin V.M., Matvienko Yu.V., Perestrokov S.A., Hvorostov Yu.A. 2021. Estimation of the detection range of a small-sized underwater vehicle by its noise field. Underwater research and robotics. 4 (38): 80-84.
- Matvienko Yu.V., Novikov A.I., Remezko A.V. 2019. The concept of creating a robotic complex of inspection and monitoring of the technical condition of underwater mining facilities. (Materials of the eighth All-Russian Scientific and Technical conf. "Technical problems of the development of the world ocean" (TPOMO8)). Vladivostok, Pp. 6-10.
- Matvienko Yu.V., Hvorostov Yu.A., Kamorny A.V., Glushchenko M.Yu., Kuzkin V.M., Perestrokov S.A. 2022. Experimental studies of a system for detecting low-noise underwater targets in shallow waters. Underwater research and robotics. 3 (41): 4-14. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_41\_03\_01. EDN: CUYKTZ.
- Matvienko Yu.V., Hvorostov Yu.A., Kamorny A.V. 2019. Method for detecting an underwater broadband noise source: patent.

- Oleinik I.I., Orishchuk S.G., Golovko M.V., Prokhorenko E.V. 2022. Detection of signals against the background of noise in ultra-wideband radar systems during subband processing of information. *Economics. Information technologies*, 49(3), pp. 597-607.
- Popov A.N., Teterin D.P., Yashin A.G., Kharitonov A.Yu., Zhilyakov E.G., Oleinik I.I. 2022. A subband method of radar detection of small-sized unmanned aerial vehicles. Description of the invention to patent RU 2765272 C1 27.01.2022.
- Shiryaev A.A., Kukushkin S.S., Boriskin S.S., Oberemko A.G., Kukushkin L.S. 2023. A method of compressed noise-resistant encoding of data for transmitting and storing information (Patent No. 2789785 C1 09.02.2023, byul. No. 7).
- Shiryaev A.A., Kukushkin S.S., Oleinik I.I. 2023. Methods of information processing in the construction of high-performance hardware systems based on the parallelization of transmitted data streams. *Economics. Information technologies*. 50(2): 465-475.
- Shishkin Yu.E., Skatkov A.V. 2019. Information technologies for detecting anomalies in monitoring observations: monograph. Simferopol: IT "ARIAL", 368 p.
- Elbakidze A.V., Kaevitser V. I., Smolyaninov I. V., P. P. Pivnev, S. P. Tarasov, V. A. Voronin 2018. Autonomous complexes for the study of the bottom and bottom sediments of shallow reservoirs M. *Izv.SFU. Tech. nauki*. 2018 Vol. 200, No. 6, pp. 6-18.
- Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. *COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology*, 8(6): 3166-3170.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 1(9): 78-86
- Jun Zhang, Viorela Ila, Laurent Kneip. 2018. Robust Visual Odometry in Underwater Environment. *OCEANS 2018. MTS/IEEE Conf. KOBE*, P. 1–9.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 12.09.2023

Поступила после рецензирования 25.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received September 12, 2023

Revised November 25, 2023

Accepted December 01, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кукушкин Леонид Сергеевич**, научный сотрудник, Акционерное общество Рязанское производственное техническое предприятие «Гранит», г. Рязань, Россия

**Бурданова Екатерина Васильевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Заливин Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Leonid S. Kukushkin**, research associate, Joint Stock Company Ryazan Production Technical Enterprise "Granit", Ryazan, Russia

**Ekaterina V. Burdanova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Aleksandr N. Zalivin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.942

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-893-900

## Алгоритмы обработки информации в задачах контроля и прогнозирования состояния криогенного оборудования

Солдатов Е.С.

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН  
Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39  
E-mail: volshebnoekoltso@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы сбора, обработки и передачи информации при дистанционном контроле состояния стационарного и транспортного криогенного оборудования, применяемого для длительного хранения криогенных продуктов. Изложено решение задачи превентивного информирования диспетчерских служб и эксплуатирующей организации о наличии технической неисправности криогенного сосуда, которая приводит к увеличению давления вакуума в теплоизоляционной полости, что обуславливает повышенный теплоприток из окружающей среды и существенное изменение давления во внутреннем сосуда с течением времени. Представлена структура информационной системы мониторинга состояния криогенного оборудования и приведено описание вычислительного алгоритма расчета оценки технического состояния экранно-вакуумной теплоизоляции криогенного сосуда по отклонению темпа роста давления, а также алгоритма расчета оценки времени бездренажного хранения с учетом изменения давления вакуума в теплоизоляционной полости.

**Ключевые слова:** вычислительный алгоритм, криогенное оборудование, мониторинг оборудования, дистанционный мониторинг, бездренажное хранение, экранно-вакуумная теплоизоляция, теплообмен

**Для цитирования:** Солдатов Е.С. 2023. Алгоритмы обработки информации в задачах контроля и прогнозирования состояния криогенного оборудования. Экономика. Информатика, 50(4): 893–900.

---

## Information Processing Algorithms in Tasks of Monitoring and Predicting the State of Cryogenic Equipment

Evgeny S. Soldatov

Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences  
39, 14 line V.O., Saint Petersburg, 199178, Russia  
E-mail: volshebnoekoltso@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the issues of collecting, processing and transmitting information during remote monitoring of the condition of stationary and transport cryogenic equipment used for long-term storage of cryogenic products. A solution to the problem of preventive informing dispatch services and the operating organization about the presence of a technical malfunction of a cryogenic vessel is outlined, which leads to an increase in vacuum pressure in the thermal insulation cavity, causing an increased heat flow from the environment and a significant change in pressure in the internal vessel over time. The structure of the information system for monitoring the condition of cryogenic equipment is presented. The article also gives a description of the computational algorithm for calculating the assessment of the technical condition of the screen-vacuum thermal insulation of a cryogenic vessel based on the deviation of the pressure growth rate, as well as the algorithm for calculating the assessment of the time of drainless storage taking into account changes in vacuum pressure in the heat-insulating cavity.

**Keywords:** computational algorithm, cryogenic equipment, equipment monitoring, remote monitoring, drainless storage, screen-vacuum thermal insulation, heat and mass transfer

**For citation:** Soldatov E.S. 2023. Information Processing Algorithms in Tasks of Monitoring and

## Введение

При длительном хранении криогенных продуктов (жидкого кислорода, жидкого азота, сжиженного природного газа, жидкого водорода и др.) с закрытым клапаном газосброса (бездренажное хранение) теплопритоки через вакуумную теплоизоляцию приводят к испарению части продукта и росту давления в сосуде любого типа: резервуаре, цистерне, топливном баке и др. Проблема усугубляется в том случае, когда по различным причинам продолжительное время отсутствует отбор из криогенных сосудов жидкого продукта на нужды потребителя, в частности, когда отсутствие отбора обусловлено потребностью длительного хранения топлива на предприятиях [Chen et al., 2016; Ряжских и др., 2020]. Как правило, это приводит к потерям продукта после достижения максимально допустимого рабочего давления в сосуде вследствие автоматического сброса газа в атмосферу через предохранительные клапаны. При этом уровень потерь криогенного продукта напрямую связан с техническим состоянием сосуда, главным образом, с величиной давления вакуума в теплоизоляционной полости резервуара, цистерны или топливного бака. Утечки паров горючих газов также приводят к образованию в воздухе рабочей зоны взрывоопасного облака, которое трудно поддается рассеиванию из-за активной конденсации атмосферной влаги, что обуславливает повышенные риски возникновения взрывопожароопасной ситуации [Kang et al., 2017; Ustolina et al., 2022].

Проведение диагностики теплоизоляции криогенного сосуда является затруднительным действием из-за отсутствия в большинстве случаев стационарных датчиков давления вакуума. Это обуславливает необходимость остановки сосуда и временного вывода его из эксплуатации для оценивания состояния теплоизоляции [Bo et al., 2021; Lee et al., 2023]. При этом, получить оценку технического состояния сосуда можно и косвенными методами, например, путем вычисления темпа роста давления, который в общем случае имеет нелинейный характер. В этом случае целесообразным является применение цифровых двойников криогенной системы хранения (СХ), в которых используются базы данных результатов компьютерного моделирования процессов бездренажного хранения различных криогенных продуктов [Short, Twiddle, 2019; Mourtzis et al., 2020; Lee et al., 2022; Balyk et al., 2023]. Однако точное прогнозирование времени хранения криогенного продукта в СХ при помощи моделирования представляет собой сложную задачу, решение которой для всего спектра вероятных термодинамических состояний продукта пока не представляется возможным [Huerta et al., 2021]. Поэтому для расчета оценки времени бездренажного хранения продукта с достаточной для практических целей точностью целесообразно применение эвристических вычислительных алгоритмов [Солдатов, 2019; Soldatov, Bogomolov, 2021].

## Информационная система мониторинга состояния криогенного оборудования

Базовой задачей информационного взаимодействия в связке «система хранения – цифровой двойник» является обеспечение удаленного мониторинга состояния криогенного оборудования, в том числе с возможностью на основе результатов компьютерного моделирования вычислять резервное время бездренажного хранения продукта для каждой конкретной системы хранения [Strotos et al., 2016; Saufi et al., 2019; Kartuzova et al., 2020; Tobin et al., 2022].

Структурная схема, показывающая взаимосвязь программных средств при решении задач промышленного мониторинга состояния криогенных СХ, приведена на рисунке 1. Информация от датчиков и преобразователей направляется в модуль телеметрии. За счет наличия у каждой из СХ, состояние которой контролируется в режиме реального времени, индивидуального телеметрического модуля, в информационную систему мониторинга мо-

гут быть включены различные системы хранения, вне зависимости от объема криогенного хранилища или удаленности систем друг от друга [Larkin et al., 2023a; Larkin et al., 2021].

Сервер цифрового двойника (ЦД) системы хранения содержит вычислительный комплекс, где производится обработка информации, поступающей от модулей телеметрии каждой из подключенных к системе мониторинга стационарных и транспортных СХ. Ключевой информацией являются данные по давлению и уровню жидкого продукта. На информационной картине ЦД также отображается режим хранения в конкретный момент времени (стационарный или транспортный) и основной расчетный параметр – оценка резервного времени бездренажного хранения.

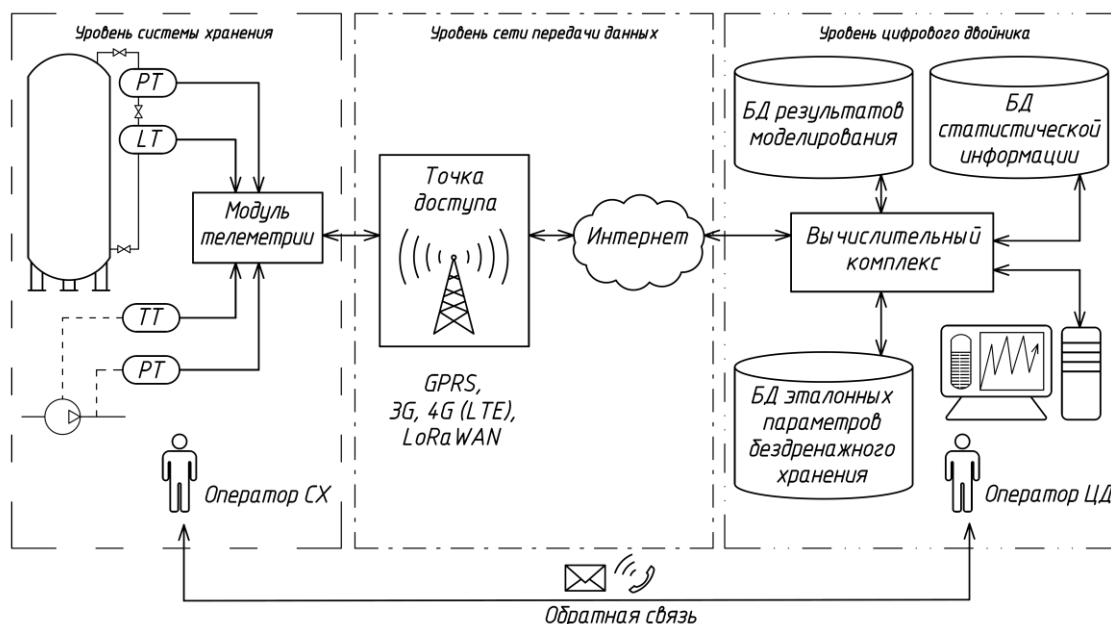


Рис. 1. Структура информационной системы мониторинга состояния криогенного оборудования (СХ – система хранения; БД – база данных; ЦД – цифровой двойник;

PT, LT, TT – преобразователи, соответственно, давления, уровня и температуры)

Fig. 1. Structure of the information system for monitoring the state of cryogenic equipment

(SS – storage system; DB – database; DT – digital twin;

PT, LT, TT – pressure, level and temperature converters, respectively)

Базой для вычисления прогнозируемой продолжительности бездренажного хранения являются массив данных по времени хранения, полученных по результатам компьютерного моделирования и помещенный в базу данных (БД) результатов моделирования. Текущая информация о процессе хранения дополнительно записывается в БД статистической информации, которая подлежит последующему анализу с целью уточнения прогноза по времени хранения для конкретной СХ.

### Алгоритм расчета оценки текущего технического состояния криогенного сосуда

Для каждой СХ с вакуумной теплоизоляцией задаются дискретные значения уровня жидкости в сосуде и помещаются в массив данных

$$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_n\}$$

При этом в каждом случае значению уровня жидкости соответствует то или иное значение рабочего давления в сосуде:

$$\forall l_j \in L \exists P_j = \{p_1^j, p_2^j, p_3^j, \dots, p_l^j\}$$

Блок-схема алгоритма расчета оценки состояния теплоизоляции посредством вычисления отклонения темпа роста давления в цистерне от нормального значения приведена на рисунке 2. Получение информации от датчиков (преобразователей) давления и уровня производится в момент времени  $k$ .

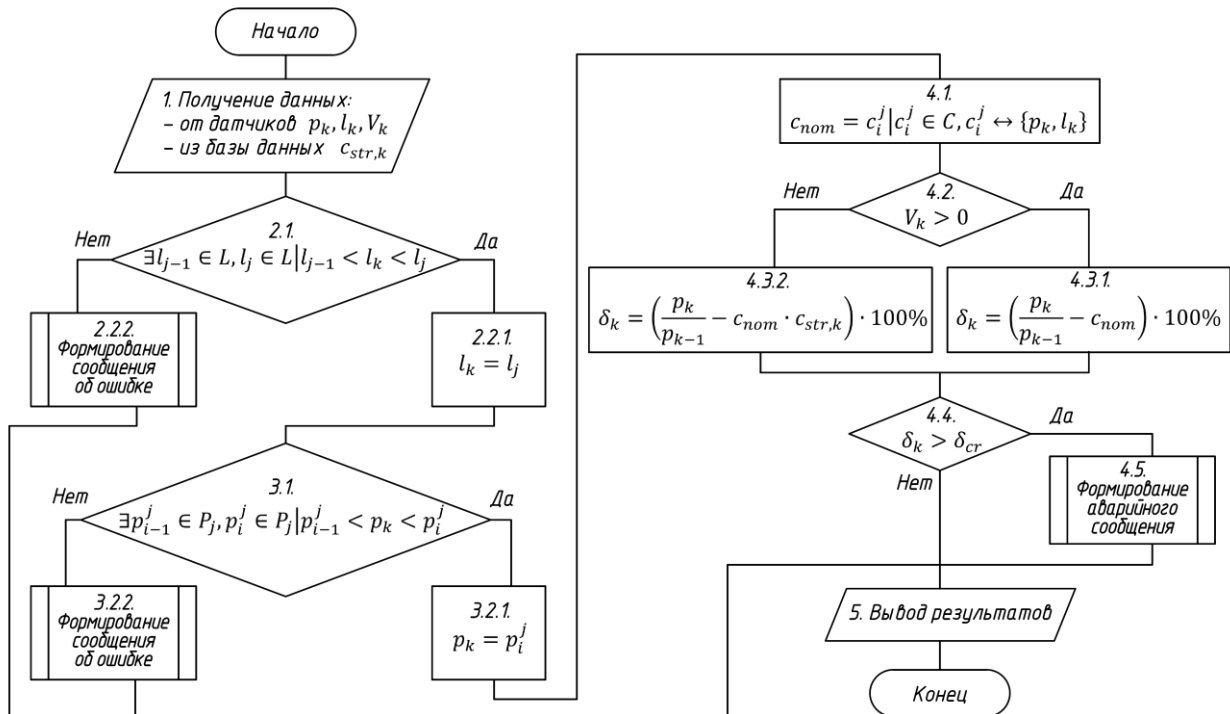


Рис. 2. Алгоритм расчета оценки текущего технического состояния сосуда по изменению темпа роста давления криопродукта  
Fig. 2. Algorithm for calculating the assessment of the current technical condition of the vessel by changing the pressure growth rate of the cryoprodukt

При этом в вычислительном модуле производится округление (в большую сторону) значений давления и уровня жидкости до ближайших значений из приведенных выше массивов, после чего однозначно определяется номинальное значение коэффициента роста давления  $c_{nom}$  для текущих измеренных (округленных) значений давления  $p_k$  и уровня жидкости  $l_k$ . Массив  $C$  номинальных значений коэффициента роста давления определен заранее методами компьютерного моделирования или статистическими методами и находится в блоке хранения данных.

Отклонение темпа роста давления от номинального значения в общем случае определяется по формуле:

$$\delta_k = \left( \frac{p_k}{p_{k-1}} - c_{nom} \cdot c_{str,k} \right) \cdot 100\%,$$

где  $p_k$  – текущее измеренное значение давления,  $p_{k-1}$  – предыдущее измеренное значение,  $c_{str,k}$  – коэффициент, учитывающий степень температурного расслоения продукта. Он используется только при расчете в стационарном режиме хранения продукта и зависит от геометрических и эксплуатационных характеристик сосуда и в момент времени  $k$  загружается из блока хранения данных с результатами моделирования. Режим транспортировки (стационарный или транспортный) определяется в соответствии с информацией от модуля навигации по текущему значению скорости контейнера  $V_k$ .

При превышении значения отклонения темпа роста давления выше заданного критического значения  $\delta_{cr}$  производится формирование и отправка аварийного сообщения на оператора ЦД. Получение аварийного сообщения сигнализирует о технической неисправ-

ности СХ, которая привела к существенному возрастанию давления вакуума в теплоизоляционной полости. При необходимости осуществляется информирование оператора СХ о существенном изменении технического состояния сосуда или оповещение водителя транспортного средства в случае с цистерной. Таким образом, появляется возможность принятия мер по предотвращению дальнейшего роста давления или по безопасному сбросу давления из криогенного сосуда.

### Алгоритм расчета оценки резервного времени бездренажного хранения продукта в сосуде

Для криогенных сосудов, дополнительно оборудованных датчиком давления вакуума, может быть выполнен расчет в режиме реального времени бездренажного хранения продукта по измеренному значению давления вакуума в теплоизоляционной полости, другими словами, может быть решена обратная задача. Блок-схема алгоритма для вычисления текущей оценки резервного времени бездренажного хранения продукта в криогенном сосуде представлена на рис. 3.

В этом случае ключевой информацией является массив значений времени хранения  $U$ , также определенный заранее методами компьютерного моделирования или на основе обработки статистических данных [Soldatov, Bogomolov, 2021; Larkin et al., 2023b]. С учетом измеренного значения давления вакуума  $p_{v,k}$ , производится расчет дополнительного теплового потока, появляющегося за счет натекания газа в теплоизоляционную полость:

$$q_{\beta} = K_1 \cdot K_2 \cdot A_t \cdot p_{v,k} (T_k - T_{A,k}),$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий долю молекул газа, достигающих поверхности сосуда и обменивающихся тепловой энергией с поверхностью сосуда,  $K_2$  – коэффициент, учитывающий термодинамические свойства газа,  $A_t$  – площадь поверхности сосуда,  $T_{A,k}$  – температура поверхности сосуда, соответствующая измеренному значению давления в сосуде  $p_k$ ,  $T_k$  – измеренное значение температуры окружающей среды.

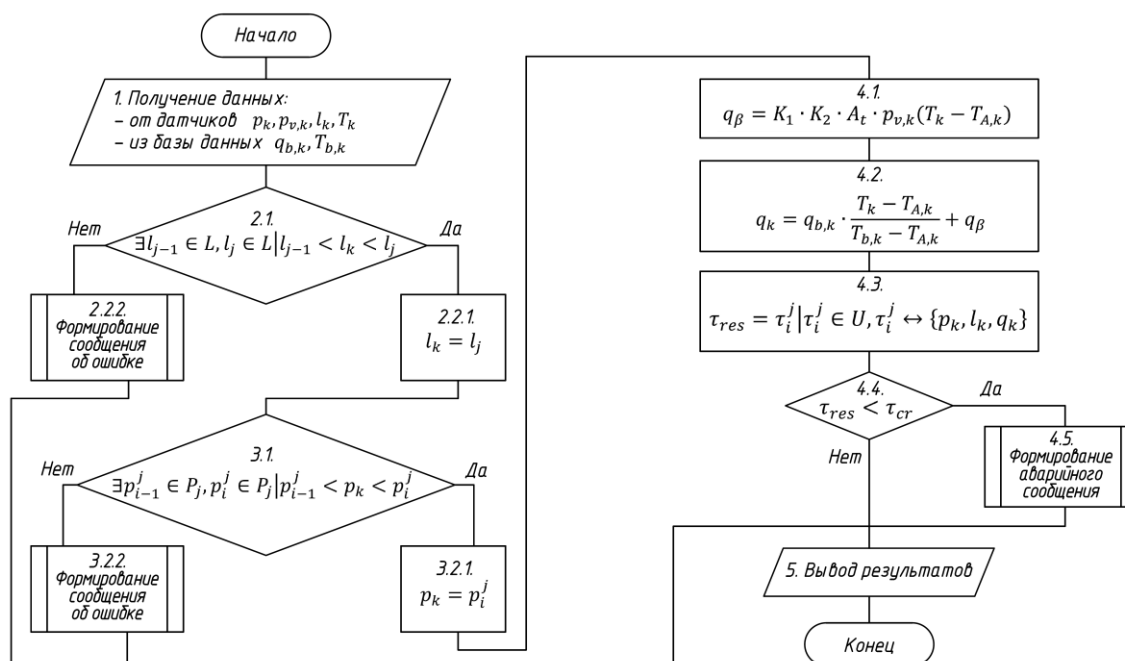


Рис. 3. Алгоритм расчета времени бездренажного хранения с учетом изменения давления вакуума в теплоизоляционной полости  
Fig. 3. Algorithm for calculating drainage-free storage time, taking into account changes in vacuum pressure in the thermal insulation cavity



Далее вычисляется тепловой поток из окружающей среды через изоляцию  $q_k$ , исходя из базового значения теплового потока для рассматриваемого сосуда  $q_{b,k}$  (обычно указывается в технической документации на сосуд) и базового значения температуры окружающей среды  $T_{b,k}$ , при которой было посчитано или измерено значение базового (паспортного) теплопритока через изоляцию. Далее из массива данных  $U$  по времени хранения выбирается ближайшее по значению время хранения  $\tau_{res}$ , соответствующее текущему значению теплопритока  $q_k$ . В случае, когда полученное значение резервного времени бездренажного хранения  $\tau_{res}$  оказывается ниже заданного критического значения  $\tau_{cr}$ , также производится формирование и отправка аварийного сообщения.

### Заключение

Использование информационной системы дистанционного контроля и прогнозирования состояния криогенного емкостного оборудования обосновано растущими потребностями в технических газах, в том числе в жидком криогенном топливе, а также в возрастании требуемых сроков хранения запасов топлива на предприятиях. Разработанные эвристические вычислительные алгоритмы позволяют своевременно рассчитать оценку технического состояния теплоизоляции криогенного оборудования. Применение предложенных решений позволяет существенно повысить безопасность эксплуатации криогенных сосудов различного типа за счет превентивного информирования об изменении технического состояния сосуда в процессе эксплуатации, что позволяет, в частности, предотвратить появление утечек и не допустить образование в воздухе взрывоопасных смесей.

### Список литературы

- Ряжских В.И., Сумин В.А., Хвостов А.А., Журавлев А.А., Семенихин О.А. 2020. Численное моделирование термоконцентрационной конвекции в криогенных резервуарах. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-2020. Т. 5. С. 17–20.
- Солдатов Е.С. 2019. Вычислительный алгоритм прогнозирования времени бездренажного хранения криопродуктов в стационарных и транспортных сосудах. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46(3): 485–495. DOI: 10.18413/2411-3808-2019-46-3-485-495.
- Balyk O., Zolotaeva M., Bogomolov A., Soldatov A. 2023. Cyber-physical test facility for certification of robotic unmanned aerial systems. Lecture Notes in Networks and Systems, 596 LNNS, 385–396. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6\_33.
- Bo W., Ruoyin L., Hong C. 2021. Characterization and Monitoring of Vacuum Pressure of Tank Containers with Multilayer Insulation for Cryogenic Clean Fuels Storage and Transportation. Applied Thermal Engineering. 187: 116569.
- Chen L., Ai B., Chen S., Liang G. 2016. Simulation of Self-Pressurization in Cryogenic Propellant Tank. 12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics: 1068-1073.
- Huerta F., Vesovic V. 2021. CFD modelling of the isobaric evaporation of cryogenic liquids in storage tanks. International Journal of Heat and Mass Transfer, 176, 121419. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121419.
- Kang M., Kim J., You H., Chang. D. 2017. Experimental Investigation of Thermal Stratification in Cryogenic Tanks, Experimental Thermal and Fluid Science. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2017.12.017.
- Kartuzova O.V., Kassemi M., Umemura Y., Kinefuchi K., Himeno T. 2020. CFD Modeling of Phase Change and Pressure Drop during Violent Sloshing of Cryogenic Fluid in a Small-Scale Tank. AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum. DOI: 10.2514/6.2020-3794.
- Larkin E., Akimenko T., Bogomolov A., Sharov, V. 2023a. Reliability of robot's controller software. Lecture Notes in Computer Science, 14214 LNAI, 289–299.
- Larkin E.V., Akimenko T.A., Bogomolov A.V. 2021. Modeling the reliability of the onboard equipment of a mobile robot. Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics, 21(3): 390–399. DOI: 10.18500/1816-9791-2021-21-3-390-399.
- Larkin E.V., Akimenko T.A., Bogomolov A.V. 2023b. The swarm hierarchical control system. Lecture Notes in Computer Science, 13968 LNCS, 30–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36622-2\_3.

- Lee S., Haskins C., Paltrinieri N. 2022. Digital Twin Concept for Risk Analysis of Oil Storage Tanks in Operations: a Systems Engineering Approach. *Chemical Engineering Transactions*. Vol. 90, pp. 157–162. DOI: 10.3303/CET2290027.
- Lee D.-Y., Jo J.-S., Nyongesa A.J., Lee W.-J. 2023. Fatigue Analysis of a 40 ft LNG ISO Tank Container. *Materials* 2023, 16, 428. DOI: 10.3390/ma16010428.
- Mourtzis D., Angelopoulos J., Panopoulos N. 2020. Intelligent Predictive Maintenance and Remote Monitoring Framework for Industrial Equipment Based on Mixed Reality. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 6. DOI: 10.3389/fmech.2020.578379.
- Saufi A., Calabria R., Chiariello F., Frassoldati A., Cuoci A., Faravelli T., Massoli P. 2019. An experimental and CFD modeling study of suspended droplets evaporation in buoyancy driven convection. *Chemical Engineering Journal*, 375, 122006. DOI: 10.1016/j.cej.2019.122006.
- Short M., Twiddle J. 2019. An Industrial Digitalization Platform for Condition Monitoring and Predictive Maintenance of Pumping Equipment. *Sensors*, 19, 3781. DOI: 10.3390/s19173781.
- Soldatov E., Bogomolov A. 2021. Decision Support Models and Algorithms for Remote Monitoring of the Equipment State. *CEUR Workshop Proceedings*. Cep. "ITIDMS 2021 - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems"": 1–8.
- Strotos G., Malgarinos I., Nikolopoulos N., Gavaises M. 2016. Predicting the evaporation rate of stationary droplets with the VOF methodology for a wide range of ambient temperature conditions. *International Journal of Thermal Sciences*, 109: 253–262. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.06.022.
- Tobin D., Bogomolov A., Golosovskiy M. 2022. Model of organization of software testing for cyber-physical systems. *Studies in Systems, Decision and Control*, 418, 51–60. DOI: 10.1007/978-3-030-95120-7\_5.
- Ustolina F., Scarponib G., Iannaccone T., Cozzanib V., Paltrinieri N. 2022. Cryogenic Hydrogen Storage Tanks Exposed to Fires: a CFD Study. *Chemical Engineering Transactions*, 90, 535–540. DOI: 10.3303/CET2290090.

## References

- Ryazhskikh, V.I., Sumin, V.A., Khvostov, A.A., Zhuravlev, A.A., Semenikhin, O.A. 2020. Numerical simulation of thermoconcentration convection in cryogenic tanks. *Mathematical methods in engineering and technology - MMTT-2020*. Vol. 5: 17–20. (in Russian).
- Soldatov, E.S. 2019. Computational algorithm for predicting the time of non-drain cryoproducts storage in stationary and transport vessels. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 46 (3): 485–495 (in Russian). DOI: 10.18413/2411-3808-2019-46-3-485-495.
- Balyk, O., Zolotaeva, M., Bogomolov, A., Soldatov, A. 2023. Cyber-physical test facility for certification of robotic unmanned aerial systems. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 596 LNNS, 385–396. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6\_33.
- Bo, W., Ruoyin, L., Hong, C. 2021. Characterization and Monitoring of Vacuum Pressure of Tank Containers with Multilayer Insulation for Cryogenic Clean Fuels Storage and Transportation. *Applied Thermal Engineering*. 187: 116569.
- Chen, L., Ai, B., Chen, S., Liang, G. 2016. Simulation of Self-Pressurization in Cryogenic Propellant Tank. *12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*: 1068–1073.
- Huerta, F., Vesovic, V. 2021. CFD modelling of the isobaric evaporation of cryogenic liquids in storage tanks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 176, 121419. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121419.
- Kang, M., Kim, J., You, H., Chang, D. 2017. Experimental Investigation of Thermal Stratification in Cryogenic Tanks, *Experimental Thermal and Fluid Science*. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2017.12.017.
- Kartuzova, O.V., Kassemi, M., Umemura, Y., Kinefuchi, K., Himeno, T. 2020. CFD Modeling of Phase Change and Pressure Drop during Violent Sloshing of Cryogenic Fluid in a Small-Scale Tank. *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum*. DOI: 10.2514/6.2020-3794.
- Larkin, E., Akimenko, T., Bogomolov, A., Sharov, V. 2023a. Reliability of robot's controller software. *Lecture Notes in Computer Science*, 14214 LNAI, 289–299.

- Larkin, E.V., Akimenko, T.A., Bogomolov, A.V. 2021. Modeling the reliability of the onboard equipment of a mobile robot. *Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics*, 21(3), 390–399. DOI: 10.18500/1816-9791-2021-21-3-390-399.
- Larkin, E.V., Akimenko, T.A., Bogomolov, A.V. 2023b. The swarm hierarchical control system. *Lecture Notes in Computer Science*, 13968 LNCS, 30–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36622-2\_3.
- Lee, S., Haskins, C., Paltrinieri, N. 2022. Digital Twin Concept for Risk Analysis of Oil Storage Tanks in Operations: a Systems Engineering Approach. *Chemical Engineering Transactions*. Vol. 90, pp. 157–162. DOI: 10.3303/CET2290027.
- Lee, D.-Y., Jo, J.-S., Nyongesa, A.J., Lee, W.-J. 2023. Fatigue Analysis of a 40 ft LNG ISO Tank Container. *Materials* 2023, 16, 428. DOI: 10.3390/ma16010428.
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. 2020. Intelligent Predictive Maintenance and Remote Monitoring Framework for Industrial Equipment Based on Mixed Reality. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 6. DOI: 10.3389/fmech.2020.578379.
- Saufi, A., Calabria, R., Chiariello, F., Frassoldati, A., Cuoci, A., Faravelli, T., Massoli, P. 2019. An experimental and CFD modeling study of suspended droplets evaporation in buoyancy driven convection. *Chemical Engineering Journal*, 375, 122006. DOI: 10.1016/j.cej.2019.122006.
- Short, M., Twiddle, J. 2019. An Industrial Digitalization Platform for Condition Monitoring and Predictive Maintenance of Pumping Equipment. *Sensors*, 19, 3781. DOI: 10.3390/s19173781.
- Soldatov, E., Bogomolov, A. 2021. Decision Support Models and Algorithms for Remote Monitoring of the Equipment State. *CEUR Workshop Proceedings*. Ser. "ITIDMS 2021 - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems"" : 1–8.
- Stroto, G., Malgarinos, I., Nikolopoulos, N., Gavaise, M. 2016. Predicting the evaporation rate of stationary droplets with the VOF methodology for a wide range of ambient temperature conditions. *International Journal of Thermal Sciences*, 109: 253–262. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.06.022.
- Tobin, D., Bogomolov, A., Golosovskiy, M. 2022. Model of organization of software testing for cyber-physical systems. *Studies in Systems, Decision and Control*, 418, 51–60. DOI: 10.1007/978-3-030-95120-7\_5.
- Ustolina, F., Scarponib, G., Iannaccone, T., Cozzani, V., Paltrinieri, N. 2022. Cryogenic Hydrogen Storage Tanks Exposed to Fires: a CFD Study. *Chemical Engineering Transactions*, 90, 535–540. DOI: 10.3303/CET2290090.

**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 04.10.2023

Поступила после рецензирования 20.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received October 04, 2023

Revised November 20, 2023

Accepted December 01, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Солдатов Евгений Сергеевич**, кандидат технических наук, научный сотрудник, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Evgeny S. Soldatov**, Candidate of Technical Sciences, researcher, Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

## Энергосберегающий метод управления формированием передаваемых сигналов в беспроводной сенсорной сети

<sup>1</sup> Коськин А.В., <sup>2</sup> Федоров В.И., <sup>3</sup> Ясир М.Д.Я., <sup>4</sup> Алгазали С.

<sup>1</sup> Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д.95

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

<sup>3</sup> Южный технический университет  
Ирак, 61001, г. Басра, ул. Шоссе Зубаир

<sup>4</sup> Куфа университет  
Ирак, 54001, г. Эн-Наджаф, ул. Аль-Куфа  
E-mail: kav1959@rambler.ru, fedorov\_v@bsu.edu.ru,  
muhaned.yaser@stu.edu.iq, Salahm.ghazali@uokufa.edu.iq

**Аннотация.** Представлен анализ алгоритма адаптивной скорости передачи данных, который применяется в беспроводных маломощных глобальных сетях с оконечными устройствами-датчиками (далее – беспроводных сенсорных сетях), функционирующих в соответствии с протоколом LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks). Предложен энергосберегающий метод управления формированием передаваемых сигналов в беспроводной сенсорной сети. Для реализации данного метода предложена система энергосберегающего управления формированием сигналов, передаваемых в беспроводной сенсорной сети. Проведена серия имитационных экспериментов по оцениванию величины суммарного энергопотребления оконечных устройств при реализации предлагаемого метода и при реализации алгоритма адаптивной скорости передачи данных. Представлено выполнение статистической обработки результатов имитационного моделирования, которая показала, что применение предлагаемого в работе энергосберегающего метода управления формированием сигналов, передаваемых в беспроводной сенсорной сети, позволяет существенно снизить энергопотребление оконечных устройств по сравнению с применением известного алгоритма адаптивной скорости передачи данных.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть, LoRaWAN, энергоэффективность, формирование сигналов, адаптивная скорость передачи данных, энергопотребление

**Для цитирования:** Коськин А.В., Федоров В.И., Ясир М.Д.Я., Алгазали С. 2023. Энергосберегающий метод управления формированием передаваемых сигналов в беспроводной

## Energy-Saving Method for Controlling the Formation of Transmitted Signals in a Wireless Sensor Network

<sup>1</sup> Aleksandr V. Koskin, <sup>2</sup> Vyacheslav I. Fedorov, <sup>3</sup> Muhanad J.Y. Yaser, <sup>4</sup> Salah Alghazali

<sup>1</sup> Orel State University named after I.S. Turgenev,  
95 Komsomolskaya St, Orel, 302026, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

<sup>3</sup> Southern Technical University,  
Zubair Highway St, Basra, 61001, Iraq

<sup>4</sup> Kufa University,  
Al-Kufa St, Najaf, 54001, Iraq

E-mail: kav1959@rambler.ru, fedorov\_v@bsu.edu.ru,  
muhaned.yaser@stu.edu.iq, Salahm.ghazali@uokufa.edu.iq

**Abstract.** An analysis of the adaptive data rate algorithm is presented, which is used in wireless low-power global networks with terminal sensor devices (hereinafter referred to as wireless sensor networks), operating in accordance with the LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) protocol. An energy-saving method for controlling the formation of transmitted signals in a wireless sensor network is proposed. To implement this method, a system for energy-saving control of the formation of signals transmitted in a wireless sensor network is proposed. A series of simulation experiments was carried out to estimate the total energy consumption of terminal devices when implementing the proposed method and when implementing the adaptive data transfer rate algorithm. The implementation of statistical processing of the results of simulation modeling is presented, which showed that the use of the proposed energy-saving method for controlling the formation of signals transmitted in a wireless sensor network can significantly reduce the energy consumption of terminal devices compared to the use of the well-known adaptive data rate algorithm.

**Keywords:** wireless sensor network, LoRaWAN, energy efficiency, signal conditioning, adaptive data rate, energy consumption

**For citation:** Koskin A.V., Fedorov V.I., Yaser M.J.Y., Alghazali S. 2023. Energy-Saving Method for Controlling the Formation of Transmitted Signals in a Wireless Sensor Network. Economics. Information technologies, 50(4): 901–912 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-901-912

---

### Введение

Многочисленные исследования и разработки посвящены совершенствованию беспроводных систем передачи данных [Польщиков, 2014; Konstantinov et al., 2017a; Jameel et al., 2022]. В настоящее время беспроводные сети активно применяются для сбора и последующего анализа различной телеметрической информации [Polshchikov, Zdorenko, Masesov, 2014; Konstantinov et al., 2017b;]. На базе сетей, связывающих многочисленные сенсорные узлы, строятся распределенные системы Интернета вещей, позволяющие осуществлять удаленный мониторинг и управление десятками тысяч подключенных объектов [Koohang, 2022]. Одной из новейших технологий, предназначенных для построения систем Интернета вещей, является технология беспроводной передачи на дальние расстояния небольших по объему данных, которая обозначается аббревиатурой LPWAN (англ. Low-power Wide-area Network). Её важнейшая особенность состоит в низком энергопотреблении сетевых узлов, с помощью которых обеспечивается сбор данных, поступающих от измерительных датчиков, сенсорных модулей производственного оборудования, счетчиков жилищно-коммунального хозяйства, устройств сигнализации и пр.

В настоящее время наблюдается широкое распространение технологии LPWAN для решения задач удаленного мониторинга и управления в различных прикладных сферах. Развертывание сетей LPWAN дает возможность реализации точного земледелия [Polshchukov et al., 2021; Hernández-Morales, Luna-Rivera, Perez-Jimenez, 2022; Tu, Tang, Hu, 2022], получения данных о внесении удобрений в почву, содержании влаги в растениях, осуществления удаленного мониторинга в сфере животноводства [Casas, Hermosa, Marco, 2021]. Известны разработки, использующие технологию LPWAN для учета показаний измерительных устройств о расходе газа, учета расхода электроэнергии, мониторинга систем водоснабжения, контроля и утечек воды [Pointl, Fuchs-Hanusch, 2021; Slany, Koudelka, Krcalova, 2022]. Беспроводные сети, функционирующие на базе технологии LPWAN, позволяют обеспечить энергоэффективную связь при реализации управления теми или иными технологическими процессами в промышленной сфере и в сфере управления городским хозяйством [Zhang, Zhao, Cui, 2020; Qin, Li, Wang, 2021]. Многочисленные исследования посвящены вопросам применения технологий беспроводной связи в медицинской сфере [Kang, Yang, Haskell-Dowland, 2020; Quintanar-Gomez et al., 2021; Taleb, Andrieux, Motta Cruz, 2021].

Использование беспроводных сенсорных сетей, построенных в соответствии с технологией LPWAN, имеет значительные преимущества по сравнению с применением других стандартов беспроводной связи в части энергоэффективности и дальности передачи данных. Проведенный анализ показал, что одним из наиболее распространенных стандартов LPWAN является протокол LoRaWAN [Lavric, Petrariu, 2018]. Соответствующие этому стандарту беспроводные сети предоставляют возможность передавать данные на значительные расстояния, покрывая большие территории сенсорными узлами с низким энергопотреблением. Узлы LoRaWAN предназначены для низкоскоростного обмена данными и снабжены автономными источниками электропитания, функционирующими в течение длительного времени без замены или подзарядки. Анализ показал, что предложенные разработчиками и применяемые на практике методы снижения энергетических затрат сенсорных узлов имеют ряд существенных недостатков [Ясир, Польшиков, Федоров, 2023]. В связи с вышеизложенным задача разработки энергоэффективного метода управления формированием передаваемых сигналов в беспроводной сенсорной сети представляется актуальной.

### **Анализ алгоритма адаптивной скорости передачи данных**

В сети LoRaWAN при передаче данных по физическому радиоканалу используются широкополосные сигналы с линейной частотной модуляцией, которая адаптирована для устройств, характеризующихся низким энергопотреблением. Одним из параметров таких сигналов является коэффициент расширения спектра  $SF$ . Повышение значения  $SF$ , с одной стороны, позволяет улучшить помехозащищенность радиоканалов за счет увеличения длительности передачи сообщения, но, с другой стороны, приводит к большему энергопотреблению сетевых узлов. В соответствии с протоколом LoRaWAN величина  $SF$  может принимать значения от 7 до 12 с шагом 1. Ещё одним параметром, от которого зависит энергопотребление узлов сети, является выходная мощность передачи сигналов  $TP$ . Увеличение значения  $TP$  позволяет снизить вероятность искажения символов, передаваемых по беспроводным каналам, однако повышает энергопотребление передающих устройств сети. Значения  $TP$  изменяются от 2 до 14 дБм с шагом 3 дБм.

Для обеспечения доставки сообщений в сети LoRaWAN применяется отправка подтверждений на принятые информационные кадры. При передаче по каналам беспроводной сенсорной сети некоторые информационные кадры и кадры-подтверждения мо-

гут быть утрачены или искажены. В этих случаях инициируется повторная передача соответствующих кадров. Число повторных передач одного и того же информационного кадра ограничивается, в том числе, в целях экономии расхода энергии конечными устройствами.

Для снижения энергопотребления конечных устройств протоколом LoRaWAN предусмотрена реализация алгоритма адаптивной скорости передачи данных [Park, Lee, Joe, 2020; Moysiadis et al., 2021]. В соответствии с этим алгоритмом при обработке принятого кадра в сетевом сервере фиксируется соответствующее значение отношения «сигнал / шум» ( $SNR$ ) и сохраняется в массиве значений  $SNR$ , относящихся к данному конечному устройству. При получении каждого двадцатого кадра от конкретного конечного устройства в сетевом сервере вычисляется некоторая величина  $SNR_{margin}$  по формуле:

$$SNR_{margin} = SNR_{max} - SNR_{req} - dBm_{margin}, \quad (1)$$

где  $SNR_{max}$  – максимальное значение отношения «сигнал / шум», зафиксированное при приеме последних 20 кадров;  $SNR_{req}$  – отношение  $SNR$ , требуемое для эффективной демодуляции сигнала при соответствующем значении  $SF$ ;  $dBm_{margin}$  – заданное пороговое значение  $SNR$ , которое по умолчанию равно 10 дБм.

Значение параметра  $SNR_{margin}$  необходимо для вычисления величины  $N_{step}$  по формуле:

$$N_{step} = \text{round}\left(\frac{SNR_{margin}}{3}\right), \quad (2)$$

где  $\text{round}(\cdot)$  – операция округления дробного числа до ближайшего целого.

Величина  $N_{step}$  служит для уменьшения или увеличения параметров  $TP$  и  $SF$ .

В случае  $N_{step} > 0$  сетевой сервер сначала уменьшает значение параметра  $SF$  в  $N_{step}$  раз. Если при этом параметр  $SF$  достигает своего минимального значения 7, то сетевой сервер снижает значение параметра  $TP$  оставшееся число раз с шагом 3 дБм. Это снижение должно прекратиться в случае, когда уровень выходной мощности передатчика достигнет своего минимального значения 2 дБм. В случае  $N_{step} < 0$  сетевой сервер значение параметра сначала увеличивает  $N_{step}$  раз с шагом 3 дБм. Если при этом параметр  $TP$  достигает своего максимального значения 14, то сетевой сервер повышает значение параметра  $SF$  оставшееся число раз. Эти действия прекращаются в случае, когда величина расширения спектра передаваемых сигналов достигнет своего максимального значения, равного 12. Данные о полученных таким образом значениях параметров  $TP$  и  $SF$  передаются с помощью кадра-подтверждения в соответствующее конечное устройство и используются для установки выходной мощности передатчика и коэффициента расширения спектра сигналов при отправке последующих кадров.

Проведенный анализ позволил выявить особенности алгоритма адаптивной скорости передачи данных, ограничивающие его применение. Они заключаются в возможно-

сти пересчета в сетевом сервере рекомендуемых значений параметров  $TP$  и  $SF$  только после получения двадцати информационных кадров из конкретного оконечного устройства. Если сообщения имеют короткую длину и значительный период передачи, то в течение времени ожидания приема 20 кадров помеховая обстановка может существенно измениться, что потребует более оперативной корректировки параметров сигналов. Для устранения этого недостатка были разработаны другие модификации этого алгоритма, например, LR-ADR (Linear Regression-Adaptive Data Rate), EMA-ADR (Exponential Moving Average-based Adaptive Data Rate), G-ADR (Gaussian filter-based Adaptive Data Rate) [Moysiadis et al., 2021]. Данные модификации позволяют снизить энергопотребление в сети, но не обеспечивают высокую вероятность доставки кадров и не нашли широкого практического применения. В целях совершенствования процесса управления формированием сигналов в беспроводной сенсорной сети требуется разработка нового теоретически обоснованного метода выбора значений параметров передаваемых в сети сигналов для снижения её энергопотребления.

### Разработка энергосберегающего метода

Разработан метод управления формированием сигналов в беспроводной сенсорной сети на основе выбора значений параметров передаваемых сигналов. Метод предполагает использование базы данных, содержащей значения выходной мощности передачи и коэффициента расширения спектра, рекомендуемые для установки в сетевых устройствах при различных уровнях затухания передаваемых сигналов [Yaser, Polshchikov, Polshchikov, 2023].

Для снижения энергопотребления оконечных устройств разработан метод, включающий последовательное выполнение следующих этапов:

- 1) загрузка на сервере сети базы данных «Затухание сигнала – мощность передатчика – коэффициент расширения спектра»;
- 2) определение мощности сигналов  $RP$  на входе приемного устройства узла-шлюза при получении информационных кадров;
- 3) вычисление текущего уровня затухания сигналов  $A$  при передаче информационных кадров из оконечных устройств в узел-шлюз;
- 4) выбор из загруженной базы данных значений мощности передатчика и коэффициента расширения спектра, соответствующих текущему уровню затухания сигналов;
- 5) формирование в узле-шлюзе служебного кадра, содержащего данные о рекомендуемых значениях мощности передатчика и коэффициента расширения спектра;
- 6) передача сформированного служебного кадра из узла-шлюза в оконечное устройство, из которого ожидается прием очередного информационного кадра;
- 7) установка в оконечном устройстве рекомендуемых значений мощности передатчика и коэффициента расширения спектра перед отправкой очередного информационного кадра.

Предлагаемый метод положен в основу построения системы энергосберегающего управления формированием сигналов, передаваемых в беспроводной сенсорной сети. Схема данной системы представлена на рисунке 1.



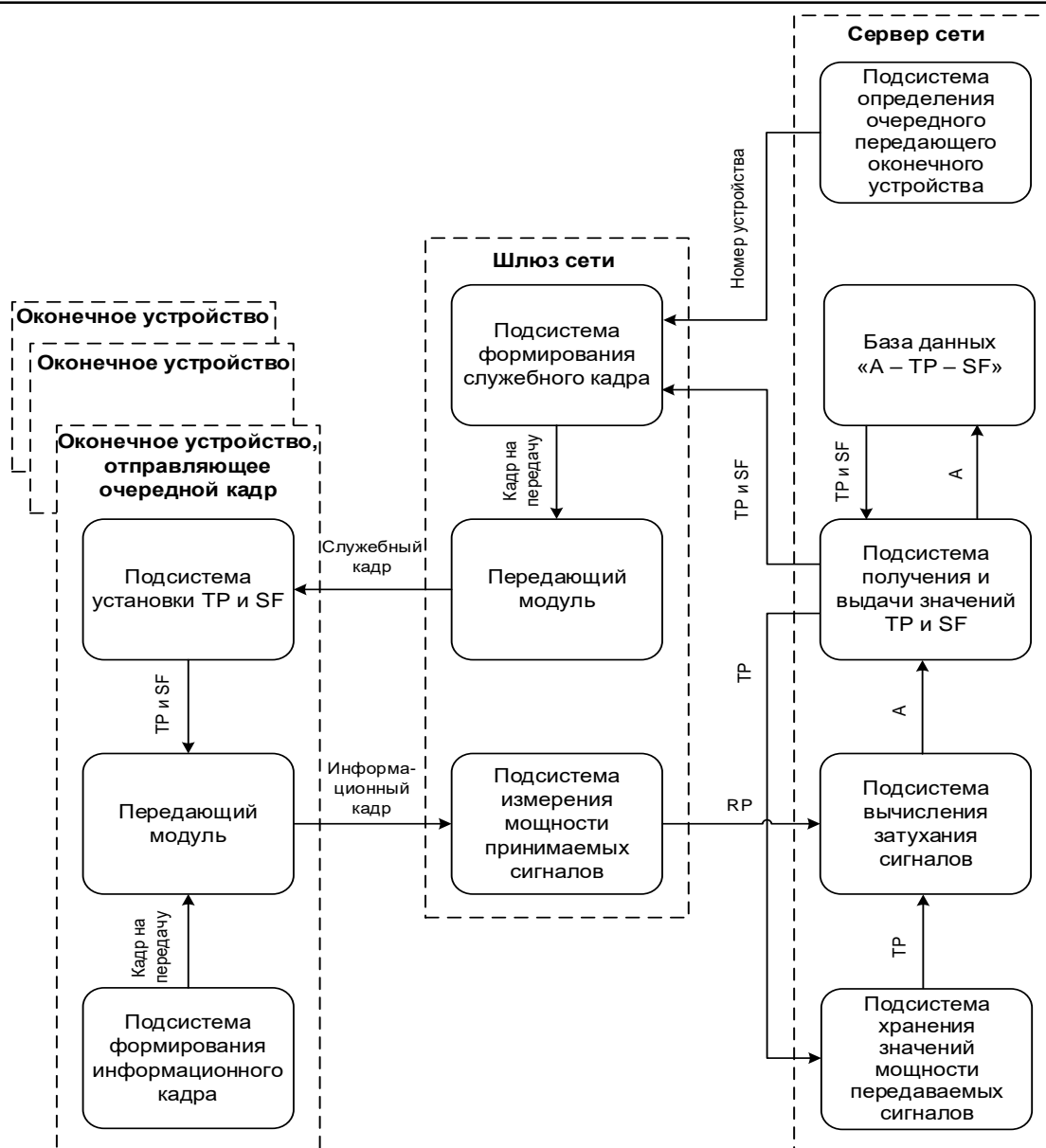


Рис. 1. Система энергосберегающего управления формированием сигналов, передаваемых в беспроводной сенсорной сети

Fig. 1. Energy-saving control system for the formation of signals transmitted in a wireless sensor network

В программной среде Matlab-Simulink разработана имитационная модель функционирования беспроводной сенсорной сети в соответствии с предлагаемым методом. Данная модель позволяет оценить суммарное энергопотребление всех оконечных устройств в процессе передачи сообщений [Ясир, Польщиков, Маматов, 2023]. Разработана также имитационная модель для исследования процесса функционирования беспроводной сенсорной сети в соответствии с алгоритмом адаптивной скорости передачи данных. С использованием вышеуказанных моделей была проведена серия имитационных экспериментов по оцениванию величины суммарного энергопотребления оконечных устройств при реализации предлагаемого метода и при реализации алгоритма адаптивной скорости передачи данных. Было проведено  $N = 50$  имитационных экспериментов. В каждом эксперименте номер  $i$  оценивалась величина  $EADR_i$  – суммарное энергопотребление в течение суток 12 оконечных устройств беспроводной сенсорной сети, функционирующей в соот-

ветствии с алгоритмом ADR. Часть полученных значений энергопотребления узлов  $EADR_i$  показана во втором столбце таблицы 1.

Таблица 1  
Table 1

Результаты имитационных экспериментов  
Results of simulation experiments

Номер эксперимента $i$	$EADR_i, \times 10^{-5}$ Вт·час	$E_i, \times 10^{-5}$ Вт·час	$\Delta E_i, \times 10^{-5}$ Вт·час
1	3,101	2,739	0,362
2	3,146	2,698	0,448
3	3,079	2,716	0,363
4	2,989	2,724	0,265
5	3,115	2,699	0,416
...	...	...	...
47	3,152	2,706	0,446
48	3,214	2,747	0,467
49	3,279	2,586	0,593
50	3,163	2,744	0,419

Аналогичные эксперименты выполнены с использованием представленной в имитационной модели функционирования беспроводной сенсорной сети в соответствии с предлагаемым алгоритмом выбора значений параметров сигналов, блок-схема которого показана на рисунке 5. В результате проведения имитационных экспериментов получены значения энергопотребления узлов  $E_i$ , часть которых показана в третьем столбце таблицы 1.

Для сравнения энергопотребления конечных устройств при реализации алгоритма адаптивной скорости передачи данных и при реализации предлагаемого метода для каждого  $i$ -го эксперимента были вычислены разности величин  $EADR_i$  и  $E_i$ :

$$\Delta E_i = EADR_i - E_i. \quad (3)$$

Полученные значения  $\Delta E_i$  частично представлены в четвертом столбце таблицы 4. Для оценивания величины снижения суммарного энергопотребления конечных устройств, получаемого при реализации предлагаемого метода вместо известного алгоритма адаптивной скорости передачи данных, проведена статистическая обработка результатов проведенных имитационных экспериментов. При этом экспериментально полученные значения  $\Delta E_i$  использовались для вычисления оценки математического ожидания случайной величины снижения энергопотребления конечных устройств:

$$\tilde{m}_{\Delta E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta E_i. \quad (4)$$

Величина  $\tilde{m}_{\Delta E}$  использовалась для вычисления оценки дисперсии случайной величины снижения энергопотребления конечных устройств:

$$\tilde{D} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\Delta E_i - \tilde{m}_{\Delta E})^2. \quad (5)$$

Далее вычислялось среднеквадратическое отклонение оценки  $\tilde{m}$  по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{N}}. \quad (6)$$

Значения доверительных границ величины снижения энергопотребления оконечных устройств вычислялись по формулам:

$$\tilde{m}_1 = \tilde{m}_{\Delta E} - t_{\beta} \sigma, \quad (7)$$

$$\tilde{m}_2 = \tilde{m}_{\Delta E} + t_{\beta} \sigma, \quad (8)$$

где  $t_{\beta}$  – коэффициент, определяемый в зависимости от доверительной вероятности  $\beta$ .

Для получения значения коэффициента  $t_{\beta}$  использовалась формула:

$$t_{\beta} = \arg \Phi^* \left( \frac{1 + \beta}{2} \right), \quad (9)$$

где  $\arg \Phi^* (\dots)$  – функция, обратная нормальной функции распределения случайной величины.

С использованием выражений (3) – (9) выполнена статистическая обработка экспериментальных данных, результаты которой представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Table 2

Результаты статистической обработки данных имитационных экспериментов  
Results of statistical processing of data from simulation experiments

$\tilde{m}_{\Delta E}, \times 10^{-5}$ Вт·час	$\sigma, \times 10^{-5}$ Вт·час	$\beta$	$t_{\beta}$	$\tilde{m}_1, \times 10^{-5}$ Вт·час	$\tilde{m}_2, \times 10^{-5}$ Вт·час
0,42	0,034	0,98	2,325	0,342	0,499

Для оценивания минимального и максимального процентного снижения энергопотребления оконечных устройств, достигаемого при реализации предлагаемого алгоритма, использовались формулы:

$$\tilde{m}_{\%1} = \frac{\tilde{m}_1}{\tilde{m}_E} \cdot 100\%, \quad (10)$$

$$\tilde{m}_{\%2} = \frac{\tilde{m}_2}{\tilde{m}_E} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где  $\tilde{m}_E$  – оценка математического ожидания энергопотребления узлов при реализации предлагаемого метода.

Значение величины  $\tilde{m}_E$  вычислялось с помощью выражения:

$$\tilde{m}_E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i. \quad (12)$$

Результаты оценивания процентного снижения энергопотребления оконечных устройств, которое достигается при реализации предлагаемого метода, представлены в таблице 3.

Таблица 3  
Table 3

Результаты оценивания процентного снижения  
энергопотребления оконечных устройств  
Results of estimating the percentage reduction  
in power consumption of terminal devices

$\tilde{m}_E, \times 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{час}$	$\tilde{m}_{\%1}, \%$	$\tilde{m}_{\%2}, \%$
2,72	12,56	18,35

Статистическая обработка результатов имитационного моделирования показала, что применение предлагаемого в работе энергосберегающего метода управления формированием сигналов, передаваемых в беспроводной сенсорной сети, позволяет снизить энергопотребление оконечных устройств на величину от 12,56 % до 18,35 % по сравнению с применением известного алгоритма адаптивной скорости передачи данных.

### Заключение

Таким образом, разработан метод управления формированием сигналов в беспроводной сенсорной сети. Метод предполагает использование базы данных, содержащей значения выходной мощности передачи и коэффициента расширения спектра, рекомендуемые для установки в сетевых устройствах при различных уровнях затухания передаваемых сигналов. В соответствии с методом выполняются этапы загрузки на сервер сети указанной базы данных, измерения мощности сигналов на входе приемного устройства узла-шлюза при получении информационных кадров, вычисления текущего уровня затухания сигналов при передаче информационных кадров из оконечных устройств в узел-шлюз, выбора из загруженной базы данных значений мощности передатчика и коэффициента расширения спектра, соответствующих текущему уровню затухания сигналов, формирования и передачи служебного кадра, содержащего данные о рекомендуемых значениях параметров сигналов, а также установки этих значений в оконечном устройстве перед отправкой очередного информационного кадра.

Проведены вычислительные эксперименты по оцениванию величины энергопотребления устройств беспроводной сенсорной сети с использованием имитационных моделей, разработанных в программной среде Matlab-Simulink. Результаты имитационного моделирования показали, что применение предлагаемого в работе метода позволяет снизить энергопотребление оконечных устройств беспроводной сенсорной сети на величину от 12,56 % до 18,35 % по сравнению с применением известного алгоритма адаптивной скорости передачи данных, обеспечивая при этом вероятность доставки сообщений не ниже уровня 0,95.

### Список литературы

- Польщиков К.А. 2014. Об управлении интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети специального назначения. Научные ведомости БелГУ. История. Политология. Экономика. Информатика, 32(1): 196–201.
- Ясир М.Д.Я., Польщиков К.А., Маматов Е.М. 2023. Имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением. Экономика. Информатика, 50(3): 645–654.
- 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.

- Casas R., Hermosa A., Marco Á. 2021. Real-time extensive livestock monitoring using lpwan smart wearable and infrastructure. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3): P. 1–18.
- Hernández-Morales C.A., Luna-Rivera J.M., Perez-Jimenez R. 2022. Design and deployment of a practical IoT-based monitoring system for protected cultivations. *Computer Communications*, 186: 51–64.
- Kang J.J., Yang W., Haskell-Dowland P. 2020. No Soldiers Left Behind: An IoT-Based Low-Power Military Mobile Health System Design. *IEEE Access*, 8: 201498–201515.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Mathematical Model of Message Delivery in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 10–13.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Model of Neuro-Fuzzy Prediction of Confirmation Timeout in a Mobile Ad Hoc Network. *CEUR Workshop Proceedings. Mathematical and Information Technologies*, 1839: 174–186.
- Koohang A., Sargent C.S., Nord J.H., Paliszkievicz J. 2022. Internet of Things (IoT): From awareness to continued use. *International Journal of Information Management*, 62: 102442.
- Lavric A., Petrariu A.I. 2018. LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT. 2018 *International Conference on Development and Application Systems (DAS)*: 74–77.
- 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.
- Moysiadis V., Lagkas T., Argyriou V., Sarigiannidis A., Moscholios I.D., Sarigiannidis P. 2021. Extending ADR mechanism for LoRa enabled mobile end-devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 113: 102388.
- Park G., Lee W., Joe I. 2020. Network resource optimization with reinforcement learning for low power wide area networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020: 176.
- Pointl M., Fuchs-Hanusch D. 2021. Assessing the potential of LPWAN communication technologies for near real-time leak detection in water distribution systems. *Sensors*, 21(1): 1–22.
- Polshchikov K.O., Zdorenko Y.M., Masesov M.O. 2014. Method of telecommunications channel throughput distribution based on linear programming and neuro fuzzy predicting. *Elixir International Journal. Network Engineering*, 75: 27327–27334.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoeological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- Qin J., Li Zh., Wang R. 2021. Industrial Internet of Learning (IIoL): IIoT based pervasive knowledge network for LPWAN-concept, framework and case studies. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, 3(1): 25–39.
- Quintanar-Gomez J., Robles-Camarillo D., Trejo-Macotela F.R., Campero-Jurado I. 2021. Telemonitoring Device of Blood Pressure and Heart Rate through Multilayer Perceptrons and Pulse Rate Variability. *IEEE Latin America Transactions*, 19(7): 1233–1241.
- Slany V., Koudelka P., Krcalova E. 2022. New Hybrid IoT LoRaWAN/IRC Sensors: SMART Water Metering System. *Computers, Materials and Continua*, 71(2): 5201–5217.
- Taleb H., Andrieux G., Motta Cruz E. 2021. Wireless technologies, medical applications and future challenges in WBAN: a survey. *Wireless Networks*. DOI: 10.1007/s11276-021-02780-2.
- Tu Y., Tang H., Hu W. 2022. An Application of a LPWAN for Upgrading Proximal Soil Sensing Systems. *Sensors*, 22(12).
- 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.
- Zhang R., Zhao C., Cui S. 2020. Design of a data acquisition and transmission system for smart factory based on NB-IoT. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 517: 875–880.

## References

- Polshchikov K.A. 2014. About Control of Data Flows Intensity in the Mobile Radio Network for Special Purpose. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political Science. Economics. Information technologies*, 32(1): 196–201 (in Russian).

- Yaser M., Polshchikov K.A., Mamatov E.M. 2023. Simulation Model of Functioning of a Low-Power Wireless Network. *Economics. Information technologies*, 50(3): 645–654 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-645-654.
- Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I. 2023. Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network. *Economics. Information technologies*, 50(2): 439–447 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447.
- Casas R., Hermosa A., Marco Á. 2021. Real-time extensive livestock monitoring using lpwan smart wearable and infrastructure. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3): P. 1–18.
- Hernández-Morales C.A., Luna-Rivera J.M., Perez-Jimenez R. 2022. Design and deployment of a practical IoT-based monitoring system for protected cultivations. *Computer Communications*, 186: 51–64.
- Kang J.J., Yang W., Haskell-Dowland P. 2020. No Soldiers Left Behind: An IoT-Based Low-Power Military Mobile Health System Design. *IEEE Access*, 8: 201498–201515.
- Konstantinov I., Polshchykov K., Lazarev S., Polshchykova O. 2017. Mathematical Model of Message Delivery in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 10–13.
- Konstantinov I., Polshchykov K., Lazarev S., Polshchykova O. 2017. Model of Neuro-Fuzzy Prediction of Confirmation Timeout in a Mobile Ad Hoc Network. *CEUR Workshop Proceedings. Mathematical and Information Technologies*, 1839: 174–186.
- Koohang A., Sargent C.S., Nord J.H., Paliszkievich J. 2022. Internet of Things (IoT): From awareness to continued use. *International Journal of Information Management*, 62: 102442.
- Lavric A., Petrariu A.I. 2018. LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT. 2018 *International Conference on Development and Application Systems (DAS)*: 74–77.
- 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.
- Moysiadis V., Lagkas T., Argyriou V., Sarigiannidis A., Moscholios I.D., Sarigiannidis P. 2021. Extending ADR mechanism for LoRa enabled mobile end-devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 113: 102388.
- Park G., Lee W., Joe I. 2020. Network resource optimization with reinforcement learning for low power wide area networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020: 176.
- Pointl M., Fuchs-Hanusch D. 2021. Assessing the potential of LPWAN communication technologies for near real-time leak detection in water distribution systems. *Sensors*, 21(1): 1–22.
- Polshchykov K.O., Zdorenko Y.M., Masesov M.O. 2014. Method of telecommunications channel throughput distribution based on linear programming and neuro fuzzy predicting. *Elixir International Journal. Network Engineering*, 75: 27327–27334.
- Polshchykov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoecological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- Qin J., Li Zh., Wang R. 2021. Industrial Internet of Learning (IIoL): IIoT based pervasive knowledge network for LPWAN-concept, framework and case studies. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*, 3(1): 25–39.
- Quintanar-Gomez J., Robles-Camarillo D., Trejo-Macotela F.R., Campero-Jurado I. 2021. Telemonitoring Device of Blood Pressure and Heart Rate through Multilayer Perceptrons and Pulse Rate Variability. *IEEE Latin America Transactions*, 19(7): 1233–1241.
- Slany V., Koudelka P., Krcalova E. 2022. New Hybrid IoT LoRaWAN/IRC Sensors: SMART Water Metering System. *Computers, Materials and Continua*, 71(2): 5201–5217.
- Taleb H., Andrieux G., Motta Cruz E. 2021. Wireless technologies, medical applications and future challenges in WBAN: a survey. *Wireless Networks*. DOI: 10.1007/s11276-021-02780-2.
- Tu Y., Tang H., Hu W. 2022. An Application of a LPWAN for Upgrading Proximal Soil Sensing Systems. *Sensors*, 22(12).
- 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.

Zhang R., Zhao C., Cui S. 2020. Design of a data acquisition and transmission system for smart factory based on NB-IoT. Lecture Notes in Electrical Engineering, 517: 875–880.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 01.11.2023

Поступила после рецензирования 26.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received November 01, 2023

Revised November 26, 2023

Accepted December 01, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Коськин Александр Васильевич**, доктор технических наук, профессор, директор Департамента информатизации и перспективного развития, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

**Федоров Вячеслав Игоревич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Ясир Муханад Джаббар Ясир**, магистр наук, ассистент преподавателя, Южный технический университет, г. Басра, Ирак.

**Алгазали Салах**, кандидат технических наук, преподаватель, Куфа университет, г. Эн-Наджаф, Ирак

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Aleksandr V. Koskin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Department of Informatization and Perspective Development, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

**Vyacheslav I. Fedorov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Yaser Muhanad Jabar Yaser**, MSc, Assistant lecturer of Southern Technical University, Basra, Iraq.

**Alghazali Salach**, Candidate of Technical Sciences, lecturer, Kufa University, Najaf, Iraq

УДК 004.048

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-913-923

## Анализ современных моделей и информационных систем при прогнозировании и мониторинге лесных пожаров

**Родионов А.М., Иванов С.А.**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,  
Россия, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5  
E-mail: alekseyrodionov2@mail.ru, kemsit@mail.ru

**Аннотация.** В рамках настоящего исследования рассматриваются возможности применения современных информационных технологий для прогнозирования и мониторинга лесных пожаров. В частности, в разделе «Модели прогнозирования» рассматриваются различные методы, используемые для распространения лесных пожаров и их выявления, в том числе нейронные сети, которые позволяют распознавать и идентифицировать пожары на основе данных о температуре, скорости ветра и других факторах. Особое внимание уделяется применению таких технологий, как геоинформационные системы и спутниковые данные для создания точных моделей и прогнозов в области лесных пожаров. В статье также рассматриваются примеры успешного применения данных технологий в различных странах, в том числе в России, США и Канаде. Обсуждаются проблемы, связанные с прогнозированием и мониторингом лесных пожаров, предлагаются пути их решения с помощью современных информационных технологий.

**Ключевые слова:** лесные пожары, прогнозируемые пожары, мониторинг пожаров, информационные технологии, идентификация пожаров, нейронные сети

**Для цитирования:** Родионов А.М., Иванов С.А. 2023. Анализ современных моделей и информационных систем при прогнозировании и мониторинге лесных пожаров. Экономика. Информатика. 50(4): 913–923. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-913-923

---

## Analysis of Modern Models and Information Systems in Forecasting and Monitoring Forest Fires

**Aleksey M. Rodionov, Sergey A. Ivanov**

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirova  
5 Institutsky lane, Saint Petersburg, 194021, Russia  
E-mail: alekseyrodionov2@mail.ru, kemsit@mail.ru

**Abstract.** Within the framework of this study, the possibilities of using modern information technologies for forecasting and monitoring forest fires are considered. In particular, the Forecasting Models section discusses various methods used to propagate and detect forest fires, including neural networks that allow fires to be recognized and identified based on data on temperature, wind speed, and other factors. Particular attention is paid to the use of technologies such as geographic information systems and satellite data to create accurate models and forecasts in the field of forest fires. The article also discusses examples of the successful application of these technologies in various countries, including Russia, the USA and Canada. The problems associated with the forecasting and monitoring of forest fires are discussed, and ways to solve them with the help of modern information technologies are proposed.

**Keywords:** forest fires, predicted fires, fire monitoring, information technology, fire identification, neural networks

**For citation:** Rodionov A.M., Ivanov S.A. 2023. Analysis of Modern Models and Information Systems in Forecasting and Monitoring Forest Fires. Economics. Information technologies, 50(4): 913–923



## Введение

Ежегодно во всем мире увеличивается количество лесных пожаров. Крупные лесные пожары зачастую охватывают большие территории, приводя к значительным экологическим и экономическим проблемам, а также угрожая жизням людей и диких животных. Только за одни сутки 4 сентября 2023 г., по данным Авиалесоохраны, в 13 регионах России лесопожарными службами ликвидированы 22 лесных пожара на площади в 414 гектаров [“Лесные пожары в России”...]. Поэтому разработка эффективных методов прогнозирования и мониторинга лесных пожаров является критически важной задачей для современной науки.

В последнее время развитие информационных технологий и применение современных методов машинного обучения и анализа данных позволяют создавать более точные и эффективные модели прогнозирования и мониторинга лесных пожаров. Нейронные сети могут использоваться для распознавания и идентификации пожаров на основе данных о температуре, скорости ветра и других факторах. Эти данные собираются с помощью специализированных датчиков и приборов, а затем используются для обучения нейронной сети, которая может точно определять местоположение и степень опасности пожара.

Кроме того, геоинформационные системы и спутниковые данные также могут быть использованы для создания точных моделей и прогнозов в области лесных пожаров. Эти технологии позволяют быстро анализировать большие объемы данных и выявлять основные факторы, влияющие на развитие пожара. Например, геоинформационные системы позволяют определять географические особенности региона, а спутниковые данные – отслеживать перемещение пожаров по территории.

В статье также рассматриваются примеры успешного применения данных технологий в различных странах, в том числе в России, США и Канаде. Большое внимание уделяется проблемам, связанным с прогнозированием и мониторингом лесных пожаров, предлагаются пути их решения с помощью современных информационных технологий.

## Объекты и методы исследования

Лесные пожары – это серьезная проблема, которая может возникнуть в любой части мира и привести к разрушительным последствиям для жизни и имущества. Поэтому существует множество методов для мониторинга распространения опасных лесных пожаров, их выявления и прогнозирования.

Модели прогнозирования лесных пожаров можно условно разделить на три категории: моделирование атмосферы, модели мониторинга и прогнозирования, модели поведения огня.

Моделирование атмосферы – это процесс создания компьютерных моделей, которые могут использоваться для изучения того, как атмосфера Земли ведет себя в будущем или как она реагирует на различные изменения, например, изменение уровня парниковых газов.

Классификация моделей атмосферы:

1. Глобальные климатические модели (ГКМ) – это сложные системы уравнений, которые представляют физические процессы, происходящие в атмосфере (например, конвекция, радиационный теплообмен, образование облаков). Эти модели могут использоваться для прогнозирования изменений климата в ближайшие десятилетия или века.

2. Одномерные модели – это более простые модели, которые учитывают только вертикальную структуру атмосферы. Они могут быть полезны для изучения отдельных процессов, таких как образование озона в стратосфере.

3. Модели химической динамики атмосферы – это модели, которые моделируют взаимодействие химических соединений в атмосфере, таких как озон, азотные оксиды и углеводороды. Они могут использоваться для прогнозирования уровня загрязнения воздуха в городах.

4. Региональные модели – это модели, которые позволяют более детально изучать атмосферу в конкретных регионах, таких как города, горные хребты или прибрежные зоны.

5. Модели погоды – это модели, которые используются для прогнозирования погоды в ближайшие часы или дни. Они обычно применяются для принятия решений о безопасности судов и авиации, а также для подготовки к метеорологическим стихийным бедствиям.

Пример прогнозирования осадков на базе глобальной спектральной модели (версии L31 и T169L31) представлен на рисунке 1.

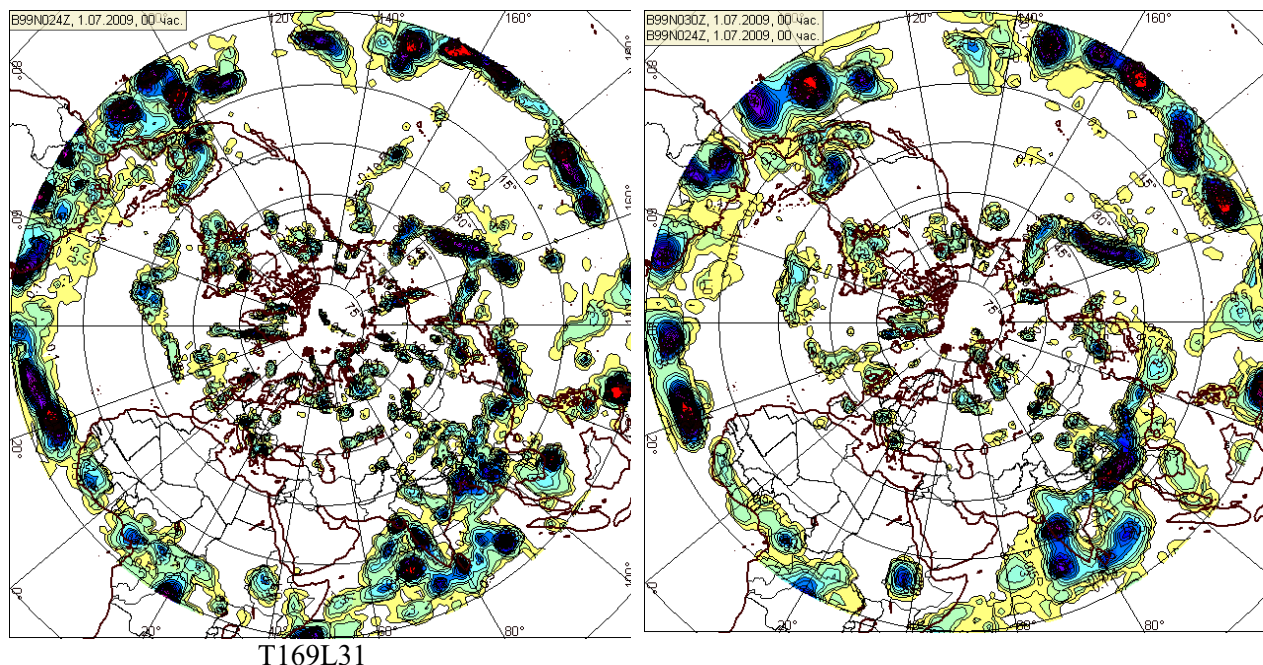


Рис. 1. Глобальная спектральная модель

Огонь – это сложный физический процесс, который можно описать моделями поведения в зависимости от условий его возникновения и развития. Некоторые из этих моделей поведения огня включают:

1. Модель треугольника огня: эта модель описывает, что для того, чтобы огонь возник и продолжал гореть, необходимо наличие трех элементов – топлива, кислорода и источника тепла. Если один из этих элементов отсутствует, то огонь не будет гореть или остановится.

2. Модель пиролиза: этот процесс описывает разложение органических материалов, происходящий во время горения. Под воздействием высоких температур материалы разлагаются на газы, жидкости и твердые остатки, которые и поддерживают горение.

3. Модель распространения огня: огонь может распространяться по разным материалам с разной скоростью, в зависимости от их теплопроводности, влажности, пористости и др. Условия окружающей среды, такие как температура, влажность и скорость ветра также могут повлиять на распространение огня.

4. Модель конвекции: огонь может использовать конвекцию, чтобы передвигаться от одного объекта к другому. Конвекция – это перенос тепла с помощью потока горячего воздуха, который движется вверх. Другие материалы, которые находятся на пути этого потока, также могут загореться.

5. Модель самовоспламенения: некоторые материалы могут загореться при отсутствии внешних источников тепла. Это может происходить из-за тепловых испусканий, химических реакций или других факторов, которые могут привести к самовозгоранию.

Пример моделирования распространения возгораний представляется в виде изображений, демонстрирующих пути возможного роста очага возгорания с указанием временных интервалов, представленных на рисунке 2.

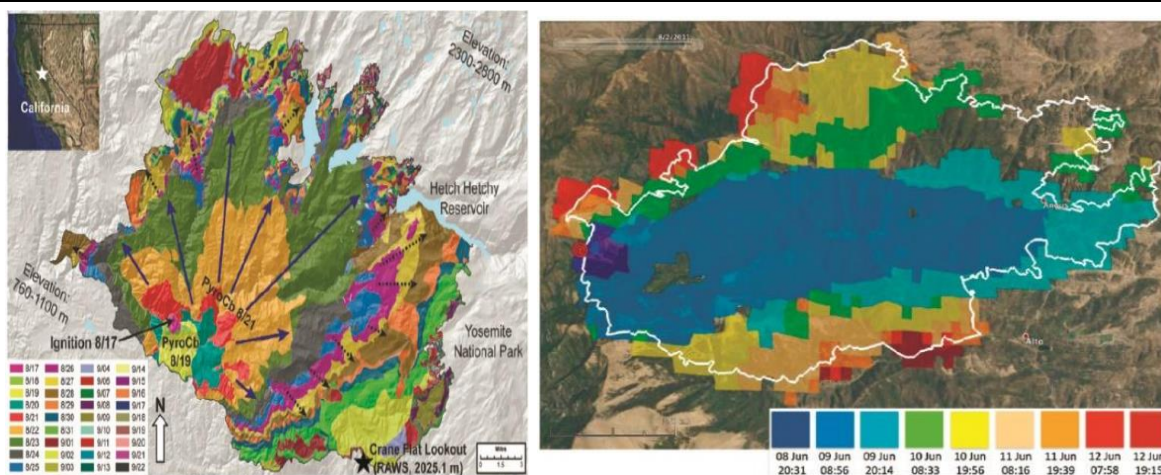


Рис. 2. Модель прогнозирования поведения огня  
Fig. 2. Model for predicting fire behavior

Это только некоторые из возможных моделей поведения огня. Огонь – это очень сложный и динамичный процесс, который может происходить в разных условиях и на разных поверхностях, поэтому существует много других моделей, которые могут быть использованы для его описания.

Лесопожарные карты составляют исходя из шкалы пожароопасности типов леса И.С. Мелехова (конкретный лес рассматривают как один из видов лесных горючих материалов – ЛГМ). По этой шкале всем основным типам леса присваивается класс пожарной опасности с учетом, во-первых, очередности пожарного созревания, во-вторых, возможности развития сильных пожаров, причем уже независимо от очередности пожарного созревания. Всего таких классов 5, и на лесопожарной карте лесные выделы, составляющие лесные кварталы, закрашены цветом конкретного класса пожарной опасности. Классификация леса И.С. Мелехова обладает рядом преимуществ: информацию удобно обрабатывать, т.к. она представлена в табличной форме, легко наглядно представить на карте. Соответствие «тип вырубki без воздействия огня» – «тип леса» – «тип вырубki при воздействии огня (после рубки)» представлено на рисунке 3.

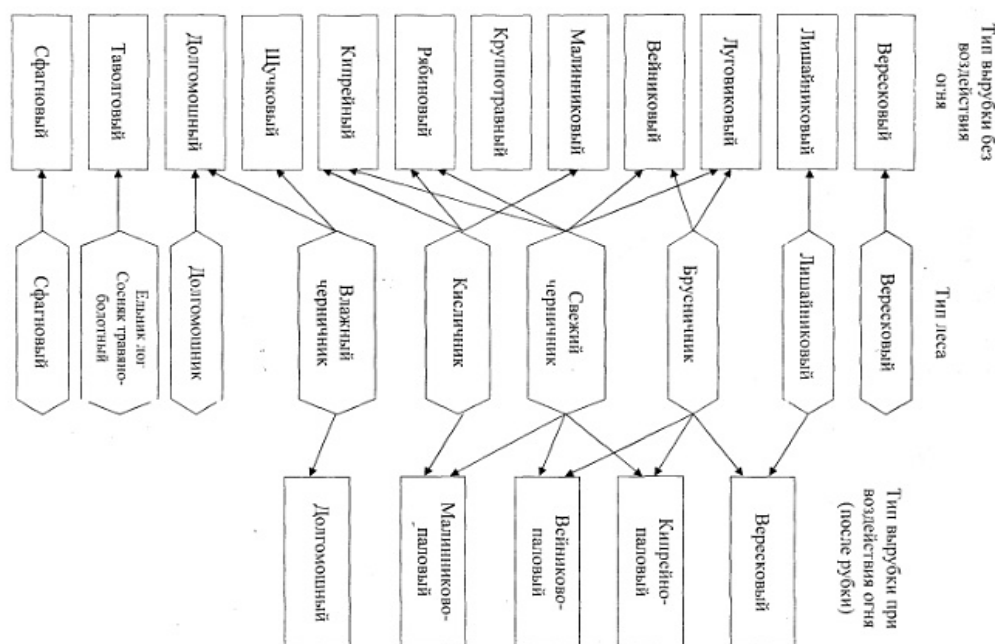


Рис. 3. Соответствие типа леса вырубкам  
Fig. 3. Correspondence of forest type to felling areas

Однако можно заметить оказывающиеся существенными на практике недоработки: не везде учитывается напочвенный покров, не учитываются сезонные изменения травяного яруса в травяных типах леса (вырубки и т.д.). Класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды должен определяться по принятому в лесном хозяйстве комплексному показателю (КП) В.Г. Нестерова. КП текущего дня рассчитывают по формуле  $KP = \sum_n^i t(t - r)$ , где  $t$  – температура воздуха;  $r$  – температура точки росы;  $n$  – число дней после последнего дождя. Затем, исходя из значения комплексного показателя, лесу присваивается один из 5 классов пожарной опасности. Для того, чтобы прогноз поведения пожара был наиболее точным, учитывают дополнительные факторы: рельеф местности, наличие потенциальных источников огня, данные о грозовой деятельности и т.д. Однако все вышеперечисленные данные только помогают понять, каким участкам лесного фонда следует уделять повышенное внимание, а на каких территориях возможность возникновения пожара минимальна; если пожар все же случился, как он будет развиваться и какие меры рациональней предпринимать [Баровик, Таранчук, 2010]. А для начала важно своевременно обнаружить очаг пожара. Наиболее распространенные и традиционные способы решения данной задачи – это наземное и авиапатрулирование пожароопасных областей.

В целом, модели мониторинга и прогнозирования являются важным инструментом для принятия решений в различных областях деятельности. Они помогают анализировать данные и давать прогнозы на основе имеющейся информации, что является основой успешного планирования и принятия решений.

Кроме того, существуют также инструменты информационно-аналитического мониторинга и прогнозирования лесных пожаров (ИАМП), которые объединяют в себе специализированные базы данных, системы сбора и анализа информации, системы информатизации, системы прогнозирования пожаров и другие средства, которые позволяют получать оперативную информацию о пожарах в лесах, а также эффективно управлять пожароопасной ситуацией.

Как правило, для прогнозирования лесных пожаров используются комплексные модели, которые объединяют несколько подходов. Например, модель могла бы использовать данные метеорологических моделей в сочетании с моделями поведения огня для прогнозирования того, как быстро пожар будет распространяться и каким будет его интенсивность в зависимости от факторов окружающей среды.

Кроме того, многие страны используют спутниковые и аэрофотосъемки и другие системы дистанционного мониторинга, чтобы отслеживать лесные пожары и быстро реагировать на них.

В целом, использование моделей прогнозирования и мониторинга позволяет значительно улучшить механизмы реагирования на лесные пожары и снизить их воздействие на животный и растительный мир, а также на жизнь людей.

Контроль пожаров является важной задачей в области безопасности и защиты окружающей среды. Для эффективного контроля пожаров используются различные технологии, в том числе и нейронные сети. В современных реалиях существуют множества уже готовых решений с использованием различных моделей прогнозирования лесных пожаров, с учетом различных критериев. Автоматизация процессов затронула и вопрос прогнозирования лесных пожаров. Нейронные сети становятся значимой частью процесса прогнозирования, упрощая процессы прогнозирования и снижая фактор риска человеческой ошибки. Рассмотрим наиболее популярные на сегодняшний день решения, представленные на рынке.

### Результаты и их обсуждение

Нейронные сети – это компьютерные алгоритмы, которые способны обучаться на основе большого количества данных и определять закономерности в этих данных. Для использования нейронных сетей для распознавания пожаров необходимо иметь достаточно



широкий набор данных, описывающих температуру, скорость ветра и другие факторы, которые могут влиять на возникновение и распространение пожара.

Одним из примеров применения нейронных сетей для распознавания пожаров является система Wildfire Watch, которая разработана с целью выявления возгораний на основе данных, полученных от космических спутников и дистанционных станций. Система использует нейронные сети для анализа данных о температуре, скорости ветра и других участках, которые могут свидетельствовать о наличии пожара [Дударев, 2014]. Система выводит инфографию о пожарах на реальную спутниковую карту в режиме реального времени. Пример работы с системой представлен на рисунке 4.

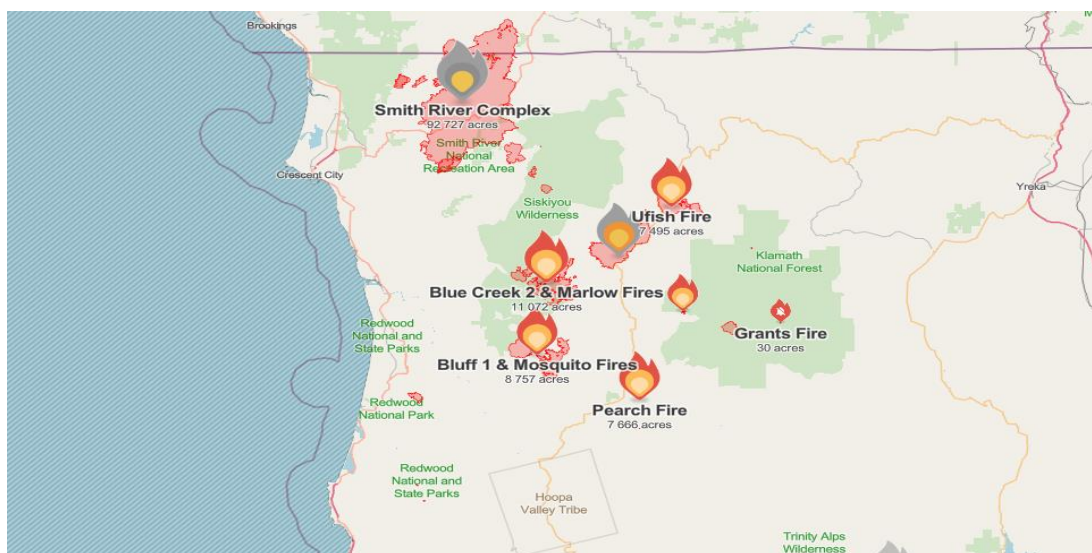


Рис. 4. Результат работы системы Wildfire Watch  
Fig. 4. Result of the Wildfire Watch system

Другой пример – система Early Fire Detection System (EFDS), которая обнаруживает возможные пожары с помощью набора нейронных сетей, которые были обучены на обширном наборе данных. Эта система основана на мониторинге температуры, уровня дыма и изменений освещения в зданиях и других областях. Наглядный пример работы системы представлен на рисунке 5.

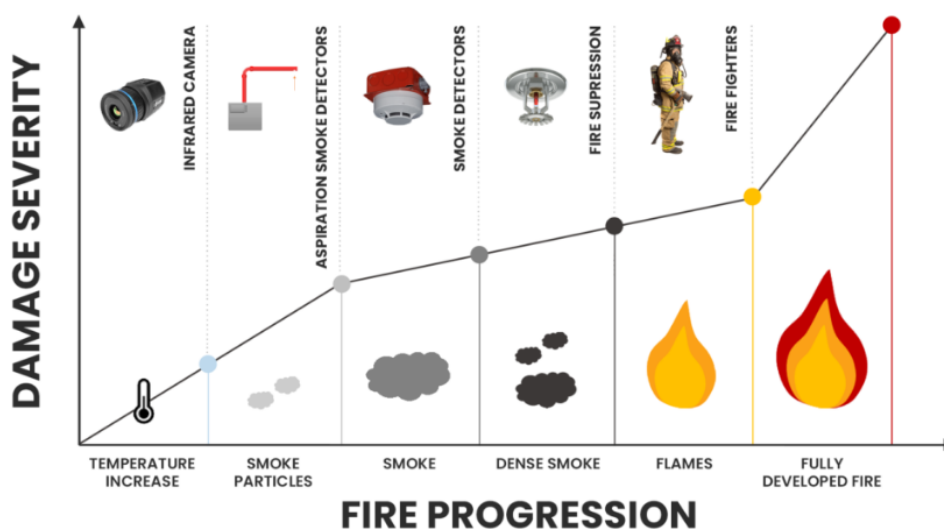


Рис. 5. Алгоритм работы системы EFDS  
Fig. 5. Algorithm of operation of the EFDS system

Нейронные сети могут также использоваться для предсказания местоположения и распространения пожара. Например, Cal Fire, в свою очередь, использует нейронную сеть, чтобы просмотреть исторические данные о пожарах в Калифорнии, а затем строить картины пожаров на основе предыдущих событий.

Также стоит отметить, что использование нейронных сетей для распознавания и идентификации пожаров является лишь одним из методов контроля пожаров. Другие методы включают в себя технологии, такие как приложения для мониторинга пожаров, системы автоматического пожаротушения и т.д. Однако применение нейронных сетей может быть особенно полезным в тех ситуациях, когда используемые методы не дали необходимого результата или при отсутствии других средств контроля пожаров.

Действительно, геоинформационные системы (ГИС) и данные, полученные от космических спутников, стали ценными инструментами для более точного мониторинга и управления лесными пожарами.

ГИС позволяют собирать, обрабатывать и анализировать геопространственные данные, такие как высота рельефа, типы почвы, типы растительности, климатические параметры и другие факторы, которые могут повысить или понизить риск возникновения лесных пожаров. Такие данные помогают планировать ландшафтный подход к управлению лесами, определять зоны риска и предварительные меры, которые нужно принять для предотвращения пожаров [Ханина, 2009].

Например, если на определенной территории растет много сухой травы или других горючих материалов – это может быть признаком повышенного риска возникновения пожара. Используя ГИС, можно создать карту этого риска и определить, какие участки нуждаются в особой осторожности и внимании. ГИС также помогают определять границы лесов и территории, за которую отвечает конкретный оператор или правительство.

Спутниковые данные также являются ценным инструментом для определения риска возникновения лесных пожаров. Они дают доступ к информации о температуре, влажности и других параметрах, которые могут оказывать влияние на возникновение и распространение пожаров. Используя инфракрасные фотометры, спутники могут наблюдать за температурой поверхности земли, которая может помочь в отслеживании и прогнозировании лесных пожаров.

Данные, полученные от спутников, могут также помочь управлять пожарами в режиме реального времени. Спутниковая система мониторинга пожаров MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) наблюдает за дымом и высокими температурами на поверхности Земли, что позволяет операторам смотреть и быстро реагировать на потенциальные угрозы. MODIS встроен в спутники NASA и помогает инженерам и пожарным службам в их управлении пожарами и быстром реагировании на экстренные ситуации.

Вот несколько примеров использования геоинформационных систем и спутниковых данных при борьбе с лесными пожарами:

1. В 2017 году Full-Stack Development ученые сконструировали приложение управления лесными пожарами в Италии, используя спутниковые данные. Это приложение позволило пожарной службе Италии координировать свои усилия в борьбе с пожарами, отслеживая и прогнозируя их распространение и используя ГИС для определения опасных участков.

2. В Канаде пожарные используют спутниковые данные для отслеживания пожаров на больших участках территории. Это позволяет им быстро отреагировать на угрозы и направить свои усилия туда, где это нужно.

3. В Калифорнии Централизованная Система Интегрированного Управления Пожарами (Integrated Fire Management System) использует спутниковые данные и ГИС для мониторинга лесов в режиме реального времени и координирования своих усилий в борьбе с пожарами.

Использование геоинформационных систем и спутниковых данных для создания точных моделей и прогнозов лесных пожаров продолжает развиваться и совершенствоваться, позволяя более эффективно управлять пожарами и защищать окружающую среду и людей.

Существует множество математических моделей, используемых для прогнозирования лесных пожаров. Одним из наиболее распространенных подходов является моделирование распространения огня на основе физических принципов и данных об окружающей среде.

Одной из таких моделей является модель "Canadian Forest Fire Weather Index" (FWI), разработанная Канадским лесным служением. Она базируется на корреляции между погодными условиями и вероятностью возникновения лесных пожаров.

Канадская **система индекса погоды для лесных пожаров (FWI)** состоит из шести компонентов, которые учитывают влияние влажности топлива и погодных условий на поведение пожара. Первые три компонента представляют собой коды влажности топлива, которые представляют собой числовые оценки содержания влаги в лесной подстилке и других мертвых органических веществах. Их значения растут по мере уменьшения содержания влаги. Для каждого из трех слоев топлива существует один код влажности топлива: мусор и другое мелкодисперсное топливо; рыхлые уплотненные органические слои средней глубины и глубокие, компактные органические слои. Остальные три компонента – это индексы поведения при пожаре, которые отражают скорость распространения огня, доступное для горения топливо и интенсивность фронтального пожара, эти три значения возрастают по мере увеличения пожарной опасности [Елисеева, 2014].

### Структура системы FWI

На схеме ниже показаны компоненты системы FWI. Расчет компонентов основан на последовательных ежедневных наблюдениях за температурой, относительной влажностью, скоростью ветра и суточными осадками. Шесть стандартных компонентов дают числовые оценки относительной вероятности возникновения лесных пожаров.

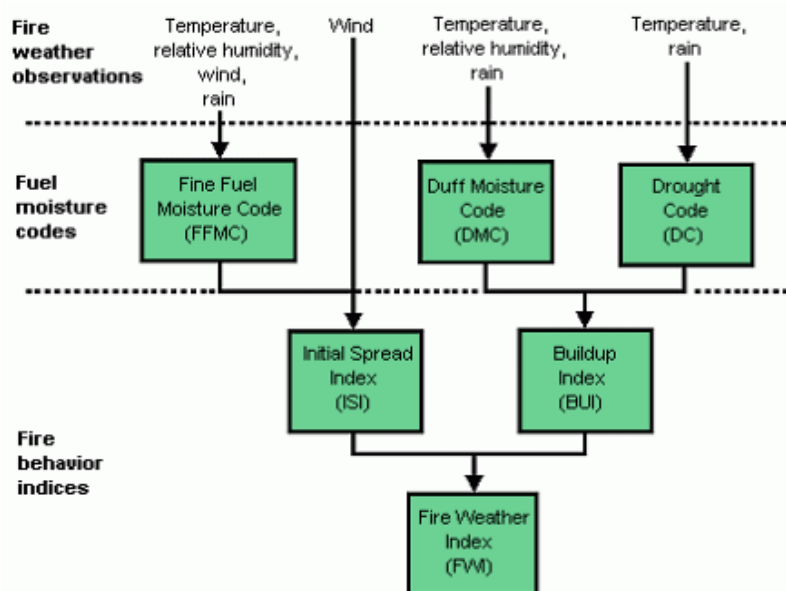


Рис. 6. Компоненты системы FWI

Fig. 6. FWI system components

#### Код влажности мелкого топлива

Код влажности мелкодисперсного топлива (FFMC) представляет собой числовой показатель содержания влаги в мусоре и другом отвержденном мелкодисперсном топливе. Этот код является показателем относительной легкости воспламенения и воспламеняемости мелкодисперсного топлива.

### **Код влажности Даффа**

Код влажности Даффа (DMC) – это числовая оценка среднего содержания влаги в рыхло уплотненных органических слоях средней глубины. Этот код дает представление о расходе топлива при умеренных слоях пыли и древесном материале среднего размера.

### **Код засухи**

Код засухи (DC) – это числовая оценка среднего содержания влаги в глубоких, компактных органических слоях. Этот код является полезным индикатором воздействия сезонной засухи на лесное топливо и количество тлеющего вещества в глубоких слоях древесного угля и больших бревнах.

### **Начальный индекс спреда**

Индекс начального распространения (ISI) представляет собой числовой показатель ожидаемой скорости распространения огня. Он основан на скорости ветра и FFMC. Как и остальные компоненты системы FWI, ISI не учитывает тип топлива. Фактические нормы разброса варьируются в зависимости от типа топлива при одном и том же ISI.

### **Индекс наращивания**

Индекс накопления (BUI) представляет собой числовой рейтинг общего количества топлива, доступного для сгорания. Он основан на DMC и DC. BUI обычно менее чем в два раза превышает значение DMC, и ожидается, что влага в слое DMC поможет предотвратить горение материала глубже в доступном топливе.

### **Индекс пожарной погоды**

Индекс пожарной погоды (FWI) представляет собой числовой рейтинг интенсивности пожара. Он основан на индексах ISI и BUI и используется в качестве общего индекса пожарной опасности на всей лесной территории Канады.

## **Заключение**

В результате исследования становится ясно, что применение современных информационных технологий и методов прогнозирования может существенно улучшить способы борьбы с распространением лесных пожаров. Нейронные сети, геоинформационные системы и спутниковые данные позволяют создавать более точные модели и прогнозы, что помогает быстрее и эффективнее реагировать на возникновение и распространение пожаров.

Рассмотрев различные модели, можно говорить о том, что для различных задач требуются различные подходы к прогнозированию лесных пожаров. Произведенная классификация поможет в дальнейших исследованиях точнее понимать и ориентироваться в использовании той или иной модели прогнозирования лесных пожаров. Методы и модели, рассмотренные в данной статье, планируются в дальнейшем использовании для создания геоинформационной системы прогнозирования лесных пожаров.

Важно отметить, что разработка и внедрение таких технологий требует серьезных усилий и финансовых вложений, но они могут значительно уменьшить экологические и экономические последствия лесных пожаров, сохранить жизни людей и диких животных, а также сделать работу пожарных и других специалистов более эффективной.

Статья демонстрирует важность применения современных информационных технологий для борьбы с распространением лесных пожаров и указывает на перспективные направления исследований в этой области. Благодаря применению новейших методов и технологий, ситуация с лесными пожарами может быть улучшена в будущем.

## **Список литературы**

- “Лесные пожары в России” [Электронный ресурс] URL: <https://ria.ru/20230905/pozhary-1894222884.html> (дата обращения 03.09.2023)
- “Нейронные сети: распознавание образов и изображений с помощью ИИ” [Электронный ресурс] URL: <https://center2m.ru/ai-recognition> (дата обращения 28.08.2023).
- Баровик Д.В., Таранчук В.Б. 2010. Математическое моделирование течения верховых лесных пожаров. Математическое моделирование и анализ. 15(2): 161-174.



- Гренандер У. 2014. Лекции по теории образов (Том 1. Синтез образов). 571 с.
- Гренандер У. 2016. Лекции по теории образов (Том 2. Анализ образов). 342 с.
- Дударев В.А. 2014. Методы распознавания образов в компьютерном конструировании неорганических соединений. М.: Синергия, 325 с.
- Елисеева И.И., Рукавишников В.О. 2014. Группировка, корреляция, распознавание образов (статистические методы классификации и измерения связей). Москва: РГГУ, 144 с.
- Иванов С.А. 2021. Элементы информационной поддержки принятия решений при управлении лесным хозяйством. Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы V международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2021 года. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. С. 138–141.
- Иванов С.А. 2022. Системный анализ факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров в Северо-Западном федеральном округе. Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. №4. С. 26–33.
- Капитонова Т.А. 2015. Нейросетевое моделирование в распознавании образов. Философско-методические аспекты. Москва: РГГУ, 684 с.
- Кинько В. Распознавание образов и объектов на изображении [Электронный ресурс] URL: <http://bytepace.com/ru/blog/character-recognition> (дата обращения 13.09.2023)
- Кислухина И.А. 2012. Исследование государственной политики в сфере лесных отношений, сформировавшейся в результате принятия нового лесного кодекса РФ. Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2: 196–204.
- Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. 2016. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем, 773 с.
- Пантюхин М.А., Самойлин Е.А., Дроздов А.Ю. “Алгоритм распознавания объектов на плоских изображениях в системах технического зрения” [Электронный ресурс] URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2016/01/2016-01-19.pdf> (дата обращения 07.09.2023)
- Перминов В.А. 2010. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров: физ.-мат. наук. Томск, 282 с.
- Станкевич Т.С. 2018. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи оперативного прогнозирования динамики распространения лесных пожаров. Бизнес-информатика. 4(46): 17–27.
- Фомин Я.А. 2020. “Распознавание образов: теория и применение”. 203 с.
- Ханина Л.Г., Смирнов В.Э., Лукина Н.В. 2009. Компьютерные системы поддержки принятия решений в лесном хозяйстве: обзор современного состояния. Хвойные бореальной зоны. 26(2): 187–196.
- Чувиеко Э. 2010. Разработка системы оценки пожарного риска с использованием технологий дистанционного зондирования и геоинформационных систем. Экологическое моделирование. 221(1): 46–58.

## References

- “Forest fires in Russia” [Electronic resource] URL: <https://ria.ru/20230905/pozhary-1894222884.html> (access date 09/03/2023)
- “Neural networks: pattern and image recognition using AI” [Electronic resource] URL: <https://center2m.ru/ai-recognition> (access date 28/08/2023)
- Barovik D.V., Taranchuk V.B. 2010. Mathematical Modelling of Running Crown Forest Fires // Mathematical Modelling and Analysis, 15(2): 161–174.
- Grenander U. 2014. Lectures on the theory of images (Volume 1. Synthesis of images). 571 p.
- Grenander U. 2016. Lectures on the theory of images (Volume 2. Analysis of images). 342 p.
- Dudarev V.A. 2014. Methods of pattern recognition in the computer design of inorganic compounds. M.: Synergy, 325 p.
- Eliseeva I.I. Rukavishnikov V.O. 2014. Grouping, correlation, pattern recognition (statistical methods of classification and measurement of connections). Moscow: Russian State University for the Humanities, 144 p.
- Ivanov S.A. 2021. Elements of information support for decision-making in forestry management. Current issues in forestry: materials of the V International Youth Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 11–12, 2021. St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov. pp. 138–141.

- Ivanov S.A. 2022. System analysis of factors influencing the occurrence of forest fires in the Northwestern Federal District. Bulletin of ASTU. Series: Management, computer technology and information science. No. 4. pp. 26-33.
- Kapitonova T.A. 2015. Neural network modeling in pattern recognition. Philosophical and methodological aspects. Moscow. 684 p.
- Kinko V. Recognition of images and objects in an image [Electronic resource] URL: <http://bytepace.com/ru/blog/character-recognition> (access date 09/09/2023)
- Kislukhina I.A. 2012. A study of state policy in the field of forest relations, formed as a result of the adoption of the new Forest Code of the Russian Federation. Bulletin of the Moscow State Forestry University - Forest Bulletin. 2: 196–204.
- Peitgen H.-O., Richter P.H. 2016. The beauty of fractals. Images of complex dynamic systems. 773 p.
- Pantyukhin M.A., Samoilin E.A., Drozdov A.Yu. "Algorithm for recognizing objects on flat images in technical vision systems" [Electronic resource] URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2016/01/2016-01-19.pdf> (access date 07.09.2023)
- Perminov V.A. 2010. Mathematical Modeling of the Occurrence of Crown and Large Forest Fires: Dr. Phys.- Math. Sci. Diss. Tomsk, 282 p.
- Stankevich T.S. 2018. The Use of Convolutional Neural Networks to Forecast the Dynamics of Spreading Forest Fires in Real Time. Biznes-informatika [Business Informatics]. 4(46): 17–27.
- Fomin A. 2020. "Pattern recognition: theory and application" 203 p.
- Khanina L.G., Smirnov V.E., Lukina N.V. 2009. Computer decision support systems in forestry: a review of the current state. Conifers of the boreal zone. 26(2): 187-196.
- Chuvieco E., Aguadoa I., Yebraa M., Nieto H., Salas J., Martín M.P. et al. 2010. Development of a Framework for Fire Risk Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies. Ecological Modelling. 221(1): 46–58.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 25.09.2023

Поступила после рецензирования 27.10.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received September 25, 2023

Revised October 27, 2023

Accepted December 01, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Родионов Алексей Михайлович**, аспирант кафедры информационных систем и технологий, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

**Иванов Сергей Александрович**, доцент кафедры информационных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, г. Санкт-Петербург, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Aleksey M. Rodionov**, graduate student of the Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirova, St. Petersburg, Russia

**Sergey A. Ivanov**, associate professor of the Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia

УДК 519.876.2

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-924-935

## **Представление данных о состоянии популяции и обучение искусственной нейронной сети в задаче управления работой генетическим алгоритмом**

**Петросов Д. А., Андриянов Н.А., Алюнов А.Н., Нежданов Е.В.**

Финансовый университет при Правительстве РФ,

Россия, 125468, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 49.

E-mail: dapetrosov@fa.ru, naandriyanov@fa.ru, alyunov@fa.ru, 9207457@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения рекуррентной искусственной нейронной сети для решения задачи управления генетическим алгоритмом при структурно-параметрическом синтезе имитационных моделей бизнес-процессов. В качестве входов для выбранного класса сетей рассматривается значение функции приспособленности особей популяции, сгруппированных по количеству одинаковых значений. Такого рода подход позволяет стандартизировать размерность входов нейронной сети для популяций различной размерности. В работе представлены примеры данных, полученных при работе адаптированного к решению задачи структурно-параметрического синтеза имитационных моделей бизнес-процессов генетического алгоритма и их визуализация, которые использовались для обучения искусственной нейронной сети. На основе вычислительных данных эксперимента было проведено обучение нескольких видов моделей искусственных нейронных сетей с целью определения класса сетей, способных определить состояние популяции генетического алгоритма в процессе поиска решений. В работе приведены результаты обучения различных искусственных нейронных сетей современными методами глубокого обучения.

**Ключевые слова** имитационное моделирование, рекуррентный класс сетей, эволюционные процедуры, структурно-параметрический синтез, моделирование, глубокое обучение, бизнес-процессы

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №23-31-00127)

**Для цитирования:** Петросов Д.А., Андриянов Н.А., Алюнов А.Н., Нежданов Е.В. 2023. Представление данных о состоянии популяции и обучение искусственной нейронной сети в задаче управления работой генетическим алгоритмом. Экономика. Информатика. 50(4): 924–935. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-924-935

---

## **Presentation of Data on the State of the Population and Training of an Artificial Neural Network in the Problem of Controlling the Operation of a Genetic Algorithm**

**David A Petrosov, Nikita A. Andriyanov, Alexander N. Alyunov, Evgeniy V. Nezhdanov**

Financial University under the Government of the Russian Federation,

Russia, 125468, Moscow, Leningradsky Prospekt, 49

E-mail: dapetrosov@fa.ru, naandriyanov@fa.ru, alyunov@fa.ru, 9207457@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the possibility of using a recurrent artificial neural network to solve the problem of controlling a genetic algorithm in the structural-parametric synthesis of simulation models of business processes. As inputs for the selected class of networks, the value of the fitness function of individuals in the population grouped by the number of identical values is considered. This kind of approach allows us to standardize the dimension of neural network inputs for populations of different dimensions. The paper presents examples of data obtained during the work of structural-parametric

synthesis of simulation models of business processes of a genetic algorithm, adapted to the solution of the problem, and their visualization, which were used to train an artificial neural network. Based on the data from the computational experiment, several types of artificial neural networks were trained in order to determine a class of networks capable of determining the state of the population of a genetic algorithm in the process of searching for solutions. The paper presents the results of training various artificial neural networks using modern deep learning methods.

**Keywords:** simulation modeling, recurrent class of networks, evolutionary procedures, structural-parametric synthesis, modeling, deep learning, business processes

**Acknowledgements:** The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 23-31-00127)

**For citation:** Petrosov D.A., Andriyanov N.A., Alyunov A.N., Nezhdanov E.V. 2023. Presentation of Data on the State of the Population and Training of an Artificial Neural Network in the Problem of Controlling the Operation of a Genetic Algorithm. Economics. Information technologies. 50(4): 924–935 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-924-935

## Введение

Современные подходы к решению ресурсоемких задач требуют разработки новых методов, которые позволят использовать в вычислениях не только суперкомпьютеры, облачные технологии, вычислительные мощности или GRID-системы, но и применять CPU или CPU+GPGPU на персональном компьютере. К подобного рода вычислениям можно отнести задачи, связанные со структурно-параметрическим синтезом имитационных моделей бизнес-процессов с заданным поведением. В современных исследованиях при решении данной задачи предлагается использование интеллектуальных методов на основе эволюционных процедур, к которым относятся генетические алгоритмы. [Шишкова, 2017; Петросов, Зеленина, 2020; Valerian, Sutrisno, Herwindiati, 2020; Petrosov, Lomazov, Petrosova, 2021; Давронов, 2023]

Проблема применения генетических алгоритмов в задачах, основанных на больших количествах комбинаций решений (к которым относится синтез моделей на заданной элементной базе и комбинировании межэлементных связей на основе заданного поведения), заключается в возможности возникновения частых затуханий и нахождения популяции в локальных экстремумах. Для решения данной проблемы в современных исследованиях предлагается:

- выполнять тщательный выбор и настройку параметров функционирования операторов генетического алгоритма для решения задач в конкретной предметной области;
- совместное использование двух взаимосвязанных генетических алгоритмов, где основной генетический алгоритм выполняет задачу поиска решений, в то время как второй генетический алгоритм решает задачу оптимизации параметров работы основной эволюционной процедуры;
- использование дополнительных операторов генетического алгоритма, которые также адаптируют работу основных операторов к решению задачи [Чеканин, Куликова, 2017, Голышин, 2018; Денисов, Сопов, 2021; Сапрыкина, 2022а; Сапрыкина, 2022б; Дрозин, 2023; Шегай, Попова, 2023; Софронова, 2023; Hahn et al., 2023].

В данном исследовании предлагается использовать COGAN подход, который объединяет в себе возможности генетического алгоритма (ГА) и искусственных нейронных сетей (ИНС). В отличие от распространенного применения COGAN, базирующегося на применении генетического алгоритма (ГА) при обучении искусственной нейронной сети (ИНС), предлагается использовать ИНС в качестве управляющей надстройки, которая изменяет параметры работы операторов ГА в зависимости от состояния популяции.

Для управления процессом поиска предлагается изменять параметры работы операторов ГА, тем самым изменяя их разрушающую способность. Такого рода подход позволит управлять процессом поиска решений и задавать траекторию движения популяции в пространстве решений.

Состояние популяции целесообразно оценивать на основе значений функции приспособленности особей, но структура представления данных может значительно влиять на размерность, обучаемость и работу ИНС.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования в данной работе является ИНС, задача которой сводится к определению и прогнозированию состояния популяции ГА в процессе поиска решений.

В качестве класса ИНС для решения данной задачи были выбраны рекуррентные нейронные сети, которые показали достаточный уровень обучения для решения поставленной задачи при обучении на данных о значении функции приспособленности всех особей популяции (см. рис. 1). В качестве структуры предложено использование: номера особи в популяции (ось абсцисс) и значение функции приспособленности (ось ординат). При этом используются все значения функции приспособленности и возникает проблема, связанная с количеством особей в популяции, так как при решении задач различной размерности экспертами могут быть выполнены разные настройки и эти настройки могут быть изменены в зависимости от решаемых задач, а это повлечет изменения в количестве нейронов во входном слое и как следствие к изменению всей структуры ИНС и повторению процедуры обучения.

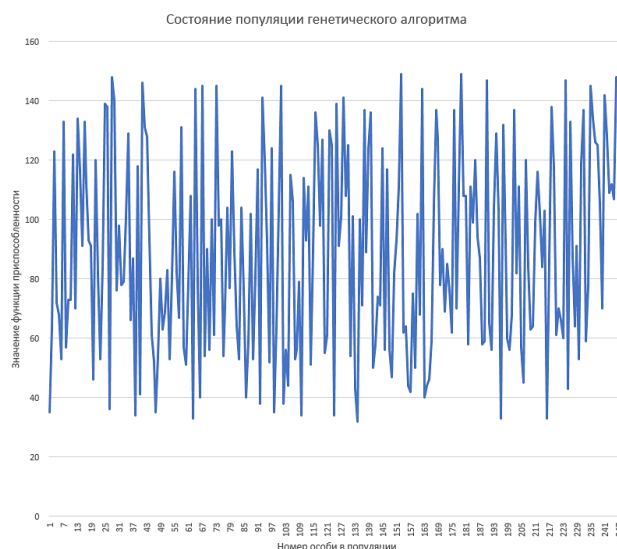


Рис. 1. Пример структуры представления данных о состоянии популяции ГА  
Fig. 1. An example of a structure for presenting data on the state of a GA population

В качестве классов состояний популяции ГА рассматриваются следующее:

1. «сходимость»;
2. «наметилась сходимость»;
3. «затухание»;
4. «наметилось затухание»;
5. «невмешательство»;
6. «остановка работы генетического алгоритма».

Для определения класса состояния предлагается применение подхода, который рассматривает значение функции приспособленности особей популяции, сгруппирован-

ных по количеству одинаковых значений в качестве входов для ИНС (см. пример рис. 2). В предложенной структуре данных по оси абсцисс показаны возможные значения функции приспособленности, а по оси ординат – количество особей, обладающих одинаковым значением.

В качестве методов глубокого обучения используются:

1. машина опорных векторов;
2. дерево решений;
3. случайный лес.

В качестве классов нейронных сетей рассматриваются:

1. полносвязанная сеть (4 слоя: 32-64-128-256);
2. LTSTM (128+256);
3. RNN (128+256);
4. GRU (128+256);
5. BiLSTM (128+256+DO).

Обучающая выборка содержит результаты вычислительных экспериментов, полученных при решении задачи структурно-параметрического синтеза имитационных моделей бизнес-процессов на основе элементной базы, описанных сетью Петри ( $PN_{IDEF3}$ ). В элементную базу входит 560 моделей, описанных с применением сетей Петри (за основу взят подход описания технологических особенностей бизнес-процессов в нотации IDEF3: внешние источники объектов, единицы работы, логические перекрестки). Количество входов для синтезируемого процесса – 100 (вектор  $Z_{IN}$ ), а количество выходов – 300 (вектор  $Z_{OUT}$ ). Структура бизнес-процесса – 25 взаимосвязанных подпроцесса. Начальный размер популяции более 30000 особей.

Синтезируемая модель бизнес-процесса должна обладать заданным свойством, то есть способность преобразовывать заданный входной сигнал в эталонный выходной. Тогда заданным свойством модели будем называть пару неотрицательных целочисленных векторов

$$Z_{IN} = (z_1^{IN}, \dots, z_{v_0}^{IN}) \quad \text{и} \quad Z_{OUT} = (z_1^{OUT}, \dots, z_{w_0}^{OUT}),$$

где  $Z_v^{IN}$  – число меток, поступивших в  $v$ -ую входную позицию перед запуском сети  $PN_{IDEF3}$ , моделирующую бизнес-процесс,  $Z_w^{OUT}$  – число меток, появившихся в  $w$ -ой выходной позиции после остановки сети  $PN_{IDEF3}$ ,  $v_0$  и  $w_0$  – число элементов множеств  $IN$  и  $OUT$  соответственно.

Таким образом, поставленная задача сводится к следующей. Среди всех гипотетически возможных моделей бизнес-процесса  $PN_{IDEF3}$  требуется найти такую, которая обладает свойством  $Z_k$ .

Для того, чтобы проверить, обладает ли модель  $PN_{IDEF3}$  свойством  $Z_k$ , необходимо сформировать эту модель, на ее вход  $IN$  подать вектор  $Z_{IN}^K$ , запустить сеть  $PN$  и после ее остановки сравнить количество меток на выходе  $OUT$  с вектором  $Z_{OUT}^K$ .

Меру близости будем определять, привлекая понятие метрического пространства и рассматривая полученный вектор  $Z_{OUT}$  и эталонный вектор  $Z_{OUT}^K$  как элементы евклидова пространства  $\mathbb{R}^{W_0}$  – множества упорядоченных наборов из  $W_0$  действительных чисел  $x = (x_1, \dots, x_{W_0})$  с расстоянием

$$\rho_1(x, y) = \sum_{w=1}^{W_0} |x_w - y_w|,$$

где  $y = (y_1, \dots, y_{W_0})$ .

Чем меньше  $\rho_1(Z_{OUT}, Z_{OUT}^K)$ , тем ближе модель  $PN_{IDEF3}$  к свойству  $Z_k$ , при  $\rho_1(Z_{OUT}, Z_{OUT}^K)=0$  модель  $PN$  обладает свойством  $Z_k$ . Расстояние  $\rho_1$  будет рассматриваться как целевая функция. Модель  $PN$  должна обладать свойством  $Z_k$ .

Значение целевой функции может быть только целочисленным, так как количество меток в позициях сети Петри является целочисленным.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим примеры входных данных, которые использовались в качестве обучающей выборки. Генетический алгоритм решает задачу минимизации целевой функции при синтезе имитационной модели бизнес-процесса на основе моделей элементной базы, построенной с применением математического аппарата теории сетей Петри. ИНС должна вмешиваться в работу ГА при возникновении классов состояния популяции 3, 4 и 6 состояния популяции. При вмешательстве ИНС должна регулировать разрушающую способность операторов ГА в большую или меньшую сторону в зависимости от состояния популяции.

При определении такого состояния популяции, как «сходимость», при обучении рекуррентной ИНС рассматривались примеры, подобные представленному на рисунке 2.

Как видно из представленного примера, при решении задачи минимизации количество особей со значением 0 значительное, то есть искомое решение найдено.

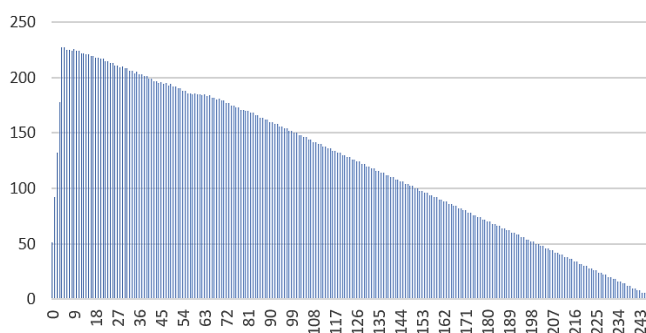


Рис.2. Пример состояния популяции «сходимость»  
Fig.2. Example of a population state «convergence»

На рисунке 3 показан пример состояния популяции «наметилась сходимость». В соответствии с представленным рисунком видно, что в настоящее время в популяции нет особей со значением целевой функции равно 0, но существуют особи, которые приблизились к данному значению. В этом случае ИНС не должна предпринимать попыток изменения параметров работы ГА.

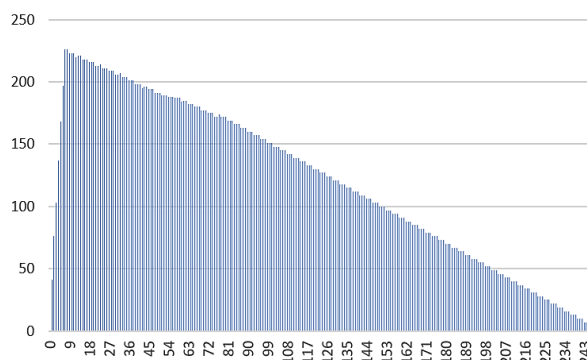


Рис.3. Пример состояния популяции «наметилась сходимость»  
Fig.3. An example of a population state “convergence is emerging”

Пример затухания ГА. На рисунке 4 показано данное состояние.

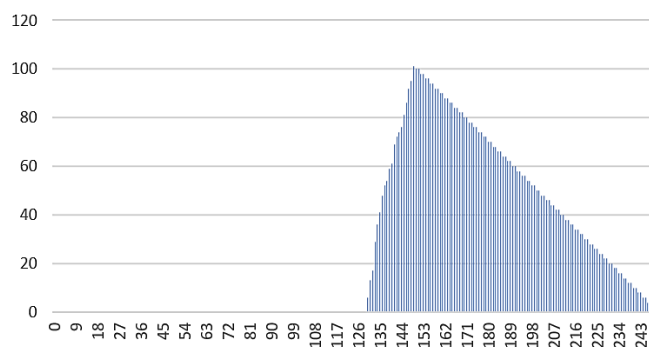


Рис.4. Пример состояния популяции «затухание»  
Fig.4. Example of a population state «decay»

Из данного рисунка видно, что особи группируются далеко от искомого решения, при этом не существует достаточного разброса, который позволит популяции выйти из данного локального экстремума. При этом требуется увеличить разрушающую способность для выхода популяции из локального экстремума.

На рисунке 5 показан пример «наметилось затухание».

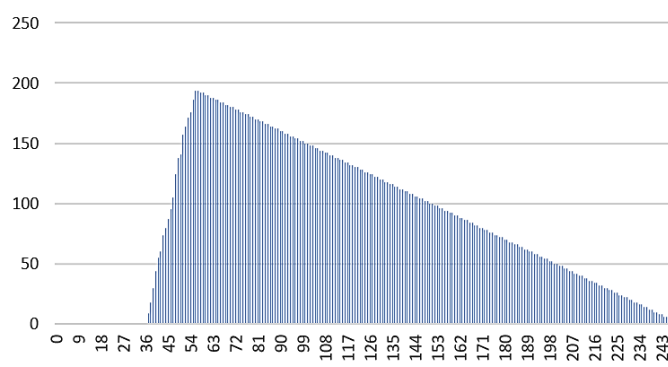


Рис. 5. Пример состояния «наметилось затухание»  
Fig.5. An example of the “attenuation has begun” state

Как видно из рисунка, количество особи популяции начинают группироваться возле локального экстремума. В этом случае ИНС также должна предпринять попытку рассеивания популяции по пространству решений, увеличивая разрушающую способность операторов ГА.

Рассмотрим пример такого состояния популяции как «невмешательство». Данный пример показан на рисунке 6.

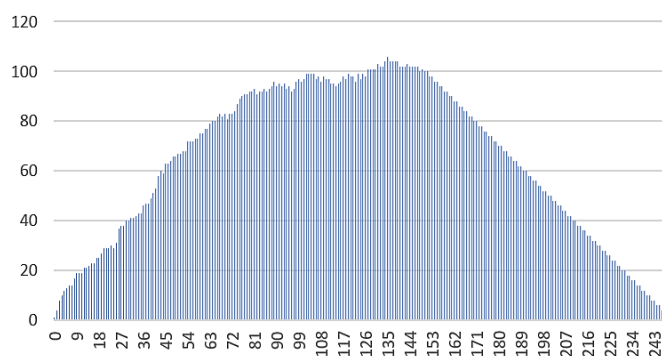


Рис.6. Пример состояния «невмешательство»  
Fig.6. An example of a non-intervention state



Как видно из представленного рисунка, разброс значений целевой функции достаточно большой и при этом наметилась сходимость, то есть особи, приближающиеся к значению целевой функции равному 0.

Такого рода данные вычислительных экспериментов, в количестве более 750 по каждому классу состояний ГА, были использованы для обучения пяти классов ИНС. При обучении выборка была разделена в следующей пропорции: 80% – обучающая и 20% – тестовая. Можно высказать предположение, что модели ИНС с долгосрочной памятью должны показать высокий результат при решении данного класса задач [Андриянов, 2014; Васильев, 2014; Andriyanov, Sluzhivyi, 2019; Kalayc T.A., Asan, U. 2022; Zhang, Zhu, Chen, 2023; Zhang X., et al., 2023].

В таблице 1 показаны сравнения моделей на выборке.

Таблица 1  
Table 1

Сравнение моделей на выборке  
Comparison of models on sample

Модель	Accuracy	F1-score	AvgPrecision	AvgRecall
Машина опорных векторов	0.1	0.12	0.22	0.12
Дерево решений	0.77	0.78	0.79	0.82
Случайный лес	1.0	1.0	1.0	1.0
Полносвязная сеть (4 слоя 32-64-128-256)	0.60	0.57	0.59	0.56
LSTM (128+256)	1	1	1	1
RNN (128+256)	0.69	0.67	0.74	0.75
GRU (128+256)	0.94	0.95	0.95	0.95
BiLSTM (128+256+DO)	1.0	1.0	1.0	1.0

На рисунке 7 показан результат обучения модели полносвязанной ИНС.

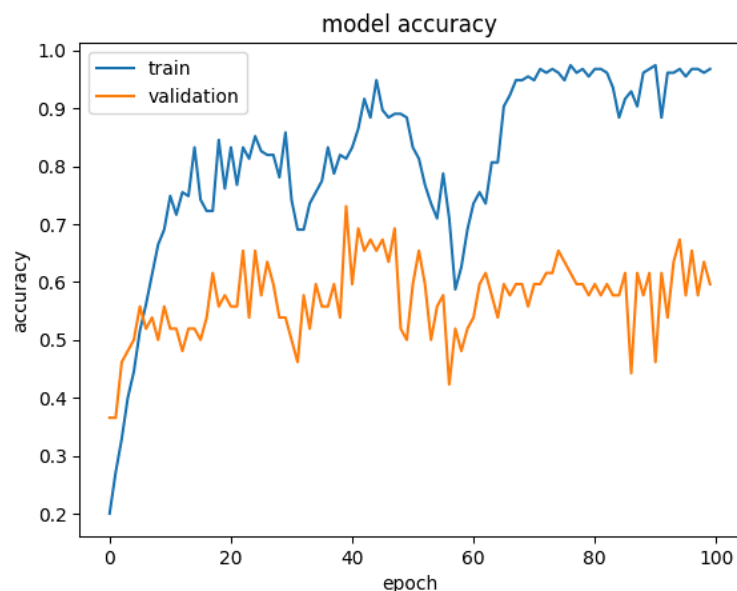


Рис.7. Результаты обучения полносвязанной ИНС  
Fig.7. Results of training a fully connected ANN

Как видно на представленном изображении, модель является переобученной, так как существует большой разрыв между валидацией и тестом. Это связано с большим количеством параметров и сложностью модели по сравнению с данными.

На рисунке 8 показаны результаты обучения LSTM модели ИНС.

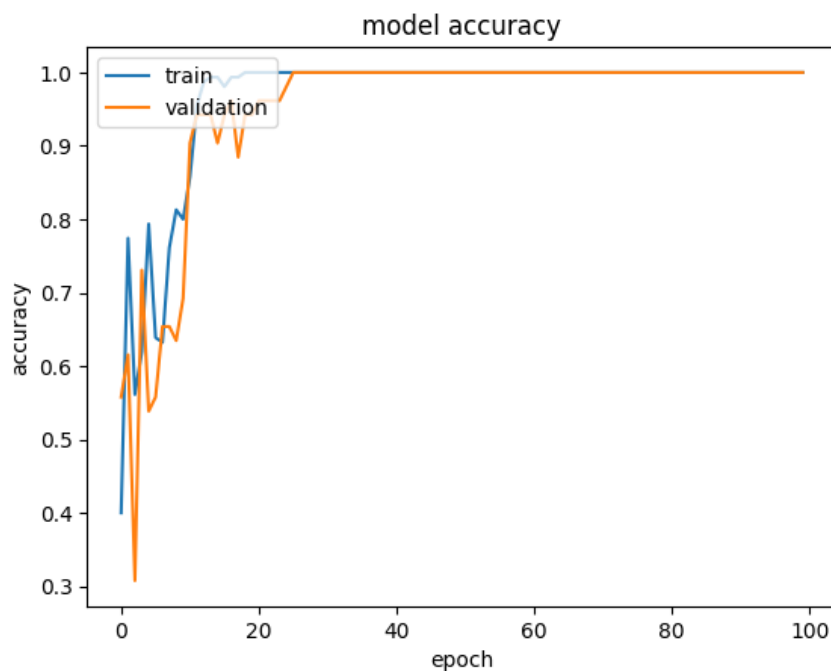


Рис. 8. Результат обучения LSTM модели ИНС  
Fig.8. Result of training LSTM ANN model

Как видно из рисунка, модель быстро обучилась, хорошо подходит для данных, развивающихся во времени, которыми можно аппроксимировать развитие функции среди особей.

На рисунке 9 показан результат обучения RNN модели ИНС.

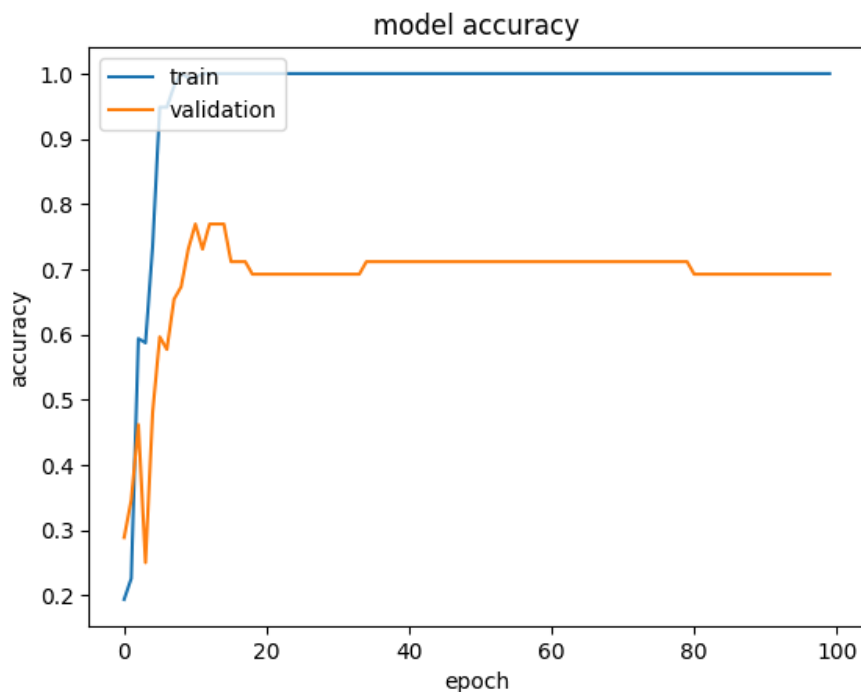


Рис.9. Результат обучения RNN модели ИНС  
Fig. 9. Result of training RNN ANN model

RNN модель показала эффект переобучения и оказалась неспособна уловить общие зависимости в данных, в отличие от LSTM.

На рисунке 10 показан результат обучения GRU модели ИНС.

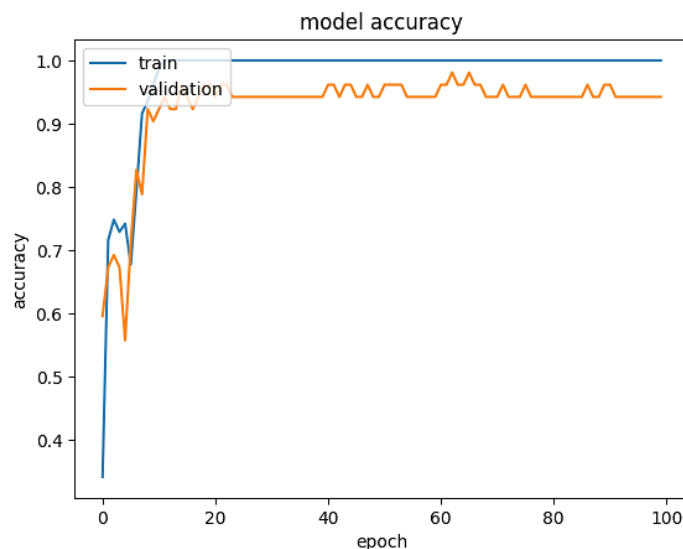


Рис.10. Результат обучения GRU модели ИНС  
Fig.10. Result of training GRU ANN model

Данная модель показала приемлемые результаты, в них отсутствуют признаки переобучения, что дает возможность высказать предположение, что для решения задачи определения состояния популяции на основе предложенной структуры данных требуется модель с более сложной памятью, чем предоставляет RNN.

На рисунке 11 показан результат обучения BiLSTM+dropout модели ИНС.

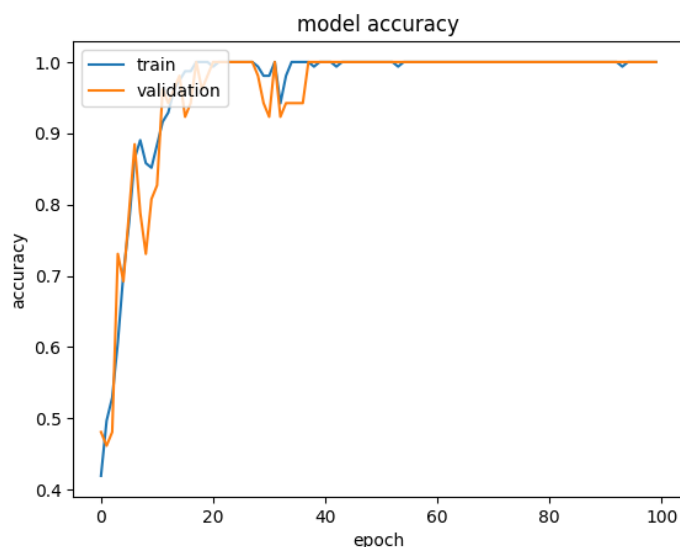


Рис.11. Результат обучения BiLSTM+dropout модели ИНС  
Fig.11. Result of training BiLSTM+dropout ANN model

На основе проведенных вычислительных экспериментов можно сказать, что BiLSTM слои наилучшие, а процедура dropout несколько замедлила обучение, что может быть полезно при более сложных наборах данных.

### Заключение

Предложенная в статье структура данных показала свою состоятельность при обучении ИНС распознавать состояние популяции в ГА в процессе поиска решений. Наилучшие результаты на данной структуре данных показали модели: GRU, LSTM и BiLSTM+dropout на основе метода обучения случайный лес, что говорит о состоятельности предположения об

использовании ИНС с памятью для решения этого класса задач. В развитии данного подхода управления ГА в процессе поиска решений целесообразно рассмотреть вариант применения двух контейнеров ИНС: первый контейнер распознает состояние популяции, второй контейнер принимает решение об изменении разрушающей способности операторов генетического алгоритма. В работе [Petrosov, Lomazov, Petrosova, 2021] было предложено использование вложенных сетей Петри для описания работ ГА в задачах структурно-параметрического синтеза моделей больших дискретных систем с заданным поведением, поэтому в развитии предложенного подхода описание модели ИНС также целесообразно выполнить с применением данного математического аппарата. Использование сетей Петри позволяет применить вычисления на основе GPGPU совместно с CPU, что позволит повысить быстродействие специализированных программных средств за счет матричного представления данных, использующих предложенный подход. Также следует отметить, что управление процессом поиска решений с использованием ИНС в качестве управляющей надстройки, позволит использовать ГА при работе с большими данными, что ранее было усложнено частыми затуханиями.

### Благодарности

*Авторы выражают благодарность Российскому Научному Фонду за финансовую поддержку исследований (проект №23-31-00127).*

### Список литературы

- Андрянов Н.А. 2014. Дискретные дважды стохастические авторегрессионные модели случайных полей. Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем, 1(9): 69-71.
- Васильев К.К. 2014. Авторегрессии с кратными корнями характеристических уравнений. Радиотехника, 11: 74–78.
- Голышин А.Е. 2018. Настройка параметров нечеткого контроллера с помощью генетического алгоритма при управлении динамическим объектом. Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 4(14): 21-23.
- Давронов, Ш. Р. 2023. Обзор современных генетических алгоритмов и их применение на практике. Молодой ученый, 36 (483):15-18.
- Денисов М.А., Сопов Е.А. 2021. Генетический алгоритм условной оптимизации для проектирования информативных признаков в задачах классификации. Сибирский аэрокосмический журнал, 1: 18-31.
- Дрозин А.Ю. 2023. Генетический алгоритм построения маршрутов выполнения этапов работ в конвейерной системе. Системный администратор, 5 (246): 94-95
- Петросов Д.А., Зеленина А.Н. 2020. Модель искусственной нейронной сети для решения задачи управления генетическим алгоритмом с применением математического аппарата теории сетей Петри. Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 4(31).
- Сапрыкина А.О. 2022а. Настройка параметров эволюционных операторов генетического алгоритма для повышения эффективности поиска решения задачи. Современные научные исследования и инновации, 12 (141): 12-19.
- Сапрыкина А.О. 2022б. Эволюционные операторы и принцип работы генетического алгоритма. Современные научные исследования и инновации, 11 (139):34-41.
- Софронова Е.А. 2023. Вариационный генетический алгоритм и его применение к управлению транспортными потоками в городской среде. International Journal of Open Information Technologies, 4:3-13.
- Чеканин В.А., Куликова М.Ю. 2017. Адаптивная настройка параметров генетического алгоритма. Вестник МГТУ «Станкин», 3(42): 85-89.
- Шегай М.В., Попова Н.Н. 2023. Генетический алгоритм оптимизации путеводных деревьев. Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика, 1:54-61.
- Шишкова Н.А. 2017. Генетический алгоритм как метод оптимизации. Проблемы науки, 5(18): 28-30.

- Andriyanov N.A., Sluzhiviyi M.N. 2019. Solution for the problem of the parameters identification for autoregressions with multiple roots of characteristic equations. CEUR Workshop Proceedings, 2391:1-7.
- Hahn Y., Langer T., Meyes R., Meisen T. 2023. Time Series Dataset Survey for Forecasting with Deep Learning. Forecasting, 5: 315-335. <https://doi.org/10.3390/forecast5010017>
- Kalayc T.A., Asan U. 2022. Improving Classification Performance of Fully Connected Layers by Fuzzy Clustering in Transformed Feature Space. Symmetry, 14: 658. <https://doi.org/10.3390/sym14040658>
- Petrosov D.A., Lomazov V.A., Petrosova N.V. 2021. Model of an Artificial Neural Network for Solving the Problem of Controlling a Genetic Algorithm Using the Mathematical Apparatus of the Theory of Petri Nets. Applied Sciences, 11: 3899.
- Valerian G., Sutrisno T., Herwindiati D.E. 2020. Image clustering using genetic algorithm with tournament selection and uniform crossover. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. doi:10.1088/1757-899X/852/1/012043.
- Zhang J., Zhu F., Chen H. 2023. Two-Threshold-Variable Integer-Valued Autoregressive Model. Mathematics, 11: 3586. <https://doi.org/10.3390/math11163586>
- Zhang X., Zhong Z., Jianjun Z., Ting W., Wing W.Y. 2023. Robust recurrent neural networks for time series forecasting. Neurocomputing, 526: 143-157.

## References

- Andriyanov N.A. 2014. Diskretnye dvazhdy stohasticheskie avtoregressionnye modeli sluchajnyh polej. [Discrete doubly stochastic autoregressive random field models] Sovremennye problemy proektirovaniya, proizvodstva i ekspluatatsii radio-tekhnicheskikh sistem, 1(9): 69-71. (in Russian)
- Vasil'ev K.K. 2014. Avtoregressii s kratnymi kornyami harakteristicheskikh uravne-nij. [Autoregressions with multiple roots of characteristic equations] Radiotekhnika, 11: 74–78. (in Russian)
- Golyshin A.E. 2018. Nastrojka parametrov nechetkogo kontrollera s pomoshch'yu geneti-cheskogo algoritma pri upravlenii dinamicheskim ob»ektom. [Setting the parameters of a fuzzy controller using a genetic algorithm when controlling a dynamic object] Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki, 4(14): 21-23. (in Russian)
- Davronov SH. R. 2023. Obzor sovremennyh geneticheskikh algoritmov i ih primenenie na praktike. [Review of modern genetic algorithms and their application in practice] Molodoy uchenyj, 36 (483):15-18. (in Russian)
- Denisov M.A., Sopov E.A. 2021. Geneticheskij algoritm uslovnoj optimizatsii dlya proektirovaniya informativnyh priznakov v zadachah klassifikatsii. [Genetic algorithm of conditional optimization for designing informative features in classification problems] Sibirskij aerokosmiche-skij zhurnal, 1: 18-31. (in Russian)
- Drozin A.YU. 2023. Geneticheskij algoritm postroeniya marshrutov vypolneniya etapov rabot v konvejernoj sisteme.[ Genetic algorithm for constructing routes for performing work stages in a conveyor system] Sistemnyj administrator, 5 (246): 94-95 (in Russian)
- Petrosov D.A., Zelenina A.N. 2020. Model' iskusstvennoj nejronnoj seti dlya resheniya zadachi upravleniya geneticheskim algoritmom s primeneniem matematicheskogo apparata teorii se-tej Petri.[ Model of an artificial neural network for solving the problem of controlling a genetic algorithm using the mathematical apparatus of Petri net theory] Modelirovanie, optimizatsiya i informacionnye tekhnologii, 4(31) (in Russian)
- Saprykina A.O. 2022a. Nastrojka parametrov evolyucionnyh operatorov geneticheskogo algoritma dlya povysheniya effektivnosti poiska resheniya zadachi.[ Setting the parameters of evolutionary operators of a genetic algorithm to increase the efficiency of finding a solution to a problem] Sovremennye nauchnye issledo-vaniya i innovatsii, 12 (141): 12-19. (in Russian)
- Saprykina A.O. 2022b. Evolyucionnye operatory i princip raboty geneticheskogo algoritma. [Evolutionary operators and the principle of operation of the genetic algorithm] Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii, 11 (139):34-41. (in Russian)
- Sofronova E.A. 2023. Variacionnyj geneticheskij algoritm i ego primenenie k upravleniyu transportnymi potokami v gorodskoj srede.[ Variational genetic algorithm and its application to traffic management in an urban environment] International Journal of Open Information Technologies, 4:3-13. (in Russian)
- CHekanin V.A., Kulikova M.YU. 2017. Adaptivnaya nastrojka parametrov geneticheskogo algoritma. [Adaptive tuning of genetic algorithm parameters.] Vestnik MGTU «Stankin», 3(42): 85-89. (in Russian)

- SHegaj M.V., Popova N.N. 2023. Geneticheskij algoritm optimizacii putevodnyh derev'ev. [Genetic algorithm for optimizing guiding trees] Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 15: Vychislitel'naya matematika i kibernetika, 1:54-61. (in Russian)
- SHishkova N.A. 2017. Geneticheskij algoritm kak metod optimizacii. [Genetic algorithm as an optimization method] Problemy nauki, 5 (18): 28-30. (in Russian)
- Andriyanov N.A., Sluzhiviyi M.N. 2019. Solution for the problem of the parameters identification for autoregressions with multiple roots of characteristic equations. CEUR Workshop Proceedings, 2391:1-7.
- Hahn Y., Langer T., Meyes R., Meisen T. 2023. Time Series Dataset Survey for Forecasting with Deep Learning. Forecasting, 5: 315-335. <https://doi.org/10.3390/forecast5010017>
- Kalayc T.A., Asan U. 2022. Improving Classification Performance of Fully Connected Layers by Fuzzy Clustering in Transformed Feature Space. Symmetry, 14: 658. <https://doi.org/10.3390/sym14040658>
- Petrosov D.A., Lomazov V.A., Petrosova N.V. 2021. Model of an Artificial Neural Network for Solving the Problem of Controlling a Genetic Algorithm Using the Mathematical Apparatus of the Theory of Petri Nets. Applied Sciences, 11: 3899.
- Valerian G., Sutrisno T., Herwindiati D.E. 2020. Image clustering using genetic algorithm with tournament selection and uniform crossover. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. doi:10.1088/1757-899X/852/1/012043.
- Zhang J., Zhu F., Chen H. 2023. Two-Threshold-Variable Integer-Valued Autoregressive Model. Mathematics, 11: 3586. <https://doi.org/10.3390/math11163586>
- Zhang X., Zhong Z., Jianjun Z., Ting W., Wing W.Y. 2023. Robust recurrent neural networks for time series forecasting. Neurocomputing, 526: 143-157.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 14.11.2023

Received November 14, 2023

Поступила после рецензирования 02.12.2023

Revised December 02, 2023

Принята к публикации 04.12.2023

Accepted December 04, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Петросов Давид Арегович**, кандидат технических наук, доцент, доцент департамента анализа данных и машинного обучения, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

**David A. Petrosov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

**Андрьянов Никита Андреевич**, кандидат технических наук, доцент департамента анализа данных и машинного обучения, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

**Nikita A. Andriyanov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

**Алюнов Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент департамента анализа данных и машинного обучения, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

**Alexander N. Alyunov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Data Analysis and Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

**Нежданов Евгений Валерьевич**, заместитель директора Центра компетенций «Цифровая экономика», Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, Россия

**Evgeniy V. Nezhdanov**, Deputy Director of the Digital Economy Competence Center, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

# ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 004.716

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-936-943

## Оценка импульсной характеристики канала связи на основе ортогонального субполосного базиса

<sup>1</sup> Урсол Д.В., <sup>2</sup> Болгова Е.В.

<sup>1</sup> ООО «Промышленные электронные системы»,

Россия, 308000, г. Белгород, Михайловское шоссе, 121а

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

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

E-mail: ursoldenis@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается метод оценки импульсной характеристики канала связи на основе сигнально-кодовых конструкций (СКК), сформированных с помощью ортогонального субполосного базиса. Ортогональный базис состоит из собственных векторов субполосной матрицы, рассчитанной для заданного диапазона частот с минимальным уровнем внеполосного излучения. Для ортогонального базиса отбираются собственные вектора, собственные числа которых близки или равны единице. Оценка импульсной характеристики канала основана на решении системы линейных уравнений, где передаваемая информация заведомо известна. Метрикой эффективности предложенного метода выступает среднеквадратическое отклонение между полученной оценкой и применяемым искажением.

**Ключевые слова:** импульсная характеристика, преобразование Фурье, свертка, ортогональный субполосный базис, обратная матрица, псевдо-обратная матрица, среднеквадратическое отклонение, нелинейные искажения

**Для цитирования:** Урсол Д.В., Болгова Е.В. 2023. Оценка импульсной характеристики канала связи на основе ортогонального субполосного базиса. Экономика. Информатика, 50(4): 936–943. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-936-943

## Estimation the Impulse Response of a Wireless Channel Using an Orthogonal Subband Basis

<sup>1</sup> Denis V. Ursol, <sup>2</sup> Evgeniya V. Bolgova

<sup>1</sup> Industrial Electronic Systems LLC,

121a Mikhailovskoe shosse, Belgorod, 308000, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University,

85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: ursoldenis@mail.ru

**Abstract.** The article discusses a method for estimating the impulse response of a communication channel based on signal-code structures formed using an orthogonal subband basis. The orthogonal basis consists of eigenvectors of a subband matrix calculated for a given frequency range with a minimum level of out-of-band radiation. For an orthogonal basis, eigenvectors are selected whose eigenvalues are close to or equal to one. Estimation of the channel impulse response is based on solving a system of linear equations, where the transmitted information is known. Since out-of-band emission is minimal, this basis is optimal for channel estimation. The orthogonality of the vectors and their occupation of the entire frequency range allows the

use of only one pilot signal to estimate the impulse response of the entire channel. The effectiveness metric of the proposed method is the standard deviation between the obtained estimate and the applied distortion. The experimental results show the effectiveness of the developed method for estimating the impulse response of a channel in the presence of different levels of Additive white Gaussian noise (AWGN).

**Keywords:** impulse response, Fourier transform, convolution, orthogonal subband basis, inverse matrix, pseudo-inverse matrix, standard deviation, nonlinear distortion

**For citation:** Ursol D.V., Bolgova E.V. 2023. Estimation the Impulse Response of a Wireless Channel

## Введение

В любой системе связи прохождение сигнально-кодовой конструкции через канал связи подвержен амплитудно-фазовым искажениям. Если канал является беспроводным, то данная проблема возникает в результате многолучевого распространения сигнала, движения источника или приемника, изменения окружающей обстановки. Нелинейные искажения в тракте передачи могут быть представлены как результат свертки сигнала с импульсной характеристикой канала передачи. Получив такую оценку импульсной характеристики, возможно ее компенсировать на передающей или приемной стороне, тем самым увеличить вероятность верного декодирования информации вне зависимости от искажения в канале. Однако для этого необходимо получить оценку импульсной характеристики как можно точнее. В современных системах оценка канала происходит с помощью пилот и зондирующих сигналов. Это является технической информацией, что снижает эффективную скорость передачи всей системы в целом. Поиск метода оценки импульсной характеристики канала связи с максимальной точностью и минимальными потерями в пропускной способности является актуальной задачей. В данной статье предлагается использовать субполосный базис для получения оценки импульсной характеристики канала.

## Метод оценки канала

Пусть математическая модель прохождения сигнально-кодовой конструкции через канал связи принимает вид:

$$\tilde{x}(\vec{e}, t) = x(\vec{e}, t) \otimes h(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где  $h(t)$  – импульсная характеристика канала, зависящая от времени, т.е. подразумевается изменчивость в результате движения абонента или появление новых препятствий на пути распространения электро-магнитной волны,  $\otimes$  – оператор свертки,  $\varepsilon(t)$  – аддитивный гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием,  $\vec{e} = (\dot{e}_1, \dots, \dot{e}_J) = (a_1 + b_1 i, \dots, a_J + b_J i) \in \mathbb{C}, i = \sqrt{-1}$  – информационный вектор.

При этом положим, что энергия передаваемого информационного символа не меняется:

$$\|\dot{e}_k\|^2 = e_k \cdot e_k^* = E = \text{const}, k = 1, \dots, J, \quad (2)$$

где  $k$  – индекс элемента информационного вектора,  $J$  – количество передаваемых информационных символов.

Формирование сигнально-кодовой конструкции осуществляется согласно выражению:

$$x(\vec{e}, t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(\vec{e}) \cdot q_n(t) \quad (3)$$

или в векторной форме



$$x(\vec{e}, t) = Q(t) \cdot f(\vec{e}) \quad (4)$$

$$Q(t) = (\vec{q}_1(t), \vec{q}_2(t), \dots, \vec{q}_J(t)),$$

где  $f()$  – функция кодирования информационного символа т.е. имеет место BPSK или QAM манипуляция,  $Q(t)$  – комплексный ортогональный базис в заданных полосах частот, собственные функции которого рассчитаны из комплексного субполосного ядра вида:

$$C_0(t - \tau) = \begin{cases} \sum_{m=1}^M \frac{e^{j\nu_{1m}(t-\tau)} - e^{j\nu_{2m}(t-\tau)}}{-2j\pi(t-\tau)}, & t \neq \tau \\ \sum_{m=1}^M \frac{|\nu_{2m} - \nu_{1m}|}{2\pi}, & t = \tau \end{cases} \quad (5)$$

Собственные функции выбраны согласно с максимальным значением соответствующих собственных чисел.

После преобразования Фурье распределение энергии такого вектора будет иметь вид:

$$Q_n(\omega) = \int_0^T q_n(t) e^{-j\omega t} dt, n = 1, \dots, J, \quad (6)$$

$$H(\omega) = \int_0^T h(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (7)$$

Поскольку значение соответствующего собственного числа показывает долю энергии за пределами заданного диапазона выделенных полос, то справедливо выражение:

$$Q_n(\omega) = \begin{cases} \int_0^T q_n(t) e^{-j\omega t} dt, \omega \in \Delta\nu \\ 0, \omega \notin \Delta\nu \end{cases}, n = 1, \dots, J \quad (8)$$

$$1 \geq \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \dots > 0$$

$$\Delta\vec{\nu} = (\nu_1, \dots, \nu_m) = (2\pi\Delta f_1, \dots, 2\pi\Delta f_m), \Delta f_m = f_{2m} - f_{1m}, f_{2m} > f_{1m}, m = 1 \dots M$$

где  $M$  – количество частотных интервалов,  $f_{2m}, f_{1m}$  верхняя и нижняя границы частотных интервалов.

Импульсная характеристика будет минимально воздействовать на сигнал вне заданного набора диапазонов частот. Учитывая свойство трансформант Фурье, можно записать СКК после прохождения канала в частотной области:

$$Q_n(\omega) \cdot H(\omega) = \begin{cases} Q_n(\omega) \cdot H(\omega), \omega \in \Delta\nu \\ 0 \cdot H(\omega), \omega \notin \Delta\nu \end{cases}, n = 1, \dots, J \quad (9)$$

$$\tilde{x}(\vec{e}, t) = \sum_{n=1}^J (f_n(\vec{e}) \cdot q_n(t)) \otimes h(t) + \varepsilon(t) \quad (10)$$

$$\tilde{x}(\vec{e}, t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^J \int_{\omega \in \Delta\nu_m} (E_n \cdot Q_n(\omega) \cdot H(\omega) + \sigma(\omega)) e^{j\omega t} d\omega \quad (11)$$

Из этого следует, что импульсная характеристика канала оказывает воздействие на сигнально-кодовые конструкции только в заданном диапазоне частот и позволяет составить систему уравнений:

$$X(\vec{e}, \omega) \cdot H(\omega) + \sigma(\omega) = \begin{cases} E_1 \cdot Q_1(\omega_1) \cdot H(\omega_1) + E_2 \cdot Q_2(\omega_1) \cdot H(\omega_1) + E_n \cdot Q_n(\omega_1) \cdot H(\omega_1) + \sigma(\omega_1) \\ E_1 \cdot Q_1(\omega_2) \cdot H(\omega_2) + E_2 \cdot Q_2(\omega_2) \cdot H(\omega_2) + E_n \cdot Q_n(\omega_2) \cdot H(\omega_2) + \sigma(\omega_2) \\ \dots \\ E_1 \cdot Q_1(\omega_k) \cdot H(\omega_k) + E_2 \cdot Q_2(\omega_k) \cdot H(\omega_k) + E_n \cdot Q_n(\omega_k) \cdot H(\omega_k) + \sigma(\omega_k) \end{cases},$$

где  $n = 1, \dots, J$  индекс передаваемых символов,  $\omega_k \in \omega, k = 1, \dots, K$  круговая частота, на которой требуется найти импульсную характеристику.

Представим систему уравнений через матрицу коэффициентов:

$$A = \begin{pmatrix} E_1 \cdot Q_1(\omega_1) \cdot H(\omega_1) + \sigma(\omega_1) / J, \dots, E_n \cdot Q_n(\omega_1) \cdot H(\omega_1) + \sigma(\omega_1) / J \\ E_1 \cdot Q_1(\omega_2) \cdot H(\omega_2) + \sigma(\omega_2) / J, \dots, E_n \cdot Q_n(\omega_2) \cdot H(\omega_2) + \sigma(\omega_2) / J \\ \dots \\ E_1 \cdot Q_1(\omega_k) \cdot H(\omega_k) + \sigma(\omega_k) / J, \dots, E_n \cdot Q_n(\omega_k) \cdot H(\omega_k) + \sigma(\omega_k) / J \end{pmatrix}. \quad (12)$$

$$A = \{a_{kn}\}, n = 1 \dots J, \omega_k \in \omega, k = 1, \dots, K$$

$$a_{kn} = \{E_n \cdot Q_n(\omega_k) \cdot H(\omega_k) + \sigma(\omega_k) / J\} \quad (13)$$

Для возможности решить систему уравнений, обязательно должно выполняться условие:

$$K \geq J. \quad (14)$$

Коэффициенты  $E_n, Q_n(\omega_k)$  известны из уравнений (2) и (8) соответственно.

Поскольку у матрицы не может быть больше собственных векторов, чем ее размерность, то условие всегда выполняется. Вектор столбец трансформант Фурье вектора СКК после канала связи представим в виде:

$$B = \begin{pmatrix} \tilde{X}(\vec{e}, \omega_1) \\ \tilde{X}(\vec{e}, \omega_2) \\ \dots \\ \tilde{X}(\vec{e}, \omega_k) \end{pmatrix}. \quad (15)$$

В матричном виде СКК после прохождения канала связи без аддитивного Гауссовского шума примет вид:

$$A \cdot |H(\omega)| = B. \quad (16)$$

Тогда нахождение спектра импульсной характеристики канала связи:

$$|H(\omega)| = A^{-1} \cdot B, \quad (17)$$

где  $A^{-1}$  – обратная матрица. Однако из условия (14) возможно, что матрица  $A$  не будет квадратной и тогда решение будет через псевдообратную матрицу:

$$|H(\omega)| = A^+ \cdot B = (A^* A)^+ A^* \cdot B, \quad (18)$$

из которой можно получить оценку импульсной характеристики канала

$$\tilde{h}(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^J \int_{\omega \in \Delta \nu_m} |H(\omega)| e^{j\omega t} d\omega. \quad (19)$$

### Вычислительный эксперимент

Максимальное соответствие будет достигаться при условии выбора и использования комплексных ортогональных функций с максимальным собственным числом и при минимальном уровне аддитивного гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием.

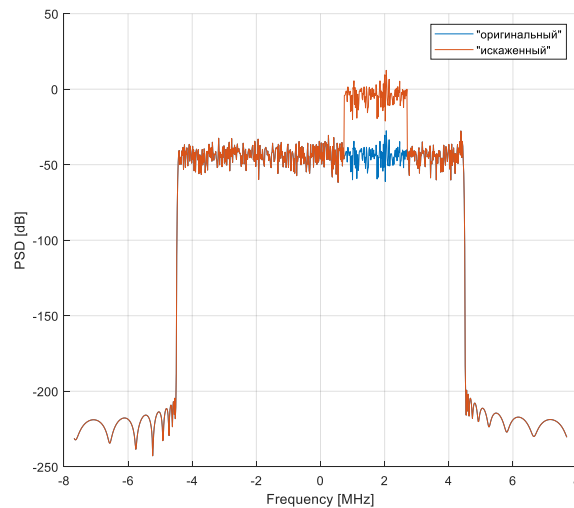


Рис. 1. Искажение сигнала в синтетическом канале связи  
Fig. 1. Signal distortion in a synthetic communication channel

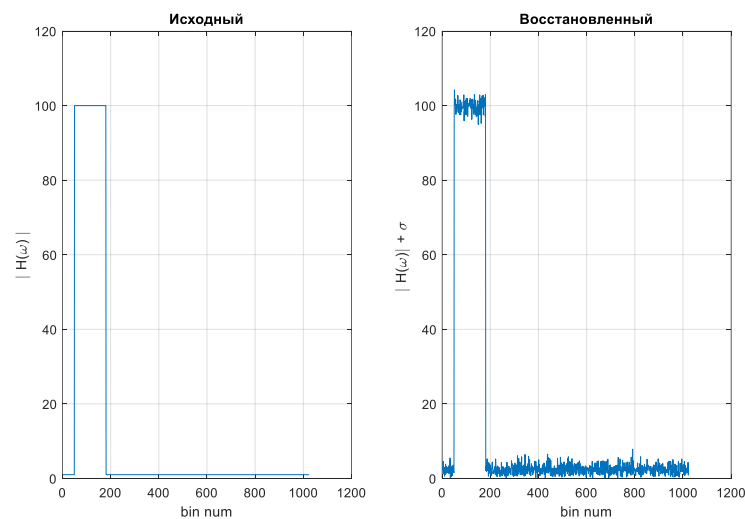


Рис. 2. Исходная и восстановленная амплитудно-частотная характеристика канала с уровнем аддитивного шума 10дБ  
Fig. 2. Original and reconstructed amplitude-frequency response of a channel with an additive noise level of 10 dB

В таблице представлены результаты вычислительных экспериментов по оценке среднеквадратического отклонения амплитудно-частотных характеристик различного вида с наличием аддитивного шума, где  $|H_1(\omega)|$  – прямоугольный вид (Рис.2),  $|H_2(\omega)|$  – монотонно возрастающий,  $|H_3(\omega)|$  – случайный вид.

Таблица 1  
Table 1

Среднеквадратическое отклонение амплитудно-частотных характеристик  
различного вида с наличием аддитивного шума  
Mean square error of amplitude-frequency characteristics  
of various types with additive noise

Соотношение сигнал/шум (дБ)	$ H_1(\omega) $	$ H_2(\omega) $	$ H_3(\omega) $
-10	538.7281	78759.8996	0.453656
-5	168.1956	26023.7499	0.161660
0	47.0822	7654.2331	0.048871
5	13.5875	2519.8999	0.014455
10	3.4596	788.2748	0.004780
15	0.9005	249.1105	0.001561
20	0.2786	83.2765	0.000472
25	0.1022	25.1078	0.000160
30	0.0323	8.4347	0.000045

Из таблицы видно, что основной вклад в ошибку оценки импульсной характеристики вносит аддитивный Гауссовский шум. Аналогичные результаты достигаются с другим амплитудно-частотными характеристиками искажающего канала связи.

### Заключение

Каждая собственная функция позволяет получить оценку частотно-амплитудной характеристики канала связи. Использование одной собственной функции в качестве одного пилот сигнала для повышения эффективной скорости передачи, является предметом дальнейших исследований.

Полученную оценку можно использовать на приемной стороне для предварительного выравнивания частотного спектра СКК и на передающей стороне, использовав ее обратную функцию для предварительного искажения передаваемого сигнала.

### Список литературы

- Ермолаев В.Т., Флакман А.Г. 2011. Теоретические основы обработки сигналов в беспроводных системах связи: Монография. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского. – 368 с.
- Жияков Е.Г., Урсол Д.В., Магергут В.З. 2012. Разработка нового способа формирования сигналов для систем доступа к широкополосным мультимедийным услугам. Научные ведомости БелГУ. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. №19-1 (138), с. 207-211
- Урсол Д.В. 2012. Метод обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций при субполосной передаче информации. Дис. канд. техн. наук: 05.13.17 – Теоретические основы информатики. Белгород.
- Урсол Д.В. 2021. О помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций для систем интернет вещей. Экономика. Информатика. 48(4): 822-830.

- Урсол Д.В. 2022. Сигнально-кодовые конструкции для передачи информации с минимальной межканальной интерференцией. Экономика. Информатика. 48(4): 854-862
- 3GPP TS 36.141. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Conformance Testing. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network. URL: <https://www.3gpp.org>.
- Halperin D. 2010. 802.11 with Multiple Antennas for Dummies, ACM SIGCOMM Comp. Commun. Rev., vol. 40, Jan., pp. 19–25
- Khaled M. Gharaibeh 2012. Nonlinear distortion in wireless systems: modeling and simulation with MATLAB, IEEE, pp.341-346
- Lin Y. P., Tseng P.H., Feng K.T. 2014. Compressive sensing based location estimation using channel impulse response measurements. IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC), Washington, DC, USA, pp. 2066-2070
- Lv X., Li Y., Wu Y., Liang H. 2020. Kalman filter based recursive estimation of slowly fading sparse channel in impulsive noise environment for OFDM systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, no. 3, pp. 2828-2835
- Maas D., Firooz M.H., Zhang J., Patwari N., Kasera S.K. 2012. Channel Sounding for the Masses: Low Complexity GNU 802.11b Channel Impulse Response Estimation. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, January 2012
- Salous S. 2013. Data Analysis in Radio Propagation Measurement and Channel Modelling. Wiley, pp. 255-336.
- Talebi F., Pratt T. 2016. Channel sounding and parameter estimation for a wideband correlation-based MIMO model. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 2, pp. 499-508.
- Tkac A., Wieser V. 2014. Channel estimation using measurement of channel impulse response. 2014 ELEKTRO, Rajecke Teplice, Slovakia, pp. 113-117
- Zhang J., Kountouris M., Andrews J.G., Heath R. W. 2011. Multi-mode transmission for the MIMO broadcast channel with imperfect channel state information. Communications, IEEE Transactions on, vol. S9, no.3, pp.803-814

## References

- Ermolaev V.T., Flaxman A.G. 2011. Theoretical foundations of signal processing in wireless communication systems: Monograph. Nizhny Novgorod: Publishing house of Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky. – 368 p.
- Zhylyakov E.G., Ursol D.V., Magergut V.Z. 2012. Development of a new method of forming signals for access to broadband multimedia services. Belgorod State University Scientific Bulletin. Series History. Political science. Economics. Information technologies. №19-1 (138), pp. 207-211
- Ursol D.V. 2012. Metod obespechenija pomehoustojchivosti informacionnyh kommunikacij pri subpolosnoj peredache informacii [The method of ensuring noise immunity of information communications in the subband transmission of information]: dis. cand. tech. sciences: 05.13.17 - Theoretical foundations of computer science. Belgorod.
- Ursol D.V. 2021. About noiseimmunity of signal-code structures for internet of things. Economics. Information technologies. 48(4): 822-830.
- Ursol D.V. 2022. Signal-code structures for information transmission with minimal adjacent channel interference. Economics. Information technologies. 49(4): 854-862
- 3GPP TS 36.141. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Conformance Testing. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network. URL: <https://www.3gpp.org>.
- Halperin D. 2010. 802.11 with Multiple Antennas for Dummies, ACM SIGCOMM Comp. Commun. Rev., vol. 40, Jan., pp. 19–25
- Khaled M. Gharaibeh 2012. Nonlinear distortion in wireless systems: modeling and simulation with MATLAB, IEEE, pp.341-346
- Lin Y.P., Tseng P.H., Feng K.T. 2014. Compressive sensing based location estimation using channel impulse response measurements. IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC), Washington, DC, USA, pp. 2066-2070
- Lv X., Li Y., Wu Y., Liang H. 2020. Kalman filter based recursive estimation of slowly fading sparse channel in impulsive noise environment for OFDM systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, no. 3, pp. 2828-2835

- Maas D., Firooz M.H., Zhang J., Patwari N., Kasera S. K. 2012. Channel Sounding for the Masses: Low Complexity GNU 802.11b Channel Impulse Response Estimation. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, January 2012.
- Salous S. 2013. *Data Analysis in Radio Propagation Measurement and Channel Modelling*. Wiley, pp.255-336.
- Talebi F., Pratt T. 2016. Channel sounding and parameter estimation for a wideband correlation-based MIMO model. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 2, pp. 499-508.
- Tkac A., Wieser V. 2014. Channel estimation using measurement of channel impulse response. 2014 ELEKTRO, Rajecke Teplice, Slovakia, pp. 113-117
- Zhang J., Kountouris M., Andrews J.G., Heath R.W. 2011. Multi-mode transmission for the MIMO broadcast channel with imperfect channel state information. *Communications, IEEE Transactions on*, vol. S9, no.3, pp.803-814

**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 06.11.2023

Received November 06, 2023

Поступила после рецензирования 21.11.2023

Revised November 21, 2023

Принята к публикации 01.12.2023

Accepted December 01, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Урсол Денис Владимирович**, кандидат технических наук, инженер-программист, ООО «Промышленные электронные системы», г. Белгород, Россия

**Denis V. Ursol**, Candidate of Technical Sciences, software engineer, Industrial Electronic Systems LLC, 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 Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 623.76

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-944-954

## **Автоматическое обнаружение гнева и агрессии в речевых сигналах**

<sup>1</sup> Балабанова Т.Н., <sup>2</sup> Абрамов К.В., <sup>3</sup> Болдышев А.В., <sup>4</sup> Долбин Д.М.

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

<sup>2</sup> Московский технический университет связи и информатики,  
Россия, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8

<sup>3</sup> Белгородский филиал ПАО Ростелеком,  
Россия, 308009, г. Белгород, просп. Б-Хмельницкого, д. 81

<sup>4</sup> Белгородский университет кооперации, экономики и права  
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, д. 116а  
E-mail: sozonova@bsu.edu.ru, kirya\_abramov\_2002@bk.ru,  
Aleksei\_Boldyshev@center.rt.ru, DolbinDM@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос обнаружения гнева и агрессии в речевом сигнале. Рассмотрены принципиальные отличия гнева от агрессии. Проведен обзор решений распознавания деструктивного поведения в виде гнева и агрессии по речевому сигналу, представленных в различных современных публикациях. Рассмотрены основные методы классификации, используемые для решения задачи распознавания эмоций по речи. Проанализировано информационное обеспечение в виде русскоязычных и нерусскоязычных речевых баз данных, применяемых для тренировки моделей при распознавании эмоций. Сформулированы основные проблемы использования речевых баз данных. Рассмотрен вопрос выбора параметров речевого сигнала, используемых для классификации эмоций в общем и деструктивном поведении в частности. Реализовано распознавание гнева на русскоязычной базе данных Dusha с использованием двух подходов тремя методами классификации.

**Ключевые слова:** речевые данные, речевые базы данных, классификация, методы классификации, низкоуровневые дескрипторы, распознавание гнева, распознавание агрессии

**Для цитирования:** Балабанова Т.Н., Абрамов К.В., Болдышев А.В., Долбин Д.М. 2023. Автоматическое обнаружение гнева и агрессии в речевых сигналах. Экономика. Информатика, 50(4): 944-954. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-944-954

---

## **Automatic Detection of Anger and Aggression in Speech Signals**

<sup>1</sup> Tatiana N. Balabanova, <sup>2</sup> Kirill V. Abramov, Alexey V. Boldyshev, Dmitry M. Dolbin

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University,  
85 Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup> Moscow Technical University of Communication and Informatics,  
8 Aviamotornaya Str, Moscow, 111024, Russia

<sup>3</sup> Belgorod branch of PJSC Rostelecom,  
81 B-Khmelnitsky Av., Belgorod, 308009, Russia

<sup>4</sup> Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,  
116a Sadovaya str., Belgorod, 308023, Russia  
E-mail: sozonova@bsu.edu.ru, kirya\_abramov\_2002@bk.ru,  
Aleksei\_Boldyshev@center.rt.ru, DolbinDM@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the issue of detecting anger and aggression in a speech signal. The fundamental differences between anger and aggression are considered. A review of solutions for

recognizing destructive behavior in the form of anger and aggression using a speech signal, presented in various modern publications, was carried out. The main classification methods used to solve the problem of recognizing emotions from speech are considered. Information support in the form of Russian-language and non-Russian-language speech databases used to train models for recognizing emotions is analyzed. The main problems of using speech databases are formulated. The issue of choosing speech signal parameters used to classify emotions in general and destructive behavior in particular is considered. Implemented anger recognition on the Russian-language Dusha database using two approaches and three classification methods.

**Keywords:** speech data, speech databases, classification, classification methods, low-level descriptors, anger recognition, aggression recognition

**For citation:** Balabanova T.N., Abramov K.V., Boldyshev A.V., Dolbin D.M. 2023. Automatic Detection of Anger and Aggression in Speech Signals. Economics. Information technologies, 50 (4): 944-954 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-944-954

## Введение

В настоящее время решение задачи распознавания эмоций человека по речевому сигналу является довольно востребованной в различных областях жизнедеятельности человека. Распознавание эмоций и других невербальных проявлений в речевом сигнале осуществляется посредством паралингвистического анализа. То есть, паралингвистика рассматривает речь с точки зрения того, как она произносится, а не того, что конкретно произносится. Так, системы паралингвистического анализа речи используются для определения удовлетворенности клиентов в колл-центрах с целью определения вероятности ложных сообщений в банковских системах и приеме на работу. Относительно новой областью является использование паралингвистического анализа речи для обеспечения безопасности. С этой точки зрения обнаружение деструктивного поведения человека по речи может быть востребовано в различных сферах, например, обнаружение гнева или агрессии в колл-центрах (как со стороны оператора, так и со стороны клиента); на предприятиях (особенно стратегического направления); в торговых центрах, автовокзалах, аэропортах и даже просто на улице. Следует отметить, что использование аудиоаналитики является менее дорогостоящим по отношению к применению видеоаналитики. Стоимость микрофона меньше, чем камер видеонаблюдения. К тому же дополнительное использование аудиоаналитики позволит более эффективно осуществлять распознавание деструктивного поведения, выражающегося в виде гнева или агрессии.

Под агрессией в психологии понимается деструктивное поведение, которое может привести к физическому насилию и причинению вреда как себе, так и окружающим. При агрессивном поведении человек является мотивированным и, как правило, считает, что он поступает обоснованно и верно. В работе [Кажберова, Чхартишвили, Губанов, Козицин, Белявский, Федянин, Черкасов, Мешков, 2023] дано следующее определение агрессии: агрессия – специфическая форма речевого поведения (в том числе в письменной речи), которая мотивирована аффективным состоянием говорящего. По классификации Басса существуют различные формы агрессивного поведения [Buss, 1957]. В первом приближении Басс выделяет активную и пассивную агрессию, каждая из которых, в свою очередь, делится на физическую и вербальную. Нанесение оскорблений, злословие относится по классификации Басса к вербальной активной агрессии, которая зачастую предшествует физической активной агрессии. Поэтому обнаружение агрессии в речи человека представляется важным с точки зрения предотвращения физического проявления агрессии.

Следует отметить, что очень часто рассматривают как синоним понятия «гнев» и «агрессия». Однако гнев представляет собой эмоцию, которая возникает при сильном недовольстве и может выражаться в виде раздражения, злости, ярости. Агрессия – представляет собой результат гнева, выраженный в активном действии. То есть, гнев – это тип чувства, тогда как агрессия – это тип поведения.



### Современное состояние вопроса

Поэтому при разработке систем обнаружения агрессии по речевому сигналу представляется целесообразным также рассматривать задачу распознавания гневных высказываний как возможных предшественников проявления агрессии.

Разработка паралингвистических систем обнаружения деструктивного поведения по речи ведется сравнительно недавно и довольно сложно оценить качество предложенных решений, поскольку разработчики, зачастую, не предоставляют полную информацию о своих решениях, а также методах и способах тестирования своих систем. Как правило, информация ограничивается новостными анонсами, рекламой и общими фразами о работе алгоритма. Однако для полноты картины рассмотрим некоторые решения, представленные в различных публикациях.

Технология SaluteSpeech от Сбербанка. Данная технология, помимо распознавания речи, анонсирует возможность распознавания эмоций по речевому сигналу. Разделение эмоций осуществляется на позитивную, нейтральную, негативную.

Компания Louroe, известная в области аудионаблюдения совместно с Sound Intelligence разработала программный продукт, который помимо взрывов, разбитого стекла и автомобильной сигнализации способен распознать агрессию в голосе человека.

Проект «AudioAnalytics», который разрабатывается в Великобритании, позволяет получить аналитику аудиосигнала и определить по ней тревожные события в виде сигнализации автомобиля, разбивающегося стекла, выстрела, крика.

Российская система аудиоаналитики «SistemaSarov» позволяет по аудиопотоку выделять артефакты и осуществлять их предварительную классификацию по уровню тревожности.

Таким образом, в настоящее время существует потребность в разработке и исследовании методов, алгоритмов и создании систем распознавания деструктивного поведения в виде гнева и агрессии по речевому сигналу.

Задача распознавания гнева и агрессии относится к задаче классификации по определенным признакам. В настоящее время задача классификации может решаться двумя группами методов: классические методы и нейросетевые (рисунок 1).

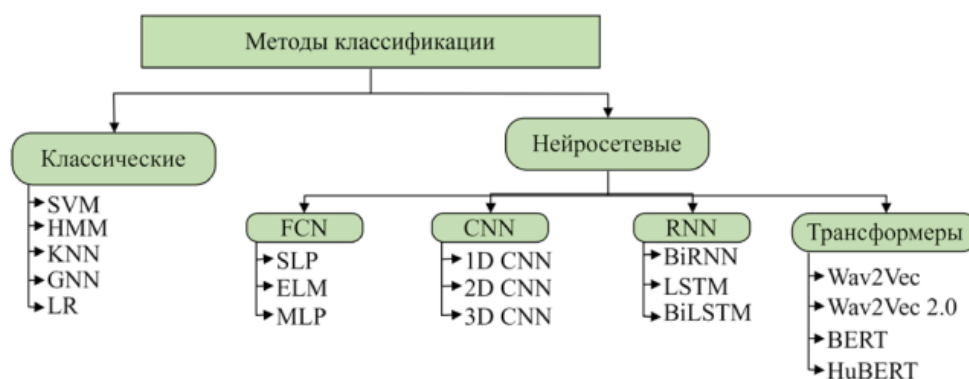


Рис. 1. Методы классификации

Fig. 1. Classification methods

Для распознавания эмоций человека (в том числе агрессию и гнев) по речевому сигналу чаще всего используются такие классические методы, как:

- метод k-ближайших соседей (K-Nearest Neighbor, KNN) [Dellaert, Polzin, Waibel, 1996];
- обобщённый метод моментов (Generalized Method of Moments, GMM) [Neiberg, Elenius, Laskowski, 2006];
- метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) [Schuller, Batliner, Bergler, 2021];

- случайный лес (Random forest, RF);
- стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD);
- скрытые марковские модели (англ. Hidden Markov Model, HMM) [Nogueiras, Moreno, Bonafonte, 2001];
- линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis, LDA) (Рисунок 1).

Данные методы неплохо зарекомендовали себя в решении задачи классификации и до сих пор используются для классификации эмоций человека по речевым данным. В качестве недостатка классических методов можно указать достаточно долгое обучение при использовании большого объема данных. Однако для распознавания агрессии классические методы классификации могут быть эффективно использованы ввиду небольшого количества речевого материала агрессии в имеющихся в настоящее время речевых базах данных.

Нейросетевые методы классификации при решении задач паралингвистики и распознавания деструктивного поведения по речевому сигналу зарекомендовали себя с положительной стороны. Первоначально использовались полносвязные нейронные сети (англ. Fully Connected Network, FCN) в виде однослойного (англ. Single-Layer Perceptron, SLP) [Raudys, 2003] и многослойного (англ. MultiLayer Perceptron, MLP) [Kruse, Borgelt, Klawonn, 2022] перцептрона. При появлении глубоких нейронных сетей (англ. Deep Neural Networks, DNN) [Sainath, Vinyals, Senior, 2015] многие паралингвистические разработки стали базироваться на них. В настоящее время широкое распространение в области паралингвистики получили архитектуры, основанные на сверточных (англ. Convolutional Neural Networks, CNN) и рекуррентных (англ. Recurrent Neural Networks, RNN) нейронных сетях [Kim, Truong, Englebienne, 2017].

### Информационное обеспечение

Одной из задач, при разработке систем распознавания деструктивного поведения в виде агрессии и гнева по речевому сигналу, является выбор информационного обеспечения в виде баз речевых данных. В настоящее время существует большое количество баз данных для распознавания эмоций по речевому сигналу на разных языках. Однако хочется заметить, что русскоязычных речевых баз данных для паралингвистического анализа не так много. В частности, имеется три базы данных: RAMAS, RUSLANA, Dusha.

База речевых данных RAMAS [Perepelkina, Kazimirova, Konstantinova, 2018]. Названная база речевых данных была получена в лабораторных условиях путем записи (как аудио модальности, так и видео) игры актеров. Всего в формировании базы участвовали пять пар актеров (50% – женщины, 50% – мужчины). Разметка эмоций по времени осуществлялась 21 экспертом с учетом мнения актеров о своем эмоциональном состоянии. База данных содержит 581 запись общей длительностью 7 часов. Разделение осуществляется по 7 эмоциям: гнев, печаль, отвращение, счастье, страх, удивление, нейтральное состояние.

База данных аффективной речи на русском языке RUSLANA. Эта база данных, как и RAMAS, была создана в лабораторных условиях. В ее создании принимали участие 61 человек (12 мужчин, 49 женщин). Каждый из дикторов прочитал 10 предложений, изображающих следующие эмоции: удивление, счастье, гнев, печаль, страх, нейтральное состояние. Всего в базе 3660 записей.

Самый большой открытый датасет для распознавания эмоций в устной речи на русском языке Dusha. Данная база данных состоит из 300000 аудиозаписей. Общая длительность 350 часов. База разделена на две части: Crowd – часть аудиоданных, полученная лабораторно путем имитации эмоции дикторами; Podcast – часть, полученная из реальных разговоров. Разделение эмоций осуществляется на 4 класса: позитив, грусть, злость/раздражение (гнев), нейтраль.

Несложно заметить, что с использованием русскоязычных баз речевых данных можно проводить обучение системы и в принципе эксперименты только по распознаванию таких деструктивных эмоций, как злость и гнев. Распознавание агрессии, как крайней формы проявления гнева или злости, по русскоязычным базам данных не представляется возможным.

Базы данных, используемые для обучения и тестирования систем распознавания агрессии, являются многомодальными и содержат помимо речевой информации визуальную. Основные характеристики баз данных для распознавания агрессии приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Базы данных агрессивного поведения  
Databases of aggressive behavior

Название	Объем данных, часов	Кол-во записей	Уровни	Кол-во дикторов	Язык
TR	0,6	н/и	3 уровня агрессии	н/и	Нидерландский
SD	0,5	8	3 уровня агрессии 5 уровней стресса	9	Английский нидерландский
NAA	Н/и	2240	5 уровней агрессии, страха, интенсивности 9 уровней валентности	16	Нидерландский

Материалы баз данных TR [Lefter, Rothkrantz, Burghouts, 2011] и SD [Lefter, Burghouts, Rothkrantz, 2014] являются натурными, а базы NAA [Lefter, Jomker, Tuente, 2017] лабораторными. Но во всех трех базах эмоции являются спонтанными, не наигранными. Однако при использовании этих баз данных основными проблемами являются следующие:

- нельзя быть точно уверенным, что представленный фрагмент речи относится к агрессивному поведению, так как часто даже эксперты-разметчики баз путают агрессию с гневом или злостью;

- при обучении и тестировании системы на нидерландском или английском языке нельзя быть уверенным, что качество ее работы не упадет при распознавании агрессии по русскоязычной речи, так как в работах [Makarova, 2000] указано, что выражение эмоций на русском языке имеет как универсальные, так и специфические черты выражения эмоций и аффектов.

### Выбор параметров и распознавание гнева

Еще одной важной задачей при паралингвистическом анализе является выбор параметров. Для паралингвистического анализа используются различные акустические признаки речевого сигнала, которые можно разделить на два класса: экспертные и нейросетевые. В данной работе используются экспертные акустические признаки. Для общего описания фраз, а не отдельных фонем или слогов в паралингвистике используются низкоуровневые дискрипторы LLD (Low Level Descriptors). Условно дискрипторы LLD можно разделить на: энергетические, просодические, вокализованные и спектральные. Одним из инструментов, позволяющих вычислять данные дискрипторы для произвольного количества речевых данных, является бесплатный программный продукт openSmile [Eyben, Weninger, Gross, 2013]. Де-факто он является стандартом в компьютерной паралингвистике и,

в зависимости от выбора пользователя, позволяет получить 65 базовых LLD признака и большое количество суперсегментных признаков. Набор признаков зависит от выбранной конфигурации в openSmile.

В данной работе используется конфигурация INTERSPEECH 2009. Которая позволяет вычислить 16 низкоуровневых дескриптора (LLD) и 16 соответствующих коэффициентов дельта-регрессии. К этим 32 дескрипторам применено 12 функционалов, что дает всего 384 признака.

Основные дескрипторы конфигурации INTERSPEECH 2009:

- мел-кепстральные коэффициенты (Mel-Frequency Cepstral Coefficient, MFCC),
- среднеквадратическая энергия (Root Mean Square, RMS),
- скорость перехода через ноль (Zero-Crossing Rate, ZCR),
- частота основного тона ( $F_0$ ),
- оценка автокорреляции (Autocorrelation Based Estimation).

Данная конфигурация была использована, поскольку содержит относительно небольшое количество LLD, что является важным для реализации классификации эмоций классическими методами.

В качестве методов для распознавания деструктивного поведения человека (в частности, гнева) по речевому сигналу были использованы три классических метода классификации:

1. Методах k-ближайших соседей (KNN),
2. Случайный лес (RF),
3. Стохастический градиентный спуск (SGD).

В работе осуществлялось распознавание гнева, поскольку целью было использование русскоязычных баз данных. В качестве экспериментальной речевой базы была выбрана Dusha, как самая большая русскоязычная эмоциональная речевая база.

В процессе организации экспериментов были использованы два подхода:

Подход 1 заключался в классификации всех имеющихся четырех эмоций: позитив, грусть, злость/раздражение (гнев), нейтраль.

Подход 2 заключался в классификации речевого сигнала на два класса. Первый класс – гнев, второй класс – все остальные эмоции.

Для обучения и тестирования моделей были использованы два набора данных: Train – обучающая выборка, test – тестовая выборка. Для соблюдения баланса между объектами разных классов размеры тренировочной и тестовой выборок для второго подхода были уменьшены. Объемы выборок для обучения и тестирования по всем трем моделям представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Table 2

Объем данных для метода KNN  
Data volume for the KNN method

№	Модель	Кол-во записей тренировочной выборки, шт.	Кол-во записей тестовой выборки, шт.	Кол-во записей «гнев» в test, шт.
1	Подход 1	11696	2924	731
2	Подход 2	5848	1462	731

Оценка качества работы методов, используемых для распознавания гнева по речевому сигналу, осуществлялась по показателю невзвешенной средней полноты (Unweighted Average Recall, UAR). Этот показатель является наиболее распространенным для оценки качества распознавания [Величко, 2022].

$$UAR = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{N_c^{(i)}}{N_0^{(i)}}, \quad (1)$$

где  $N_c^{(i)}$  – количество верно распознанных элементов  $i$ -го класса,  $N_0^{(i)}$  – общее количество элементов  $i$ -го класса,  $N$  – общее количество объектов,  $k$  – количество классов.

1. Метод  $k$ -ближайших соседей (KNN).

В данном методе оба подхода были реализованы для параметра  $k=1, \dots, 100$ .

Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

UAR метода KNN при оптимальных результатах  
UAR of the KNN method with optimal results

№	Модель	$k_{optim}$	UAR
1	Подход 1	12	0,45
2	Подход 2	3	0,69

На рисунке 2 представлены графики изменения показателя UAR для каждого подхода при  $k=1, \dots, 100$ .

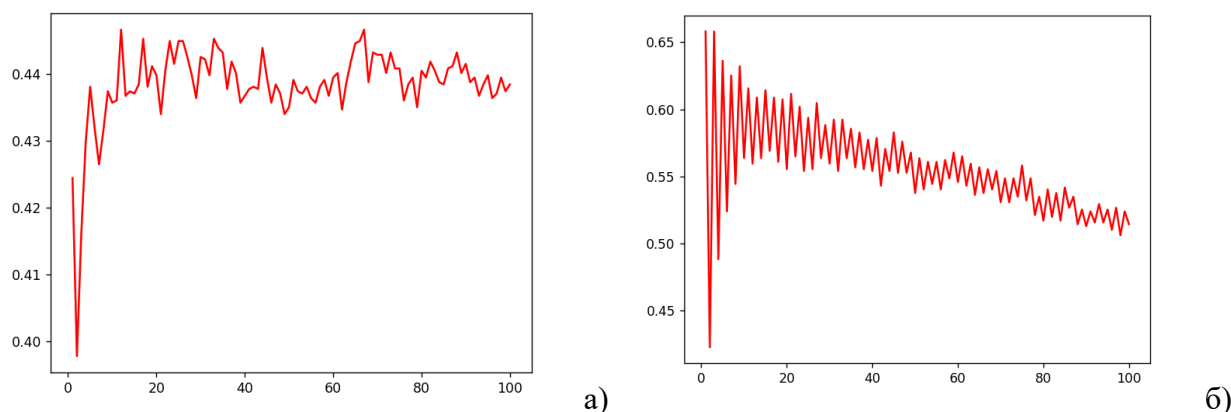


Рис. 2. UAR метода KNN при  $k=1, \dots, 100$  а) Подход 1, б) Подход 2  
Fig. 2. UAR of the KNN method for  $k=1, \dots, 100$  a) Approach 1, b) Approach 2

По результатам эксперимента можно заключить, что из двух представленных моделей наилучший результат показала модель 2 при параметре  $k=3$ . Однако максимальное значение показателя UAR равно 0,69, то есть из 100 речевых сигналов, содержащих эмоцию «гнев», распознано было 69.

2. Случайный лес (RF).

В данном методе были использованы также два подхода.

Параметры, которые были использованы для реализации метода и их значения:

$n\_estimators$  – число деревьев в «лесу»: [10, 50, 100, 200],

$criterion$  – критерий для разбиения выборки в вершине: ['gini', 'entropy', 'log\_loss'],

$max\_depth$  – максимальная глубина дерева: [50, 100, 200, None],

$min\_samples\_split$  – минимальное количество выборок, необходимых для разделения внутреннего узла: [2, 10, 20, 50, 100],

$min\_samples\_leaf$  – минимальное количество выборок, которое требуется для конечного узла: [1, 5, 10, 15],

$max\_features$  – число признаков, по которым ищется разбиение: ['sqrt', 'log2'].

Таким образом было обучено 1920 вариантов моделей, которые полностью перебирают все вышеупомянутые параметры.

Оценка качества распознавания методом случайный лес представлена в таблице 4.

Таблица 4  
Table 4

UAR метода случайный лес при оптимальных результатах  
UAR of the random forest method with optimal results

№	Модель	Значение параметров оптимального результата	UAR
1	Подход 1	n_estimators = 200 criterion = log_loss max_depth = 100 min_samples_split = 2 min_samples_leaf = 10 max_features = sqrt	0,47
2	Подход 2	n_estimators = 100 criterion = entropy max_depth = 100 min_samples_split = 20 min_samples_leaf = 5 max_features = sqrt	0,73

По результатам эксперимента можно заключить, что метод случайный лес дал лучший результат для подхода 2 то есть при классификации на 2 класса. В сравнении с методом KNN, случайный лес показал немного лучший результат как для подхода 1, так и для подхода 2.

### 3. Стохастический градиентный спуск (SGD).

В данном эксперименте были использованы также два подхода. Максимальное количество эпох при обучении составило 20000.

Параметры, которые были использованы для реализации метода:

loss – используемая функция потерь: ['hinge', 'log\_loss', 'modified\_huber', 'squared\_hinge', 'perceptron', 'squared\_error', 'huber', 'epsilon\_insensitive', 'squared\_epsilon\_insensitive'],

penalty – метод регуляризации: ['l2', 'l1', 'elasticnet', None]?

alpha – параметр регуляризации: [0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001, 0.000001].

Таким образом было обучено 216 моделей, которые полностью перебирают все вышеупомянутые параметры.

Оценка качества распознавания методом стохастический градиентный спуск представлена в таблице 5.

Таблица 5  
Table 5

UAR метода стохастический градиентный спуск при оптимальных результатах  
UAR of the stochastic gradient descent method with optimal results

№	Модель	Значение параметров оптимального результата	UAR
1	Подход 1	loss = log_loss penalty = elasticnet alpha = 0,01	0,49
2	Подход 2	loss = log_loss penalty = elasticnet alpha = 0,01	0,73

По данным, приведенным в таблице, видно, что метод стохастического градиентного спуска дал такой же результат, как и метод случайного леса. Однако с вычислительной точки зрения метод стохастического градиентного спуска гораздо быстрее, что может быть аргументом использования его, а не метода случайного леса.

Все результаты эксперимента не противоречат результатам распознавания агрессии на англоязычных базах речевых данных [100].

С целью повышения качества распознавания гнева по речевому сигналу были проведены эксперименты с использованием всех трех методов распознавания. Решающее правило по отнесению фрагмента речевого сигнала к классу «гнев» осуществлялось путем сравнения двух показателей:  $DR_1$  и  $DR_2$ .

$$DR_1 = \sum_{i=1, \text{ if } m_i=1}^3 UAR_i, \quad (2)$$

$$DR_2 = \sum_{i=1, \text{ if } m_i=0}^3 (1 - UAR_i), \quad (3)$$

где  $m_i$  – результат распознавания гнева  $i$ -м методом  $i=1,2,3$ ,  $UAR_i$  – показатель невзвешенной средней полноты  $i$ -го метода.

Если  $DR_1 > DR_2$ , то речевой сигнал относится к классу «гнев», в противном случае – к классу «не гнев».

### Заключение и направление дальнейших исследований

Эксперименты по распознаванию гнева, проведенные с использованием трех методов классификации, позволили повысить оценку  $UAR$  распознавания до 0,76. Это говорит о том, что используемые методы делают ошибку приблизительно на одних и тех же файлах. Метод KNN дает худший результат из рассмотренных методов классификации.

Исходя из этого, в качестве дальнейших исследований предполагается анализ влияния выбора параметров различных конфигураций openSmile на качество распознавания гнева и агрессии. А также выявление параметров агрессивного речевого сигнала, не зависящих от языка говорящего.

В качестве способов распознавания предполагается применение нейросетевых методов оценки эмоций для распознавания гнева и агрессии.

### Список литературы

- Величко А.Н. 2022. Метод анализа речевого сигнала для автоматического определения агрессии в разговорной речи. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. № 4. С. 180-188.
- Кажберова В.В., Чхартшвили А.Г., Губанов Д.А., Козицин И.В., Белявский Е.В., Федянин Д.Н., Черкасов С.Н., Мешков Д.О. 2023. Агрессия в общении медиапользователей: анализ особенностей поведения и взаимного влияния Вестник Московского университета. Серия 10: Журналистика. № 3. С. 26-56.
- Buss A., Durkee A. An inventory for assessing different kinds of hostility. 1957. Journal of Consulting Psychology. 21(4): 343–349. URL: <https://doi.org/10.1037/h0046900>.
- Dellaert F., Polzin T., Waibel A. 1996. Recognizing emotion in speech. Proceedings of the 4th Int. Conf. Spoken Lang. Process (ICSLP). pp. 1970–1973.
- Eyben F., Wengert F., Gross F., et al. 2013. Recent developments in opensmile, the munich open-source multimedia feature extractor. Proceedings of ACM International Conference on Multimedia. pp. 835–838.
- Kim J., Truong K.P., Englebiene G., et al. 2017. Learning spectro-temporal features with 3D CNNs for speech emotion recognition. Proceedings of the 7th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII). pp. 383–388.
- Kruse R., Borgelt C., Klawonn F., et al. 2022. Multi-layer perceptrons. Computational Intelligence. Springer, Cham. pp. 53-124.
- Lefter I., Burghouts G.J., Rothkrantz L.J.M. 2014. An audio-visual dataset of human–human interactions in stressful situations. Journal on Multimodal User Interfaces. 8(1): 29-41.
- Lefter I., Jomker C.M., Tuent S.K., et al. 2017. NAA: A multimodal database of negative affect and aggression. Proceedings of the Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII). IEEE. pp. 21-27.

- Lefter I., Rothkrantz L.J.M., Burghouts G., et al. 2011. Addressing multimodality in overt aggression detection. *Proceedings of the International Conference on Text, Speech and Dialogue*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 25-32.
- Makarova V. 2000. Acoustic cues of surprise in Russian questions. *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 21 (5): 243-250.
- Neiberg D., Elenius K., Laskowski K. 2006. Emotion recognition in spontaneous speech using GMMs. *Proceedings of the 9th Int. Conf. Spoken Lang. Process.* pp. 809– 812.
- Nogueiras A., Moreno A., Bonafonte A., et al. 2001. Speech emotion recognition using hidden Markov models. *Proceedings of the 7th Eur. Conf. Speech Commun. Technol.* pp. 746–749.
- Perepelkina O., Kazimirova E., Konstantinova M. 2018. RAMAS: Russian multimodal corpus of dyadic interaction for affective computing. *Proceedings of the International Conference on Speech and Computer*. Springer, Cham. pp. 501-510.
- Raudys Š. 2003. On the universality of the single-layer perceptron model. *Neural Networks and Soft Computing*. Physica. Heidelberg. pp. 79-86.
- Sainath T.N., Vinyals O., Senior A., et al. 2015. Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks. *Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. pp. 4580–4584.
- Schuller B.W., Batliner A., Bergler C., et al. 2021. The INTERSPEECH 2021 Computational Paralinguistics Challenge: COVID-19 Cough, COVID-19 Speech, Escalation & Primitives. *Proceedings of Interspeech*. pp. 431–435.

## References

- Kazhberova V.V., Chkhartishvili A.G., Gubanov D.A., Kozitsin I.V., Belyavsky E.V., Fedyanin D.N., Cherkasov S. N., Meshkov D.O. 2023. Aggression in communication between media users: analysis of behavioral characteristics and mutual influence. *Bulletin of Moscow University. Episode 10: Journalism*. No. 3. pp. 26-56.
- Velichko A.N. 2022. Method of speech signal analysis for automatic detection of aggression in spoken speech. *Bulletin of Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies*. No. 4. pp. 180-188.
- Buss A., Durkee A. An inventory for assessing different kinds of hostility. 1957. *Journal of Consulting Psychology*. 21(4): 343–349. URL: <https://doi.org/10.1037/h0046900>.
- Dellaert F., Polzin T., Waibel A. 1996. Recognizing emotion in speech. *Proceedings of the 4th Int. Conf. Spoken Lang. Process (ICSLP)*. pp. 1970–1973.
- Eyben F., Weninger F., Gross F., et al. 2013. Recent developments in opensmile, the munich open-source multimedia feature extractor. *Proceedings of ACM International Conference on Multimedia*. pp. 835–838.
- Kim J., Truong K.P., Englebienné G., et al. 2017. Learning spectro-temporal features with 3D CNNs for speech emotion recognition. *Proceedings of the 7th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. pp. 383–388.
- Kruse R., Borgelt C., Klawonn F., et al. 2022. Multi-layer perceptrons. *Computational Intelligence*. Springer, Cham. pp. 53-124.
- Lefter I., Burghouts G.J., Rothkrantz L.J.M. 2014. An audio-visual dataset of human–human interactions in stressful situations. *Journal on Multimodal User Interfaces*. 8(1): 29-41.
- Lefter I., Jomker C.M., Tuenté S.K., et al. 2017. NAA: A multimodal database of negative affect and aggression. *Proceedings of the Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. IEEE. pp. 21-27.
- Lefter I., Rothkrantz L.J.M., Burghouts G., et al. 2011. Addressing multimodality in overt aggression detection. *Proceedings of the International Conference on Text, Speech and Dialogue*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 25-32.
- Makarova V. 2000. Acoustic cues of surprise in Russian questions. *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 21 (5): 243-250.
- Neiberg D., Elenius K., Laskowski K. 2006. Emotion recognition in spontaneous speech using GMMs. *Proceedings of the 9th Int. Conf. Spoken Lang. Process.* pp. 809– 812.
- Nogueiras A., Moreno A., Bonafonte A., et al. 2001. Speech emotion recognition using hidden Markov models. *Proceedings of the 7th Eur. Conf. Speech Commun. Technol.* pp. 746–749.



- Perepelkina O., Kazimirova E., Konstantinova M. 2018. RAMAS: Russian multimodal corpus of dyadic interaction for affective computing. Proceedings of the International Conference on Speech and Computer. Springer, Cham. pp. 501–510.
- Raudys Š. 2003. On the universality of the single-layer perceptron model. Neural Networks and Soft Computing. Physica. Heidelberg. pp. 79–86.
- Sainath T.N., Vinyals O., Senior A., et al. 2015. Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks. Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). pp. 4580–4584.
- Schuller B.W., Batliner A., Bergler C., et al. 2021. The INTERSPEECH 2021 Computational Paralinguistics Challenge: COVID-19 Cough, COVID-19 Speech, Escalation & Primitives. Proceedings of Interspeech. pp. 431–435.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

Поступила в редакцию 07.11.2023

Поступила после рецензирования 27.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received November 07, 2023

Revised November 27, 2023

Accepted December 01, 2023

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Балабанова Татьяна Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Абрамов Кирилл Владиславович**, студент 4 курса факультета информационных технологий, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия

**Болдышев Алексей Владимирович**, кандидат технических наук, ведущий инженер электросвязи, Белгородский филиал ПАО Ростелеком, г. Белгород, Россия

**Долбин Дмитрий Михайлович**, магистрант 2 курса факультета таможенного дела и информационных технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tatiana N. Balabanova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Kirill V. Abramov**, 4th year student of the Faculty of Information Technologies of the Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

**Alexey V. Boldyshev**, Candidate of Technical Sciences, Leading Telecommunications Engineer of the Belgorod branch of PJSC Rostelecom, Belgorod, Russia

**Dmitry M. Dolbin**, 2nd year master's student, Faculty of Customs Affairs and Information Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

УДК 623.76

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-4-955-966

## **Инновационные проблемно-ориентированные методы мониторинга и помехоустойчивой передачи полученной информации в беспроводных телекоммуникационных системах**

<sup>1</sup> Ширяев А.А., <sup>2</sup> Махов Ф.С., <sup>3</sup> Олейник И.И., <sup>3</sup> Прохоренко Е.И.

<sup>1</sup> Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,

Россия, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4,

<sup>2</sup> Московский государственный университет,

Россия, 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы д.1, стр. 51

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

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

E-mail: a.shyriaev@mail.ru, 1fmakhov@gmail.com, oleinik\_i@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Статья ориентирована на разработку новых методов, используемых в информационных технологиях передачи результатов телеизмерений в условиях различного рода помех. Потребность в них наиболее остро проявляется при разработке автоматизированных систем мониторинга технического состояния сложных комплексов. Отличительная их особенность заключается в том, что они являются проблемно-ориентированными, учитывающими специфические особенности передаваемой информации. К их числу относятся различные виды избыточности: измерительной, текстовой, навигационной и телевизионной. Вопросы их применения рассмотрены на примере передачи, сбора и обработки данных телеизмерений. При использовании существующих методов, которые характеризуются высоким уровнем универсальности их применения, не представляется возможным выполнение многих требований. Основная их часть связана с необходимостью повышения скоростей передачи информации при жёстких ограничениях на пропускную способность беспроводных каналов связи. На разрешение подобных противоречий и направлены разработанные методы.

**Ключевые слова:** телеизмерения, передача данных, испытания, дополнительное кодирование информации с использованием образов-остатков, беспроводные каналы связи, информационно-телекоммуникационные системы

**Для цитирования:** Ширяев А.А., Махов Ф.С., Олейник И.И., Прохоренко Е.И. 2023. Инновационные проблемно-ориентированные методы мониторинга и помехоустойчивой передачи полученной информации в беспроводных телекоммуникационных системах. Экономика. Информатика, 50(4): 955–966. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-955-966

---



## Innovative Problem-Oriented Methods of Monitoring and Noise-Resistant Transmission of Received Information in Wireless Telecommunication Systems

<sup>1</sup> Alexey A. Shiryaev, <sup>2</sup> Fedor S. Makhov, <sup>3</sup> Ivan I. Oleinik, Ekaterina I. Prokhorenko

<sup>1</sup> Joint Stock Company "Central Research Institute of Machine Building",

4 Pionerskaya str., Korolev, 141070, Russia

<sup>2</sup> Moscow State University,

1 p. 51 Leninskie Gory Str., Moscow, 119991, Russia,

<sup>3</sup> Belgorod State National Research University,

85 Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: a.shiryaev@mail.ru, 1fmakhov@gmail.com, oleinik\_i@bsu.edu.ru

**Abstract.** The article is devoted to the development of new methods used in information technologies for monitoring the results of telemetry in conditions of various types of interference, the need for which is most acute in the development of automated systems for monitoring the technical condition of complex complexes and systems for military and dual use. It is shown that with traditional methods, which are distinguished by a high degree of universality of their application, many of the requirements that apply to the modern level of information support for measurements cannot be met. To resolve the contradictions, a new non-traditional approach is proposed that uses diagnostic methods for obtaining estimates of measurement results, the basis of which is the non-traditional representation of measurement data by their residual images during data transmission and reception in wireless information communications.

**Keywords:** tele-measurements, data transmission, tests, presentation, measurement results, residuals, wireless, information and telecommunication systems

**For citation:** Shiryaev A.A., Makhov F.S., Oleinik I.I., Prokhorenko E.I., 2023. Innovative Problem-Oriented Methods of Monitoring and Noise-Resistant Transmission of Received Information in Wireless Telecommunication Systems. Economics. Information technologies, 50 (4): 955–966 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-4-955-966

---

### Введение

В настоящее время для разрешения множества противоречий, появляющихся при передаче, приёме и обработке данных телеизмерений, приходится ориентироваться на поиск новых резервов, которые может предоставить кодирование информации. Однако традиционные его формы предполагают введение избыточности передаваемых данных [Блейхут, 1986], в результате чего объёмы передаваемой информации дополнительно увеличиваются. В условиях ограничений на пропускную способность беспроводных каналов связи, которая неконтролируемо уменьшается под влиянием помех, искусственно введенная избыточность приводит к ещё большему усложнению проблем передачи данных. Предлагаемый выход из такой затруднительной ситуации заключается в дополнительном безызыточном помехоустойчивом кодировании [Булычев, Васильев, 2016]. Подобные методы появились. Основу их построения составляет переход от традиционного позиционного представления данных, образующих внешнюю структуру ( $S_{\text{внеш}}$ ) передаваемой информации, к её внутреннему аналогу ( $S_{\text{внеш}}$ ), который получают при дополнительном кодировании сообщений с использованием образов-остатков [Гладков, Чаплинский, 2008].

Следующий этап применения разработанного метода связан с приёмом и обработкой данных телеизмерений, представленных образами-остатками и другими замещающими их эквивалентными структурно-алгоритмическими преобразованиями (САП) [Кукушкин, 2003].

В статье особое внимание уделено таким операциям разработанного метода, как контроль достоверности результатов и очищение получаемой информации от помех и искажений [Кукушкин, 2018]. Исследованы вопросы использования естественной избыточности по-

лучаемой информации для повышения точности и достоверности результатов телеизмерений на основе формируемых при приёме и обработке алгебраических инвариантов [Мироновский, Слаев, 2010]. Принципиальное отличие разработанного метода заключается в том, что при нетрадиционном представлении данных образами-остатками инварианты представлены с использованием алгебры конечных полей [Кукушкин, 2003].

### Представление данных их образами-остатками

При приёме телеметрической информации (ТМИ) данные телеизмерений, обозначаемые как  $X_j^*$ , при аддитивной модели искажений отличаются от истинного значения  $x_j$  на величину привнесенных ошибок  $\varepsilon_j$ :  $X_j^* = X_j + \varepsilon_j$ . Применение алгебраических вариантов при мониторинге рассматривают с целью упрощения для случая трех измерений ( $i=1,2,3$ ). Такой метод является показательным и подробно рассмотрен в литературе [Мироновский, 2010].

Контроль достоверности полученных результатов измерений осуществляют при трех измерениях на основе алгебраических инвариантов:

$$\Delta X_{12j} = X_{1j} - X_{2j} = 0, \Delta X_{13j} = X_{1j} - X_{3j} = 0, \Delta X_{23j} = X_{2j} - X_{3j} = 0 \quad (1)$$

Наличие ошибок при этом определяют, когда какие-то значения инвариантов (1) оказываются не равными 0. При этом, чем больше источников информации ( $i$ ), дублирующих друг друга ( $i > 3$ ), тем выше показатель достоверности контроля объекта мониторинга.

В практической телеметрии существуют следующие два вида введения избыточности:

- 1) за счёт увеличения количества датчиков, которые и являются источниками информации;
- 2) на основе распределённого приёма передаваемых потоков телеизмерений.

Но при введении дополнительных датчиков растёт объем передаваемой ТМИ, следовательно, необходимо увеличивать скорость передачи сообщений, чему препятствует ограниченная полоса пропускания радиоканала. А действие помехи, искажающей передаваемые данные ТМИ, сопровождается её уменьшением. И этот процесс становится случайным, как и характерные особенности самой непредсказуемой помехи. По этой причине возможность реализации диагностического мониторинга самой получаемой измерительной информации становится проблематичной.

В этой ситуации использование второго вида избыточности данных ТМИ, появляющегося при разнесенном приёме ТМИ несколькими приёмно-регистрирующими станциями (ПРС), превращается в основной вариант реализации метода избыточных переменных (МИП) [Мироновский, 2010].

Предлагаемые новые диагностические методы, отличающиеся от известных тем, что вместо исходных результатов измерений  $X_j$  передают, принимают и подвергают обработке их образы-остатки  $b_i$ . Их получают в результате операций деления значений  $X_j$  на выбранные модули сравнения  $m_i$ . В результате этого получают образы-остатки  $b_{ji}$ . Математическая запись такой операции:

$$X_j \equiv b_{ji} \pmod{m_i}. \quad (2)$$

Как реализуют технологию такого дополнительного кодирования ТМИ показано в виде иллюстраций на рисунке 1. На вышеуказанном рисунке приведены графики представления одного и того же ТМП в его исходном виде  $X(j\Delta t)$  (слева), где  $j$  – счетное множество, определяющее порядок следования отсчетов ТМП при его цифровой представлении, а  $\Delta t$  – интервал дискретизации, определяемый теоремой В.А. Котельникова, а также после его структурно-алгоритмического преобразования (САП) (справа). В дальнейшем для упрощения записи признак времени  $T$  в виде множества  $\{j\Delta t\}$  будет представлен только индексами  $j$ .

При этом каждому из исходных слов-измерений  $X_j$  будут поставлены в однозначное соответствие преобразованные значения  $C_j$ , представляющие собой результат дополнительного безы избыточного помехоустойчивого кодирования данных ТМИ. Научно-методические осно-

вы такого преобразования, в результате которого обеспечивается возможность коррекции ошибок передачи ТМИ, заключаются в использовании следующей графической модели представления данных ТМИ [Кукушкин С.С., 2016]. При графическом представлении исходных значений  $X_j$  телеметрируемого параметра (ТМП) (рисунок 1(А)), они не выходят за некоторые устанавливаемые заранее пределы  $\Delta_{ш}$ , заданной значениями  $X_{jmin} = 250$  и  $X_{jmax} = 830$ :  $\Delta_{ш} = (830 - 250) = 580$  (ось ординат графика). При этом ось абсцисс определяется временем ( $j\Delta t$ ) или просто индексом  $j$ , используемым для упрощения записи. Этот диапазон возможных изменений  $X_j$  называют *метрической шкалой измерений*. Но при этом существует и другая шкала представления данных ТМИ (Ш), которую определяет заданная разрядность ( $N$ ) представления слов-измерений двоичным кодом:  $Ш = (0 - (2^N - 1))$ . Это предельная шкала, называемая *шкалой представления ТМИ*.

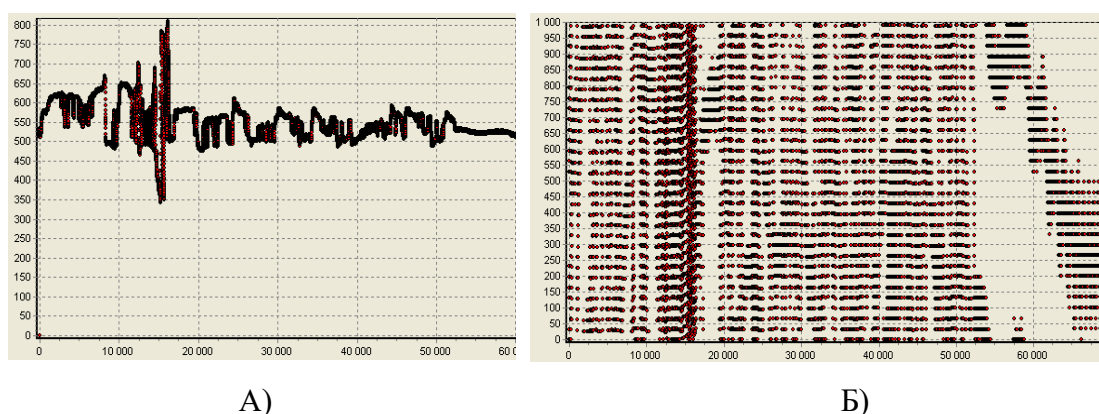


Рис. 1. Графическое представление контролируемого телеметрируемого параметра  $X_j$  и результатов его дополнительного кодирования с использованием образов-остатков  $X_j \rightarrow C_j$ , когда новое сообщение  $C_j$  составлено из образов-остатков  $b_{1j} \pmod{m_1}$  и  $b_{2j} \pmod{m_2}$ , имеющих вдвое меньшую разрядность представления  $n = N/2$ ,

Fig. 1. Graphical representation of the controlled telemetered parameter  $X_j$  and the results of its additional coding using residual images  $X_j \rightarrow C_j$ , when the new message  $C_j$  is composed of residual images  $b_{1j} \pmod{m_1}$  and  $b_{2j} \pmod{m_2}$  having twice the bit depth of the representation  $n = N/2$ .

Наличие двух шкал измерений является одним из значительных недостатков существующей практики ТМИ, когда заранее нельзя предсказать в каких пределах будут находиться результаты измерений  $X_j$ . Например, при запуске в космос Ю.А. Гагарина предполагалось, что перегрузка может достигать 14g. Исходя из этого и определяли метрическую шкалу измерений  $\Delta_{ш}$ , которая была выражена в относительных единицах. Для обратного перевода данных ТМИ в физические значения используют тарифовочные характеристики, которые определяют при метрологической предполётной аттестации датчиков. После полёта первого в мире космонавта предельное значение для метрической шкалы контролируемого параметра «Продольная перегрузка» уточнили, так как реальные данные показали, что она не превышала 8g. Но это вовсе не означает, что она не может быть больше 14g. Такое явление наблюдают при появлении нештатных и аварийных ситуаций. Тогда шкалы представления данных Ш, ограниченной разрядностью  $N$  двоичных слов-измерений, может не хватить для отображения и передачи реальных значений ТМП. Этот эффект получил название «зашкаливание данных» [Гладков, Чаплинский, 2008]. В этом случае данные ТМИ оказываются утраченными, несмотря на то, что и бортовая, и приёмная аппаратура были исправными. Поэтому применяемый в практике ТМИ метод уточнения метрической шкалы по результатам полученных экспериментальных данных работает не всегда. Он может быть использован только при предположении, что исключаются нештатные и аварийные ситуации. Но тогда он и не применим для мониторинга, так как его главная задача заключается в их выявлении. Поэтому приходится жертвовать показателем

точности ТИ путём загробления получаемых данных. Коэффициент «загробления» определяется как отношение  $k = \Pi / \Delta_{\text{ш}} x_j$ .

Для реального ТМП, графическое отображение которого приведено на рисунке 1(А), он равен  $k = 1024/580 = 1,76$ . При использовании предлагаемого метода (см. рисунок 1(Б)) этого нет, так как  $\Delta_{\text{ш}} x_j = \Pi$ .

При традиционном подходе для разрешения противоречия, связанного с эффектом «зашкаливания» ТМП, приходится использовать *метод многошкальных измерений*. Для его реализации необходимо использовать несколько датчиков ТМИ. В этом случае, помимо «точной» шкалы измерений, вводят ещё «грубую» и «промежуточную» шкалы. Однако при этом увеличивается объём передаваемых данных и появляется необходимость принятия дополнительных мер для разрешения уже другого противоречия беспроводной связи: между скоростью передачи ТМИ и пропускной способностью радиоканала передачи. Получается замкнутый круг противоречий: разрешая одно из них, мы приходим к ожесточению других. Необходимо его разорвать. На решение этой задачи направлен предлагаемый метод нетрадиционного представления данных ТМИ образами-остатками (рисунок 1(Б)), а также другими замещающими структурно-алгоритмическими преобразованиями (САП).

Из анализа графического представления результатов дополнительного кодирования данных ТМИ, приведенного на рисунке 1(Б), можно сделать следующие выводы.

1. Метрическая шкала измерений  $\Delta_{\text{ш}} x_j$  совмещена со *шкалой представления данных*  $\Pi = (0 - 1023)$  (рисунок 1(Б)). Из приведенного графического представления значений ТМП следует что  $1023 = 2^{10} - 1$ , следовательно, было применено 10-тиразрядное двоичное кодирование слов-измерений  $X_j$ . Тогда оптимальные модули сравнения следует выбирать из условия разложения числа 1023 на два сомножителя  $m_1 = 2^5 - 1 = 31$  и  $m_2 = 2^5 + 1 = 33$ . При этом эффект зашкаливания значений ТМП исключается, а возможность получения ТМИ, например, перегрузки, при предельных его значениях определяется только тем, выдержит ли их сам датчик, сохранит ли он свою работоспособность. Но датчики проектируют с большим запасом прочности, поэтому, как показывает практика использования разработанного метода, данные ТМИ были получены в различных, в том числе и самых сложных условиях проведения испытаний. При этом многие датчики, например, волоконно-оптические, показывают высокие показатели надежности и при длительной работе в агрессивных средах. Диапазон измерений датчиков специально ограничивают из соображений универсальности использования их тарифовочных характеристик, задавая те её области, когда данные ТМИ и физические их значения связаны зависимостью наиболее близкой к линейной.

2. Минимальное кодовое расстояние  $d_{\min}$  между соседними значениями передаваемых сообщений нового вида  $C_j$ , выраженное в *метрике Евклида*, будет увеличено в  $m_2 = 2^n + 1$  раз. Для примера, представленного в виде иллюстрации на рисунке 1,  $d_{\min} = 2^5 + 1 = 33$  раза. Однако это условие выполняется только между соседними разрывами, определяемыми на основе неравенства:

$$\delta C_j = |C_j - C_{j+1}| \geq 0,8\Pi = 820. \quad (3)$$

Поэтому для коррекции данных ТМП, искаженных помехой, вначале определяют разрывы на основе выполнения неравенства (3), а затем приступают к обнаружению ошибок на основе *свойства равноостаточности*. Это понятие известно в теории чисел [Фомин, 1980], но впервые применено в теории передачи информации и в метрологии. Его суть заключается в том, что любое из принятых преобразованных значений  $C_j$  после его деления на минимальное кодовое расстояние  $d_{\min}$  даст один и тот же остаток  $\xi_j$ .

3. Так как каждое телеизмерение  $C_j$  представлено образами-остатками  $C_j = \langle b_{1j}, b_{2j} \rangle_2$ , где обозначение  $\langle \rangle_2$  означает, что образы-остатки, как и дополнительно закодированные слова-измерения  $C_j$ , представлены двоичным кодом, то, учитывая их независимость, в том числе и относительно операций алгебраических инвариантов, получим увеличение их количества при неизменном объёме передаваемой ТМИ. Например, для случая трёх дублирую-

щих телеизмерений ( $i = 3$ ) их будет вдвое больше по сравнению с классическим подходом [Мироновский, 2010]:

$$\begin{aligned}\Delta b_{12} = b_{11} - b_{12} = 0, \Delta b_{13} = b_{11} - b_{13} = 0, \Delta b_{23} = b_{12} - b_{13} = 0, \\ \Delta b_{21} = b_{21} - b_{22} = 0, \Delta b_{23} = b_{21} - b_{23} = 0, \Delta b_{33} = b_{21} - b_{23} = 0.\end{aligned}\quad (4)$$

Этот эффект связан с тем, что образов-остатков, как источников зондирования помех в беспроводном канале связи, стало вдвое больше по сравнению с исходными словами-измерений  $X_j$ . При этом над ними можно выполнять и все ранее предусмотренные операции при обработке. Такая технология известна под названием обработка информации в *системе остаточных классов* (СОК) [Акушский, 1968]. В результате этого существенно расширяются возможности ранее использовавшихся методов оценивания достоверности информации и её обработки [Кукушкин, 2003].

4. Дополнительное кодирование телеизмерений  $C_j$  образами-остатками  $C_j = \langle b_{1j}, b_{2j} \rangle_2$  представляет собой *систему остаточных классов* (СОК), а её преимущества, относящиеся к обработке информации, хорошо известны [Червяков, 2008], то отсутствует и необходимость декодирования  $C_j$  с целью обратного перевода значений  $C_j$  в исходные значения данных ТИ  $X_j$ . Эффективность системы обработки информации при мониторинге существенно повышается и обеспечивается дополнительная степень защиты информации от НСД.

Появляются также и другие новые возможности. Например, достоверность и целостность последовательности полученных телеизмерений может быть оценена с использованием теории конечных разностей [Андерсон, 1979]. Но принципиальное отличие предлагаемого метода заключается в том, что операцию абсолютной разности первого и второго порядков применяют не по отношению к исходным данным ТИ  $X_j$ . Объектами применения становятся значения образов-остатков  $b_{1j}, b_{2j}$ :

$$|\Delta^1 b_{1j}| = |\Delta^1 b_{2j}| = |\Delta^1 X_j| \text{ и } |\Delta^2 b_{1j}| = |\Delta^2 b_{2j}| = |\Delta^2 X_j|, \quad (5)$$

где  $|\Delta^1 X_j| = |X_j - X_{j+1}|$  – абсолютные разности между исходными соседними значениями результатов ТИ первого порядка, а  $|\Delta^1 b_{1j}| = |\Delta^1 b_{2j}|$  – это такие же разности, но вычисленные по отношению к соседним значениям образов-остатков  $b_{1j}$  и  $b_{1j}$ .

При этом в соответствии с теорией конечных разностей  $|\Delta^2 b_{1j}| = |\Delta^2 b_{2j}| = |\Delta^2 X_j|$  представляют разности второго порядка

$$|\Delta^2 X_j| = |\Delta^1 X_j - \Delta^1 X_{j+1}|, |\Delta^2 b_{1j}| = |\Delta^1 b_{1j} - \Delta^1 b_{1(j+1)}| \text{ и } |\Delta^2 b_{2j}| = |\Delta^1 b_{2j} - \Delta^1 b_{2(j+1)}|. \quad (6)$$

С точки зрения традиционной теории представления, передачи и обработки данных ТМИ равенство (5) не очевидно. Оно становится справедливым в новой сжатой системе представления данных при использовании образов-остатков, но при условии равенства неполных частных:  $l_1 = l_2$ . Вероятность появления такого равенства при наличии корреляционной взаимосвязи значений ТИ  $X_j$  и  $X_{j+1}$  велика. Факт наличия такой зависимости  $X_j$  и  $X_{j+1}$  связан с применением теоремы о дискретизации В.А. Котельникова к аналоговым телеметрируемым сигналам [Булычев, 2016]. Большая естественная избыточность данных измерений, появляющаяся при аналого-цифровом преобразовании (АЦП) исходных контролируемых процессов и составляющая более 90%, является объективной реальностью, с которой необходимо считаться. Более того, основная задача статьи заключается в том, чтобы показать то, как она может быть полезно использована в различных практических приложениях. А они, как было отмечено, относятся к метрологии, сбору информации, получаемой от большого множества датчиков помехоустойчивой передачи данных ТМИ по беспроводным каналам связи и их обработки с целью обеспечения качественной информационной поддержки принимаемых решений (ИППР).

Дополнительная возможность контроля достоверности данных ТМИ, принятых в условиях на основе рассмотренных алгоритмов анализа временных рядов, представлена в таблице 1.

Для большей убедительности в таблице 1 приведены также и результаты дополнительного сравнения значений  $X_j$  по третьему модулю  $m_3 = 2^n$ , где  $N = 2n$  – число разрядов двоичного кода, которым представлены значения  $X_j$  и которое принято в той или иной телеметрической системе (ТМС). При этом особенность кодирования данных ТИ двоичным кодом такова, что остаток  $b_{3j}$ , получаемый при сравнении  $X_j$ , представленной моделью:  $X_j = \langle a_{cmj}, a_{mlj} \rangle$ , где  $a_{cmj}$  и  $a_{mlj}$  – старшее и младшее  $n$ -разрядные полуслова исходного результата ТИ равны значению младшего полуслова:  $b_{3j} = a_{mlj}$ . А это означает, что при восстановлении данных  $X_j$  в исходном виде, помимо первых двух образов-остатков  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$ , незримо присутствует и третий остаток  $b_{3j}$ , поскольку он равен значению младшего полуслова:  $b_{3j} = a_{mlj}$ . Для подтверждения новой возможности контроля достоверности принятых данных измерений воспользуемся результатами, позаимствованными из существующей практики ТИ.

Существующие приёмы передачи помехозащищённого восстановления данных при приёме и борьбе с искажениями информации при её обработке преимущественно ориентированы на использование статистических методов. В этом случае ничего нельзя сказать о достоверности единичных слов и сообщений. Однако при представлении данных двумя  $b_1$ ,  $b_2$  и более образами-остатками, например,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  (таблица 1), такая возможность обеспечивается и по отношению к единичным данным измерений, которые становятся сообщениями при передаче информации. В таблице 1 такие данные выделены жирным обозначением. Их использование позволяет восстановить и соответствующие значения воображаемых абсолютных разностей первого и второго порядков, которые оказываются справедливыми и по отношению к исходным значениям ТИ  $X_j$ .

Такая процедура контроля достоверности полученной информации является дублирующей по отношению к декодированию данных  $C_j$  с использованием *свойств равноостаточности*. О её эффективности, проявляющейся в обеспечении контроля достоверности информации в системах мониторинга, свидетельствуют полученные результаты. Показатель подтверждения достоверности, принятой в условиях помех и восстановленной информации, определяется вероятностями от 0,8 до 0,95:  $P_d = 0,8 - 0,95$  [Кукушкин, 2003].

Эта особенность может быть использована и при модернизации беспроводных каналов связи в части использования дополнительного помехоустойчивого кодирования.

Таблица 1  
Table 1

Работа математической модели контроля помехоустойчивости  
единичного сообщения при нетрадиционном представлении данных образами-остатками  
(выделены значения совпавших значений)  $|\Delta^2 b_{1j}| = |\Delta^2 b_{2j}| = |\Delta^2 b_{3j}| = |\Delta^2 X_j|$   
The work of a mathematical model for monitoring the noise immunity of a single message  
with an unconventional representation of data by residual images  
(the values of the matched values are highlighted)  $|\Delta^2 b_{1j}| = |\Delta^2 b_{2j}| = |\Delta^2 b_{3j}| = |\Delta^2 X_j|$

Результаты преобразования											
Сравнение $b_1 \pmod{15}$				Сравнение $b_2 \pmod{16}$				Сравнение $b_3 \pmod{17}$			
$\langle b_1 \rangle_2$	$\langle b_1 \rangle_{10}$	$ \Delta^1 b_1 $	$ \Delta^2 b_1 $	$\langle b_2 \rangle_2$	$\langle b_2 \rangle_{10}$	$ \Delta^1 b_2 $	$ \Delta^2 b_2 $	$\langle b_3 \rangle_2$	$\langle b_3 \rangle_{10}$	$ \Delta^1 b_3 $	$ \Delta^2 b_3 $
1011	11			0100	4			11101	14		
0001	1	10		1000	8	4		00000	0	14	
1101	13	12	<b>2</b>	0110	6	2	<b>2</b>	<u>10000</u>	16	16	<b>2</b>
0111	7	6	<b>6</b>	1110	14	8	<b>6</b>	01100	6	10	<b>6</b>
1110	14	7	1	0111	7	7	1	00000	0	6	4
0110	6	8	<b>1</b>	1101	13	6	<b>1</b>	01010	5	5	<b>1</b>
0000	0	6	2	1000	8	5	1	00011	1	4	1
0110	6	6	<b>0</b>	1101	13	5	<b>0</b>	01010	5	4	<b>0</b>



Окончание табл. 1  
End table 1

Сравнение $b_1 \pmod{15}$				Сравнение $b_2 \pmod{16}$				Сравнение $b_3 \pmod{17}$			
$\langle b_1 \rangle_2$	$\langle b_1 \rangle_{10}$	$ \Delta^1 b_1 $	$ \Delta^2 b_1 $	$\langle b_2 \rangle_2$	$\langle b_2 \rangle_{10}$	$ \Delta^1 b_2 $	$ \Delta^2 b_2 $	$\langle b_3 \rangle_2$	$\langle b_3 \rangle_{10}$	$ \Delta^1 b_3 $	$ \Delta^2 b_3 $
0011	3	3	3	1010	10	3	2	00101	2	3	1
0101	5	2	<b>1</b>	1100	12	2	<b>1</b>	01001	4	2	<b>1</b>
1101	13	8	<b>6</b>	0100	4	8	<b>6</b>	11000	12	8	<b>6</b>
0010	2	11	3	1000	8	4	4	<u>10000</u>	16	4	4
1001	9	7	<b>4</b>	0000	0	8	<b>4</b>	10001	8	8	<b>4</b>
1101	13	4	3	0100	4	4	4	11000	12	4	4
0101	5	8	<b>4</b>	1100	12	8	<b>4</b>	01001	4	8	<b>4</b>
0000	0	5	3	0110	6	6	2	11101	14	10	2
1101	13	13	8	0101	5	1	5	11101	14	0	10
1000	8	5	8	1111	15	10	9	01110	7	7	7
1010	10	2	<b>3</b>	0010	2	13	<b>3</b>	10111	11	4	<b>3</b>
0111	7	3	<b>1</b>	1110	14	12	<b>1</b>	01100	6	5	<b>1</b>

Поскольку такие методы относятся к разряду безызыбыточных, не требующих введения дополнительных проверочных символов двоичного кода, то их применение не требует изменения структур передаваемой информации: разрядности слов, кадров и циклов. Благодаря этому они наиболее подходят для модернизации существующих систем и комплексов, поскольку являются щадящими, в том числе и по отношению к тем технологиям передачи информации, которые устарели и требуют замены.

Такое преобразование становится экономичным, поскольку оказывается органично объединенным с новым решением проблемы сжатия данных (рис. 2).

Из представления результата дополнительного кодирования на рисунке 2 следует, что он может быть представлен в виде следующих двух вариантов:

$$\begin{aligned} C_j^{(1)} &= \langle \langle b_{1j} \rangle_2, \langle b_{2j} \rangle_2 \rangle_2, \\ C_j^{(2)} &= \langle \langle b_{2j} \rangle_2, \langle b_{1j} \rangle_2 \rangle_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Их отличительная особенность, заключающаяся в сокращении избыточности передаваемых символов двоичного кода, которая в результате САП, оказалась трансформированной в повышение информационной нагрузки каждого из них.

Это неявно выраженное проявление сжатия данных на синтаксическом уровне становится очевидным, если исходные сообщения  $X_j$  представить в следующей системе уравнений (СУ):

$$\begin{aligned} X_j &= m_1 l_{1j} + b_{1j} \\ X_j &= m_2 l_{2j} + b_{2j}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – делители (в теории конечных полей – модули сравнения);  $l_{1j}$  и  $l_{2j}$  – неполные частные, а  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – значения остатков.

Сжатой форма аналитического описания данных (7) является от того, что в исходном представлении данных ТМИ (8) в составе неявно передаваемой информации присутствуют значения делителей  $m_1$  и  $m_2$  и неполных частных  $l_{1j}$  и  $l_{2j}$ , а в канал связи они не передаются. При этом значения модулей сравнения  $m_1$  и  $m_2$  являются частью ключевых данных, которыми стороны обмениваются между собой до начала работы. Следовательно, это еще и вклад в решение проблемы сокращения избыточности (сжатия) передаваемой информации.

### Модель помехоустойчивого кодирования

Модель дополнительного помехоустойчивого кодирования с использованием образцов остатков  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  представлена на рисунке 2. Неполные частные  $l_{1j}$  и  $l_{2j}$  восстанавливают на

основе принятых образов-остатков  $b_{1i}$ ,  $b_{2i}$  с использованием адаптивного алгоритма конструктивной теоремы об остатках (КтТО). Перечисленные операции составляют основу реализации новых технологий передачи информации.

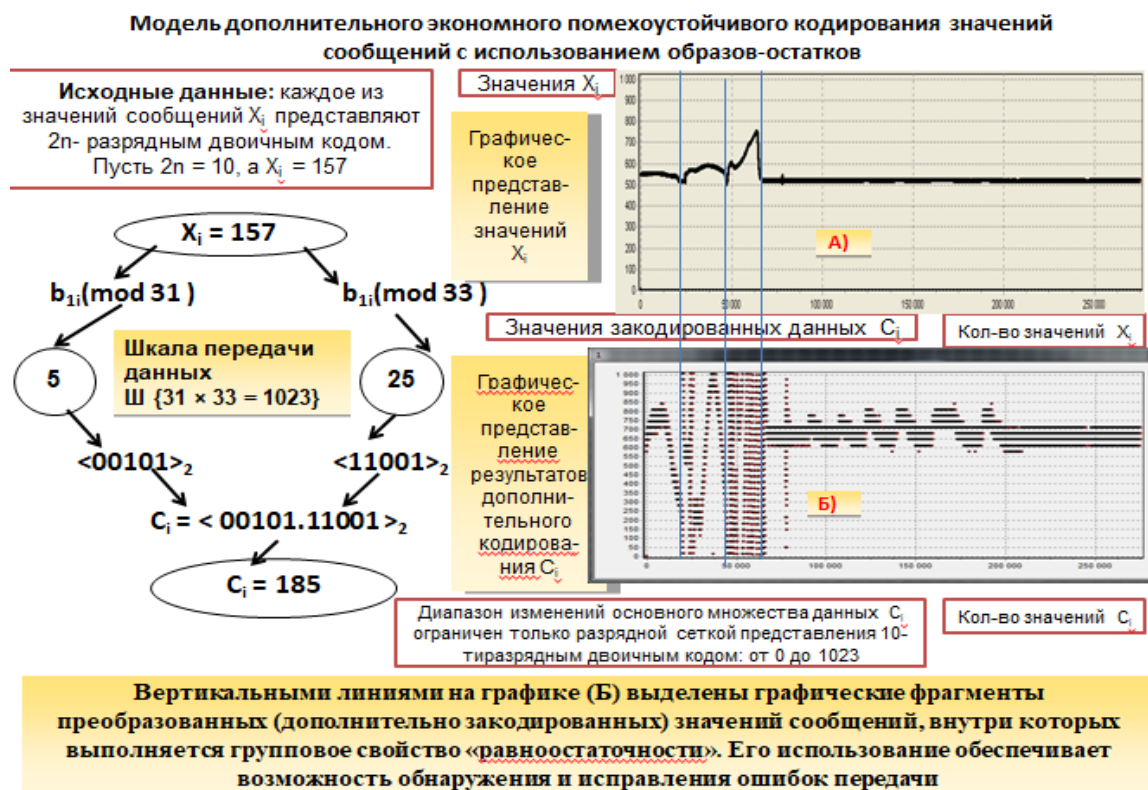


Рис. 2. Модель дополнительного помехоустойчивого кодирования с использованием образов-остатков  
Fig. 2. A model of additional noise-resistant coding using residual images

Отличительная особенность предлагаемой инновационной технологии представления данных ТИ заключается также в возможности одновременного использования не одного, а двух алгоритмов декодирования принятых данных ТИ: «жесткого» и «мягкого».

Принципиальное их отличие от аналогичных терминов, используемых в современной теории помехоустойчивого кодирования, заключается в том, что они ориентированы на работу по восстановлению искажённых символов двоичного кода, используемого для передачи информации. Они применяются по отношению к кодовым конструкциям, основу построения которых составляют биты. Это могут быть данные измерений и передаваемые значения сообщений. «Жёсткий» алгоритм является универсальным и может быть использован всегда, независимо от модели передаваемой информации. Под его управлением работает «мягкий» алгоритм декодирования, который используют тогда, когда не менее четырёх следующих подряд сообщений оказываются корреляционно-зависимыми. Это означает, что для их индексов ( $j$ ) не выполняется условие неравенства (3). Следовательно, существует понятие *группового свойства равноостаточности*. А это означает, что ошибки передачи данных сообщений могут быть обнаружены и исправлены. Основу «жесткого» варианта восстановления переданных значений ТМИ составляет алгоритм конструктивной теоремы об остатках (КтТО) (4) [Кукушкин, 2003]. Он значительно проще классического алгоритма китайской теоремы об остатках (КиТО), о чем свидетельствуют примеры расчетов, приведенные на рисунке 4.

Кроме того, новые возможности проявляются в следующем. Алгоритм КтТО становится адаптивным: его сложность определяется только значением разности  $n = |m_1 - m_2|$ , знаком и условиями делимости  $\Delta = b_1 - b_2$  на  $n$ . В этом случае нет необходимости определять мультипликативно-обратные величины  $m_1'$  и  $m_2'$ , которыми оперируют при использовании классического алгоритма КиТО [Кукушкин, 2003]:  $m_1 m_1' \equiv 1 \pmod{m_2}$  и  $m_2 m_2' \equiv 1 \pmod{m_1}$ . Из-

за этого алгоритм КИТО является мультипликативным и зависит от выбора модулей сравнения  $m_1$  и  $m_2$  (рисунок 3).

Восстановленные при этом значения находят как значения остатков от деления на составной модуль сравнения (М) равный произведению исходных:  $M = m_1 m_2$ .

Новизна предлагаемого технического решения проблемы восстановления данных при передаче и обработке информации также связана с возможностью реализации алгоритма восстановления, составляющего основу «мягкого» декодирования данных, обеспечивающего коррекцию ошибок передачи данных ТМИ, сообщений и иных кодовых конструкций, которые были перекодированы в  $C_i$  на основе «группового свойства равноостаточности –  $f_i$ ».

Кроме того, значительно повышаются показатели эффективности обработки, такие, как оперативность, точность и достоверность. При этом используются известные преимущества системы остаточных классов (СОК), которые дополнены новые возможностями исправления ошибок и фильтрации данных. Например, появляется возможность не исключать из получаемой статистической выборки измерений аномальные ошибки, а исправлять их.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что для разрешения существующего множества проблем, которые появляются при мониторинге технического состояния сложных технических комплексов и обеспечения безопасности их применения, функционирования, эксплуатации необходим поиск новых резервов и не реализованных возможностей.

Кроме того, необходимо объединение в единую непротиворечивую логическую и научно-методическую систему различных научных дисциплин, которые до настоящего время развивались обособленно. Основу построения современных систем мониторинга составляют: телеизмерения, сбор, передача и оперативная обработка получаемой информации.

#### Преимущества прикладного применения алгоритма восстановления, основанного на конструктивной теореме об остатках (КТО)

Определяем исходные данные:  $n = |m_1 - m_2|$  и  $\Delta = b_1 - b_2$

Если  $n = 2$ , то необходимо использовать только три звена формулы:

$$x = \begin{cases} 1) m_1 \Delta / n + b_1, & \Delta = b_1 - b_2 \geq 0 \ (m_1 < m_2) \\ 2) m_1 (m_2 + \Delta / n) + b_1, & \Delta < 0 \\ 3) m_1 (m_2 + \Delta) / n + b_1, & \Delta < 0, \Delta > 0, n : \Delta, n / m_2 + \Delta \end{cases} \quad n / \Delta \quad (4)$$

#### Рассмотрим примеры.

1. Известны два остатка  $b_1 = 12$  и  $b_2 = 2$  от деления числа  $x$  на модули (числа) сравнения  $m_1 = 15$  и  $m_2 = 16$ . Определяем исходные данные:  $n = |m_1 - m_2| = |15 - 16| = 1$  и  $\Delta = b_1 - b_2 = 12 - 2 = 10 > 0$ . Условие делимости дельта  $\Delta$  на  $n$  (записывается как  $n | \Delta$ ) выполняется, поскольку на 1 делятся все числа. Следовательно, для восстановления  $x$  необходимо воспользоваться первым звеном формулы (4):

$$x = m_1 \Delta / n + b_1 = m_2 \Delta / n + b_2 = 15 \times 10 + 12 = 16 \times 10 + 2 = 162.$$

Алгоритм китайской теоремы об остатках для тех же исходных данных имеет вид:  $x = 16b_1 + 225b_2 \pmod{15 \times 16 = 240} = 16 \times 12 + 225 \times 2 = 192 + 450 = 642 \equiv 162 \pmod{240}$ . Недостатки: сложность вычислений и увеличение (усиление) помех, искажающих остатки при передаче данных на их основе по каналам связи из-за необходимости их умножения на большие коэффициенты: 16 и 225).

2. Известны два остатка  $b_1 = 11$  и  $b_2 = 14$  от деления числа  $x$  на модули (числа) сравнения  $m_1 = 15$  и  $m_2 = 17$ . Определяем исходные данные:  $n = |m_1 - m_2| = |15 - 17| = 2$  и  $\Delta = b_1 - b_2 = 11 - 14 = -3 < 0$ . Условие делимости дельта  $\Delta$  на  $n$  не выполняется, поскольку  $-3$  не делится на 2 без остатка, но  $(m_1 + \Delta)$  на 2 делится. Следовательно необходимо воспользоваться третьим звеном формулы (4):

$$x = m_1 (m_2 + \Delta) / n + b_1 = m_2 (m_1 + \Delta) / n + b_2 = 15 \times (17 - 3) / 2 + 11 = 17 \times (15 - 3) / 2 + 14 = 116.$$

Алгоритм китайской теоремы об остатках для тех же исходных данных имеет вид:  $x = 136b_1 + 120b_2 \pmod{15 \times 17 = 255} = 136 \times 11 + 120 \times 14 = 1496 + 1680 = 3176 \equiv 116 \pmod{255}$

Рис. 3. Алгоритм конструктивной теоремы об остатках КТО, составляющий основу «жесткого» декодирования передаваемой информации на приёмной стороне, и иллюстрация его преимуществ по сравнению с классическим алгоритмом китайской теоремы об остатках (КИТО)

Fig. 3. The algorithm of the constructive theorem on the remnants of the CtTO, which forms the basis of the "hard" decoding of the transmitted information on the receiving side, and an illustration of its advantages compared to the classical algorithm of the Chinese theorem on the remnants

Её развитие существенно ограничивается существующим порочным кругом взаимозависимых проблем, которые не получили приемлемого разрешения, удовлетворяющего растущим практическим потребностям. В статье показана одна из реальных возможностей комплексного решения задач мониторинга, которая изначально была связана с экономным помехоустойчивым кодированием передаваемой информации, а в действительности послужила связующим звеном для объединения в систему основные составные части мониторинга: измерение, сбор и обработка получаемой информации.

Предлагаемые технические решения оказались наиболее предпочтительными и для решения многих задач, в том числе относящихся к технической (практической) разработке новых методов, используемых в информационных технологиях передачи данных, обеспечения их защиты от помех и оценивания достоверности полученных экспериментальных данных телеизмерений в условиях различных искажений и негативных воздействий.

### Список литературы

- Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. 1968. Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Сов. Радио, 140 с.
- Андерсон Р. 1979. Анализ временных рядов. М.: Мир, 578 с.
- Блейхут Р. 1986. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 576с.
- Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Кукушкин С.С. и др. 2016. Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов. М.: Машиностроение-Полет, 440с.
- Гладков И.А., Кукушкин С.С., Чаплинский В.С. 2008. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем. М.: МО РФ, 327с.
- Кукушкин С.С. 2018. Способ первичной обработки информации с обнаружением и исправлением ошибок передачи. Патент № 2658795, опубл. 22.06.2018, бюл. №18.
- Кукушкин С.С. 2003. Теория конечных полей и информатика: В 2т. - т.2: Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: изд-во МО РФ, 284 с.
- Макклеллан Дж., Рейдер Ч. 1983. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов. Пер. с англ. М. Радио и связь. 376с.
- Мироновский Л.А., Слаев В.А. 2010. Алгоритмы оценивания результатов трех измерений. СПб.: «Профессионал», 192с.
- Фомин С.В. 1980. Системы счисления. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 48с.
- Червяков Н.И., Сахнюк П.А., Шапошников А.В., Ряднов С.А. 2008. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем. под редакцией Н.И. Червякова. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 288 с.

### References

- Akushsky I.Ya., Yuditsky D.I. 1968. Machine arithmetic in residual classes. M.: Sov. Radio, 140 p.
- Anderson R. 1979. Analysis of time series. M.: Mir, 578 p.
- Blahut R. Theory and practice of error control codes. M.: Mir, 1986. 576 p.
- Bulychev Yu.G., Vasiliev V.V., Kukushkin S.S. et al. 2016. Information-measuring support of full-scale tests of complex technical complexes, M.: Mashinostroenie-Flight, 440 p.
- Chervyakov N.I., Sakhnyuk P.A., Shaposhnikov A.V., Ryadov S.A. 2008. Modular parallel computing structures of neuroprocessor systems. edited by N.I. Chervyakov. Moscow: FIZMATLIT, 288 p.
- Fomin S.V. 1980. Number systems. M.: Nauka. The main editorial office of the physical and mathematical literature, 48 p.
- Gladkov I.A., Kukushkin S.S., Chaplinsky V.S. 2008. Methods and information technologies for monitoring the state of dynamic systems. M.: MO RF, 327p.
- Kukushkin S.S. 2003. Finite field theory and informatics: In 2 volumes. v.2: Methods and algorithms, classical and non-traditional, based on the use of the constructive remainder theorem. M.: publishing house of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 284 p.



- Kukushkin S.S. 2018. The method of primary processing of information with the detection and correction of transmission errors. Patent No. 2658795, publ. 06.22.2018, bul. No. 18.
- McClellan J., Rader Ch. 1983. Application of number theory in digital signal processing. Per. from English - M. Radio and communication. 376 p.
- Mironovskiy L.A., Slaev V.A. 2010. Algorithms for estimating the results of three measurements. - St. Petersburg: «Professional», 192 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 12.09.2023

Поступила после рецензирования 02.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received September 12, 2023

Revised November 02, 2023

Accepted December 01, 2023

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ширяев Алексей Александрович**, главный специалист по вопросам эксплуатации НКИ космодрома «Восточный», АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королёв, Россия

**Махов Федор Сергеевич**, студент 4 курса факультета МГУ, Высшая школа управления Инновациями, г. Москва, Россия

**Олейник Иван Иванович**, кандидат технических наук, заведующий кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Прохоренко Екатерина Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexey A. Shiryaev**, Chief Specialist on the Operation of the NCI of the "Vostochny" Cosmodrome, Joint Stock Company "Central Research Institute of Machine Building", Korolev, Russia

**Fyodor S. Makhov**, 4th year Student of the Faculty of Moscow State University: Higher School of Innovation Management, Moscow, Russia

**Ivan I. Oleinik**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Ekaterina I. Prokhorenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia