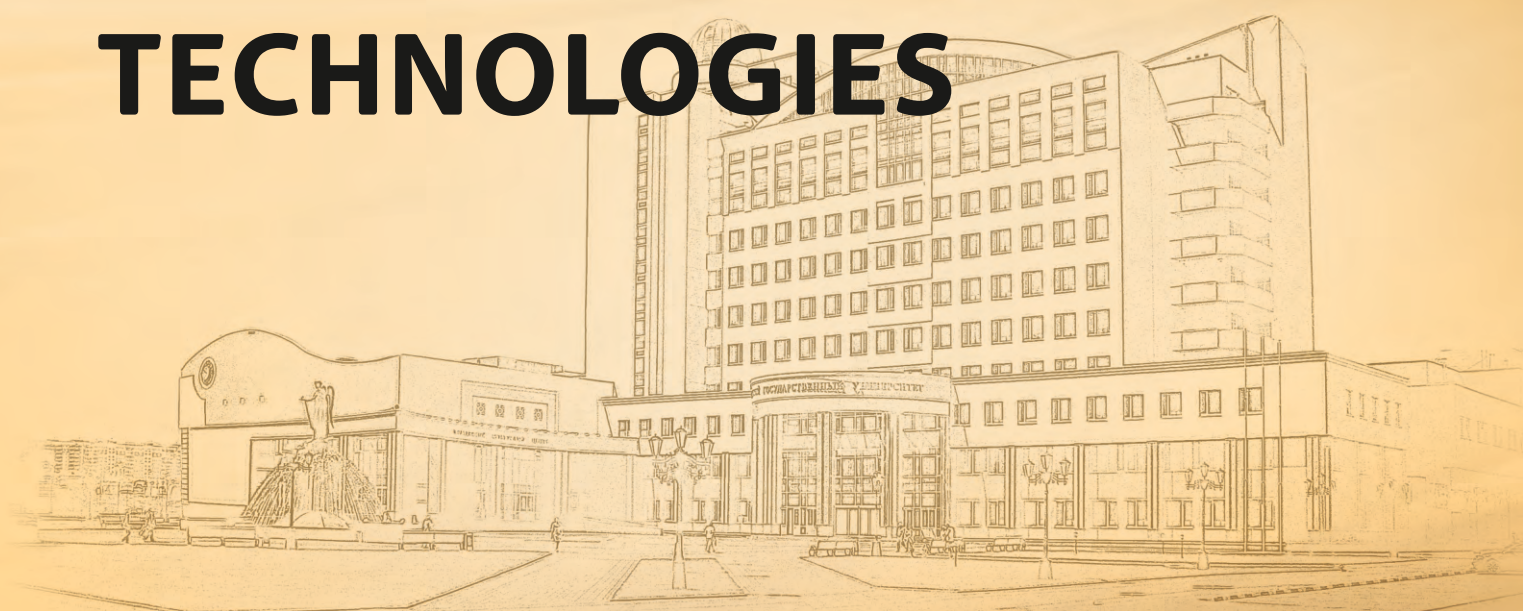


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2023. Том 50, № 3



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2023. Том 50, № 3

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

Ответственные секретари

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

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

Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Иващенко. Корректур, компьютерная верстка и оригинал-макет Т.В. Мезеря. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 25,6. Дата выхода 30.09.2023. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 491 **Бондарева Я.Ю.**
Влияние цифрового неравенства на пространственное развитие и сетевое взаимодействие регионов: актуальные исследования и подходы к оценке
- 501 **Борзова А.Д., Стрябова Е.А.**
Развитие межрегиональной интеграции субъектов Дальневосточного макрорегиона
- 514 **Оборин М.С.**
Экономический потенциал стратегического управления регионом в условиях макроэкономических кризисов
- 525 **Хижак Н.П.**
Совершенствование методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 539 **Веретёхин А.В.**
Актуальные цели и практические результаты управления цифровыми трансформациями коммерческих организаций
- 552 **Ярошевич Н.Ю.**
Механизм управления блокчейн-платформой: теоретические подходы к проблеме

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 569 **Митенков А.В.**
Концепция, методология и инструменты трансформации целеполагания и мотивации персонала IT-компаний
- 586 **Морозова И.А., Дмитриев А.С.**
О возможностях совершенствования управления социально ориентированными некоммерческими организациями (на примере Волгоградской области)
- 597 **Рабцевич А.А.**
Методические подходы к оценке развития молодежного предпринимательства в регионе: применимость налоговой статистики

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 612 **Орлова Е.В.**
Технология и модели обеспечения финансовой безопасности предприятия в условиях санкционных ограничений

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 624 **Гусев А.В.**
Автоматизация формирования выборок изображений естественных сцен для обучения и тестирования нейронных сетей
- 633 **Старцев Д.Ю., Логинов И.В., Родительский О.А.**
Численный метод расчета оптимального размещения датчиков на местности при ограничении пропускной способности
- 645 **Ясир М.Д.Я., Польщиков К.А., Маматов Е.М.**
Имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 655 **Пономарев Д.С.**
Иерархическая кластеризация на языке R для производственно-экономических показателей пенитенциарной системы
- 669 **Бушуев М.В., Беришев М.Ш., Беришева Е.Д., Востриков Е.И.**
Применение сети долгой краткосрочной памяти для прогнозирования цен акций в условиях неопределенности
- 681 **Полковская М.Н., Хабардин В.Н.**
Программа для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании
- 689 **Конев К.А.**
Машинное обучение для поддержки принятия решений в сфере качества на промышленном предприятии
- 704 **Адещенко К.Р.**
Возможности искусственного интеллекта в гражданском процессе

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 712 **Волчков В.П., Потапова Е.А.**
Модифицированный метод Прони с корректирующим сигналом управления

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2023. Volume 50, No. 3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭП № ФЦ 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 25.6. Date of publishing 30.09.2023. 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

- 491 **Bondareva Ya.Yu.**
The Impact of the Digital Divide on Spatial Development and Networking of Regions: Current Research and Assessment Approaches
- 501 **Borzova A.D., Strybkova E.A.**
Development of Interregional Integration of the Subjects of the Far Eastern Macroregion
- 514 **Oborin M.S.**
Economic Potential of Strategic Management of the Region in the Context of Macroeconomic Crises
- 525 **Khyzhak N.P.**
Improving the Methodology of Assessing the Effectiveness of the Free Economic Zone in the Republic of Crimea and Sevastopol

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 539 **Veretyokhin A.V.**
Actual Goals and Practical Results of Management for Digital Transformations of Commercial Organizations
- 552 **Yaroshevich N.Yu.**
Blockchain Platform Management Mechanism: Theoretical Approaches to the Problem

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 569 **Mitenkov A.V.**
Concept, Methodology and Tools for Transformation Goal-Setting and Motivation of IT-Company Personnel
- 586 **Morozova I.A., Dmitriev A.S.**
On the Possibilities of Improving the Management of Socially Oriented Non-profit Organizations (on the Example of the Volgograd Region)
- 597 **Rabtsevich A.A.**
Methodical Approaches to Assessing the Development of Youth Entrepreneurship in the Region: the Applicability of Tax Statistics

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

- 612 **Orlova E.V.**
Technology and Models for Ensuring of a Company Financial Security under Sanctions Restriction

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 624 **Gusev A.V.**
Automation of Sampling of Images of Natural Scenes for Training and Testing Neural Networks
- 633 **Startsev D.U., Loginov I.V., Roditelskiy O.A.**
Numerical Method for Calculating the Optimal Placement of Sensors on the Ground with Limited Bandwidth
- 645 **Yaser M., Polshchikov K.A., Mamatov E.M.**
Simulation Model of Functioning of a Low-Power Wireless Network

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 655 **Ponomarev D.S.**
Hierarchical Cluster Analysis in R for Production and Economic Indicators of the Penitentiary System
- 669 **Bushuev M.V., Berishev M.Sh., Berisheva E.D., Vostrikov E.I.**
Application of a Long Short-Term Memory Network to Predict Stock Prices under Uncertainty
- 681 **Polkovskaya M.N., Khabardin V.N.**
Program for Calculating the Specific Total Labor Intensity of Tractor Maintenance During their One-Season Use
- 689 **Konev K.A.**
Machine Learning for Quality Decision Support in an Industrial Enterprise
- 704 **Adeshchenko K.R.**
The Possibilities of Artificial Intelligence in the Civil Process

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 712 **Volchkov V.P., Potapova E.A.**
Modified Proni Method with a Correctional Control Signal

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332:004

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-491-500

Влияние цифрового неравенства на пространственное развитие и сетевое взаимодействие регионов: актуальные исследования и подходы к оценке

Бондарева Я.Ю.

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

Аннотация. Статья посвящена изучению влияния цифрового неравенства на пространственное развитие регионов и возможность формирования эффективного межрегионального взаимодействия. Сформулированы основные причины цифрового неравенства регионов РФ. На основе сравнительного анализа с использованием метода рейтинговых оценок выявлено значительное цифровое неравенство между регионами лидерами и аутсайдерами по уровню цифровизации. Автором предложен ряд мер по сокращению цифрового неравенства регионов, применение которых позволит сгладить диспропорции в уровнях цифровизации регионов и позитивно повлияет на развитие пространственно-сетевое взаимодействие. Интенсивное внедрение информационно-коммуникационных технологий откроет новые возможности по развитию межрегиональных взаимодействий и созданию эффективных сетевых структур.

Ключевые слова: цифровое неравенство, цифровизация, регион, межрегиональные связи, пространственно-сетевое взаимодействие

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

Для цитирования: Бондарева Я.Ю. 2023. Влияние цифрового неравенства на пространственное развитие и сетевое взаимодействие регионов: актуальные исследования и подходы к оценке. Экономика. Информатика, 50(3): 491-500. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-491-500

The Impact of the Digital Divide on Spatial Development and Networking of Regions: Current Research and Assessment Approaches

Yana Yu. Bondareva

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

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of digital inequality on the spatial development of regions and the possibility of forming effective interregional interaction. The main reasons for the digital inequality of the regions of the Russian Federation are formulated. Based on a comparative analysis using the rating method, a significant digital disparity between the leading and outsider regions in terms of digitalization was revealed. The author has proposed a number of measures to reduce the digital inequality of regions, the application of which will smooth out the disproportions in the levels of digitalization of regions and will positively affect the development of spatial and network interaction. Intensive

implementation of information and communication technologies will open up new opportunities for the development of interregional interactions and the creation of effective network structures.

Keywords: digital inequality, digitalization, region, interregional relations, spatial network interaction

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

For citation: Bondareva Ya.Yu. 2023 The Impact of the Digital Divide on Spatial Development and Networking of Regions: Current Research and Assessment Approaches. Economics. Information technologies, 50(3): 491-500 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-491-500

Введение

Современные реалии свидетельствуют о том, что цифровизация регионов РФ является одним из ведущих направлений государственного развития. Стремительное внедрение информационных электронно-сетевых технологий, инновационных средств коммуникации во все сферы социально-экономической жизни страны приводит к повышению эффективности государственного и регионального регулирования. В результате сложившихся тенденций возникают и новые возможности в формировании пространственно-сетевого взаимодействия между регионами, переток знаний, технологий, капитала и как результат эффективное функционирование социально-экономического пространства.

Несмотря на активное использование инструментов цифровизации уровень цифрового неравенства социально-экономического пространства в Российской Федерации остается высоким. Также значительное влияние на цифровой разрыв оказывает дифференциация регионов России по социально-экономическому развитию. Изучение взаимовлияния цифрового неравенства и уровня социально-экономического развития регионов позволит определить новые возможности при формировании эффективных пространственно-сетевых взаимодействий внутри страны. Диффузия цифровых технологий не равномерна в пространстве, так часть регионов РФ уже обладает высоким уровнем цифровизации, в то же время остаются регионы с высоким уровнем отставания. Снижение регионального цифрового неравенства, на наш взгляд, будет способствовать обеспечению реального цифрового суверенитета с учетом пространственных особенностей развития Российской Федерации. Необходимо создание условий для эффективного цифрового развития территорий, что непосредственно будет способствовать сетевому взаимодействию регионов.

Цель статьи определяется актуальностью исследования причин цифрового неравенства и его влияния на пространственное развитие регионов РФ, формирования эффективного межрегионального взаимодействия на основе сетевых структур. На наш взгляд, реализация мер, направленных на сокращение цифрового неравенства, поспособствует развитию межрегиональных взаимодействий, создает благоприятную среду для притока знаний, технологий, капитала.

Материалы и методы

Методология представленного исследования основана на контент-анализе эмпирических данных, научной литературы по заявленной теме, анализе современных подходов и методов оценки цифрового неравенства, использовании статистических методов обработки информации. В статье проведен сравнительный анализ с использованием метода рейтинговых оценок, на основе ранжирования исследуемых субъектов РФ по степени убывания уровня цифровизации за 2019 и 2021 годы. Исходными данными для анализа послужили результаты исследования А.Х. Казанбиевой по оценке уровня цифровизации российских регионов [Казанбиева, 2023].

Результаты и их обсуждение

Для формирования первичных выводов о возможном влиянии цифрового неравенства на пространственное развитие и сетевое взаимодействие регионов, следует провести анализ научных трудов по теме исследования. Значительный научный вклад по представленной проблематике среди зарубежных ученых внесли Van Dijk J. [2020], Schradie J. [2011], Acilar A. [2011], Szeles M.R. [2018], Myovella G., Karacuka M., Naucap J. [2020],

Murthy K.V.B., Kalsie A., Shankar R. [2021], Lai J., Widmar N.O. [2021]. В работах представленных авторов проведен глубокий анализ основных аспектов влияния цифровизации на социально-экономический уровень развития различных регионов и стран.

Проблематика цифрового неравенства регионов притягивает внимание и российских ученых на протяжении длительного периода времени. Научным исследованиям в этом направлении посвящены работы таких авторов, как Александрова Т.В. [2019], Дронов В.Н., Махрова О.Н. [2015], Дятлов С.А., Селищева Т.А. [2014], Селищева Т.А., Асалханова С.А. [2019], Сафиуллин А.Р., Моисеева О.А. [2019]. Исследование региональных аспектов цифрового неравенства, а в частности эффектов цифровой трансформации экономики на качество жизни в регионах РФ проведено авторами Литвинцевой Г.П., Карелиным И.Н. [2020].

Большинство из представленных авторов в своих работах пришли к умозаключению, что цифровое неравенство и уровень цифровизации пространства влияют на региональное социально-экономическое развитие. Наряду с этим, в научной среде существует мнение, что стихийный рост применения ИКТ может приводить к усилению цифрового разрыва между регионами с разным уровнем социально-экономического развития, усиливать дифференциацию и тем самым ставить под вопрос возможности формирования пространственно-сетевых форм взаимодействия.

По мнению значительного числа исследователей, первопричиной цифрового разрыва выступает «неравномерность социально-экономического развития регионов» [Дронов, Махрова, 2015; Александрова, 2019], «социально-экономическая дифференциация российских регионов», «экономическое неравенство» [Дятлов, Селищева, 2014; Селищева, Асалханова, 2019], «экономические параметры» [Литвинцева, Карелин, 2020].

Таким образом, мы можем констатировать наличие так называемого взаимовлияния цифрового неравенства и уровня социально-экономического развития регионов. Но наряду с этим, имеет место предположение, что не цифровое неравенство порождает различия в экономическом развитии регионов, а, наоборот, низкий уровень развития регионов ведет к социально-экономической дифференциации и возникновению цифрового неравенства (цифрового разрыва).

По результатам анализа проблематики цифрового неравенства регионов нами были выявлены и обобщены основные причины такого явления (рис. 1).

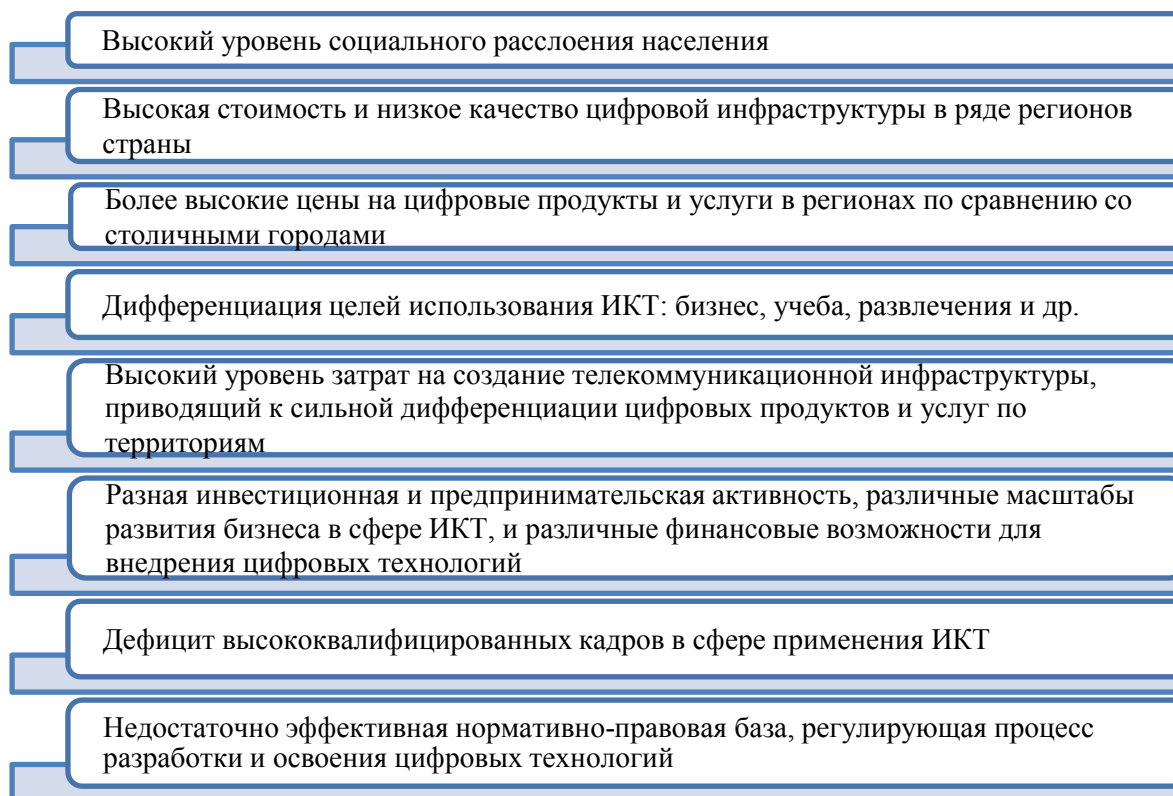


Рис. 1. Основные причины цифрового неравенства регионов РФ
Fig. 1. The main causes of digital inequality in the regions of the Russian Federation

На наш взгляд, именно эти причины являются одним из основных препятствий в формировании на основе инструментов цифровизации новых пространственно-сетевых взаимодействий между регионами. Сокращение цифровых разрывов позволит регионам минимизировать затраты, сроки и разного уровня бюрократические барьеры при формировании новых пространственных сетей.

При изучении влияния цифрового неравенства на социально-экономическое развитие основополагающим является проведение оценки уровня цифровизации российских регионов. На сегодняшний день не существует универсального метода расчёта цифрового неравенства, который позволял быстро, эффективно с высокой степенью точности отобразить пространственную картину цифрового неравенства. Нами были выявлены наиболее часто используемые в современных исследованиях методы для оценки цифрового неравенства регионов (рис. 2).

Индекс «Цифровая Россия»	Расчет средневзвешенной оценки по семи базовым субиндексам: нормативное регулирование и административные показатели цифровизации; специализированные кадры и учебные программы; наличие и формирование исследовательских компетенций и технологических заделов, включая уровень научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; информационная инфраструктура; информационная безопасность; экономические показатели цифровизации; социальный эффект от внедрения цифровизации.
Национальный индекс развития цифровой экономики	Основан на сравнительной оценке уровня развития цифровой экономики в России, развитых странах и государствах, входящих в состав значимых для России объединений (ЕС, ОЭСР, С20, БРИКС, ШОС). В расчет включены более 200 показателей, имеющих как количественный, так и качественный характер. Может быть использован как информационно-аналитический инструмент в процессах разработки и корректировки политики развития цифровой экономики в Российской Федерации.
Индекс «Цифровая экономика»	Рассчитывается на основе 5-ти групп параметров, определенных направлениями национального проекта «Цифровая экономика РФ»: кадры и образование; формирование исследовательских компетенций и технических заделов; информационная инфраструктура; информационная безопасность; нормативное регулирование (экспертная оценка регионального законодательства в сфере развития цифровой экономики).
Интегральный показатель уровня цифровизации территорий	Расчет основывается на пересекающемся наборе 13-ти исходных показателей, собираемых Росстатом и Евростатом, для каждого из которых предлагается определение весов через оценку среднеквадратического отклонения по каждому нормированному частному критерию. Субинтегральные компоненты оценки (уровни цифровизации в секторе населения и/или домашних хозяйств и бизнесе) и интегральный индекс рассчитываются посредством аддитивной свертки.
Метод пространственной оценки третьего (регионального) уровня цифрового неравенства	Осуществляется с помощью анализа популярности поисковых запросов Google по категориям, выделенным в качестве маркеров оценки эффективности использования Интернета населением. Рассчитываются индексы популярности поисковых запросов по каждой из категорий, и затем на их основе вычисляется интегральный индекс эффективности использования сети Интернет в регионах России.
Индекс развития информационного общества в субъектах РФ	$\text{ИРИО} = 1/3 * \text{Иф} + 2/3 * \text{Ии}$ где ИРИО – индекс развития информационного общества в субъектах РФ, Иф – подиндекс «Факторы развития информационного общества», Ии – подиндекс «Использование населением и организациями информационно-коммуникационных технологий».
Индекс активности субъектов цифровизации региона	Включает 3 параметра (цифровая активность населения, цифровая активность организаций, цифровизация государства) и 17 показателей.

Рис. 2. Методы оценки цифрового неравенства регионов (составлен на основе данных [Груздева, 2023; Методология расчета индекса «Цифровая Россия» субъектов Российской Федерации, 2019; Национальный индекс развития цифровой экономики, 2018])
Fig. 2. Methods for assessing the digital inequality of regions (compiled on the basis of data [Gruzdeva, 2023; Methodology for calculating the index "Digital Russia" of the subjects of the Russian Federation, 2019; National Index of Digital Economy Development, 2018])

Анализируя представленные методики расчета цифрового неравенства регионов, можно сделать вывод, что в каждой есть свои преимущества и недостатки. Основными недостатками, затрудняющими проведение полноценных изысканий, являются: ограниченный доступ по целому ряду статистических данных, а также сложность организации и стоимость проведения исследования на основе опросов.

Используя расчеты рейтинга цифровизации регионов РФ за 2019 и 2021 годы [Казанбиева, 2023], нами были выбраны 15 регионов лидеров и 15 регионов аутсайдеров для анализа цифрового разрыва между регионами.

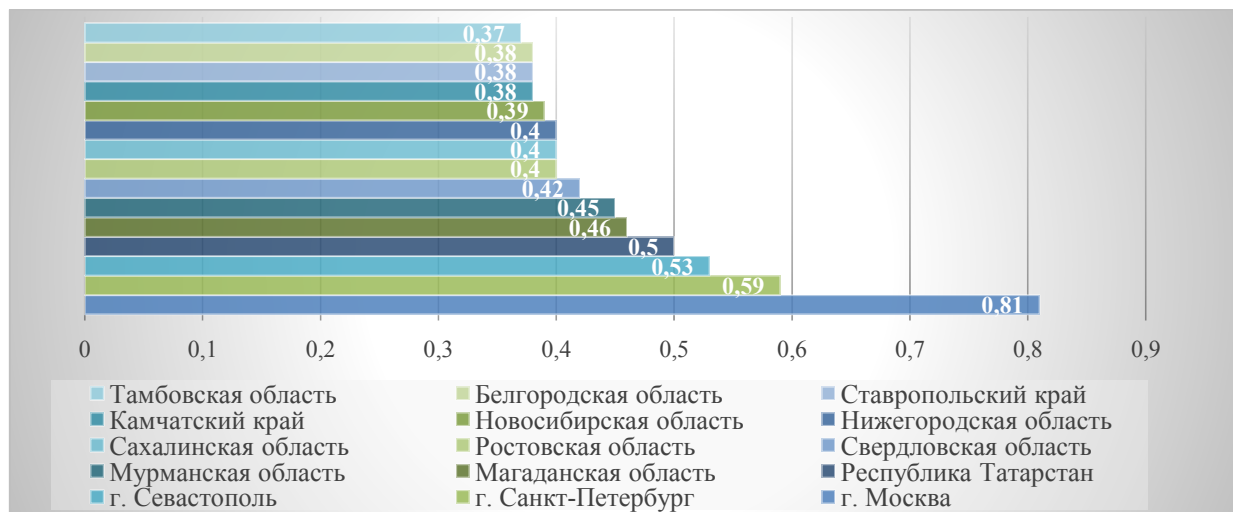


Рис. 3. Субъекты РФ, занявшие лидирующие позиции в рейтинге по уровню цифровизации в 2019 г. (построен автором по данным источника [Казанбиева, 2023])

Fig. 3. The subjects of the Russian Federation with the leading positions in the ranking by the level of digitalization in 2019 (built by the author according to the source [Kazanbieva, 2023])

Анализируя данные, представленные на рисунке 3, наблюдается большой разрыв в уровне цифровизации г. Москва и остальных лидеров рейтинга. Объясняется данное обстоятельство высоким уровнем социально-экономического развития, наличием инновационной инфраструктуры, высокой концентрацией квалифицированных кадров в сфере ИКТ в столице. Уровень цифрового разрыва между остальными регионами не велик, некоторые регионы по уровню цифровизации имеют одинаковые значения. На наш взгляд, однородность уровня цифровизации между регионами лидерами является положительным явлением.

Далее рассмотрим рейтинговые значения регионов аутсайдеров по уровню цифровизации в 2019 году (рис. 4).

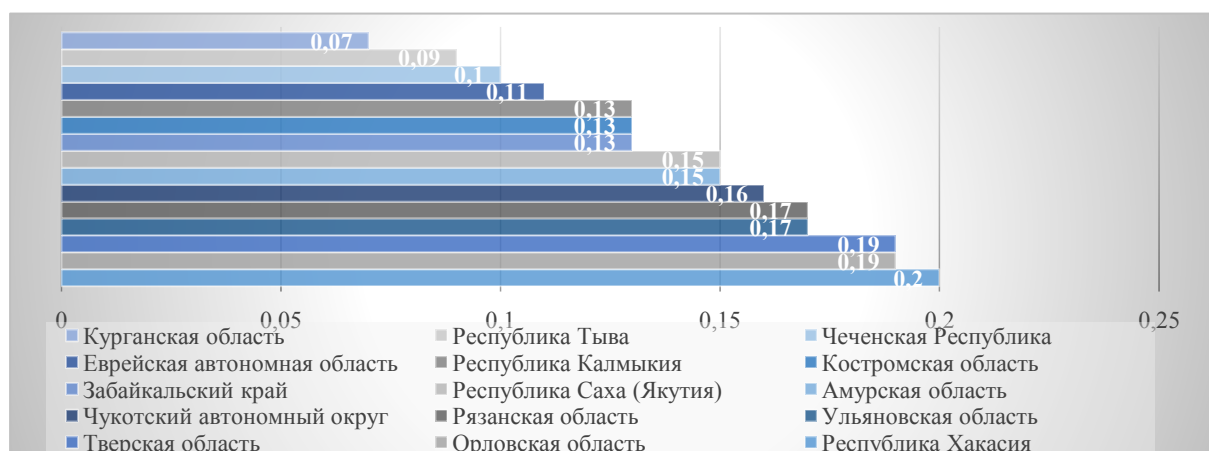


Рис. 4. Субъекты РФ – аутсайдеры в рейтинге по уровню цифровизации в 2019 г. (построен автором по данным источника [Казанбиева, 2023])

Fig. 4. The subjects of the Russian Federation – outsiders in the ranking by the level of digitalization in 2019. (built by the author according to the source [Kazanbieva, 2023])

Отметим, что между регионами с наименьшими значениями по уровню цифровизации существенных разрывов не наблюдается, но в сравнении с регионами лидерами цифровой разрыв достигает очень высоких значений.

Анализируя данные рейтинга уровня цифровизации за 2021 год, необходимо отметить значительные изменения в составе групп лидеров (рис. 5) и аутсайдеров (рис. 6). Существенно снизился интегральный показатель цифровизации.

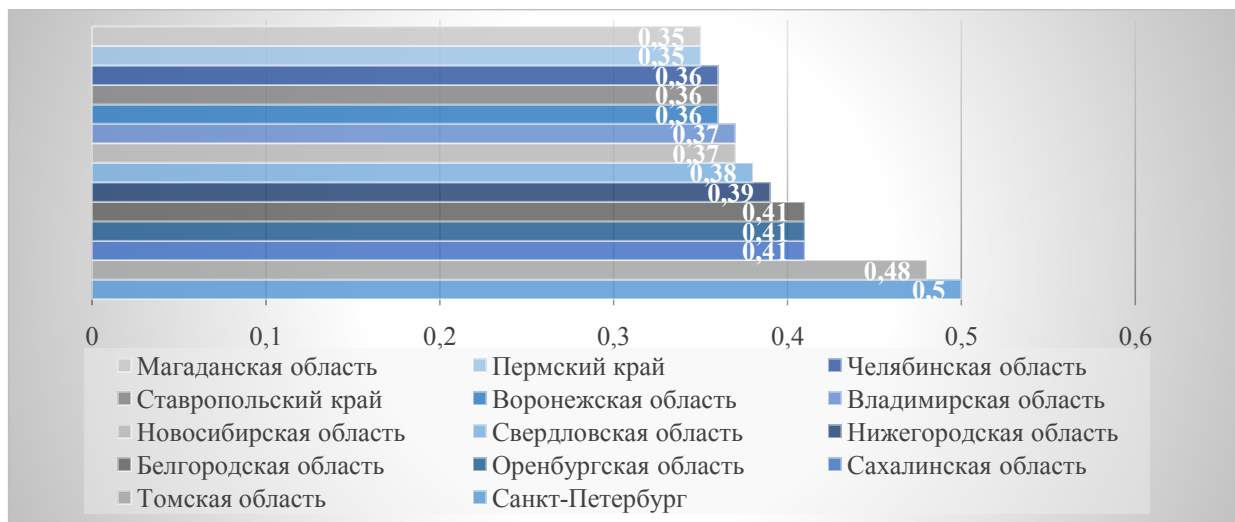


Рис. 5. Субъекты РФ, занявшие лидирующие позиции в рейтинге по уровню цифровизации в 2021 г. (построен автором по данным источника [Казанбиева, 2023])

Fig. 5. The subjects of the Russian Federation with the leading positions in the ranking by the level of digitalization in 2021 (built by the author according to the source [Kazanbieva, 2023])

Наблюдается ухудшение ситуации с развитием цифровых технологий в регионах страны. На наш взгляд, такие негативные изменения в 2021 году связаны с пандемией COVID-19, нарастающим давлением западных санкций, ограничением в доступе к новым технологиям и оборудованию. В таких условиях сложно развивать цифровую инфраструктуру, создавать условия для формирования благоприятной среды и развития цифровых технологий. Разрыв между регионами лидерами и регионами аутсайдерами в 2021 году сократился. Но мы не можем отнести это изменение к положительной тенденции, так как оно происходит на фоне общего снижения интегральных показателей цифровизации.

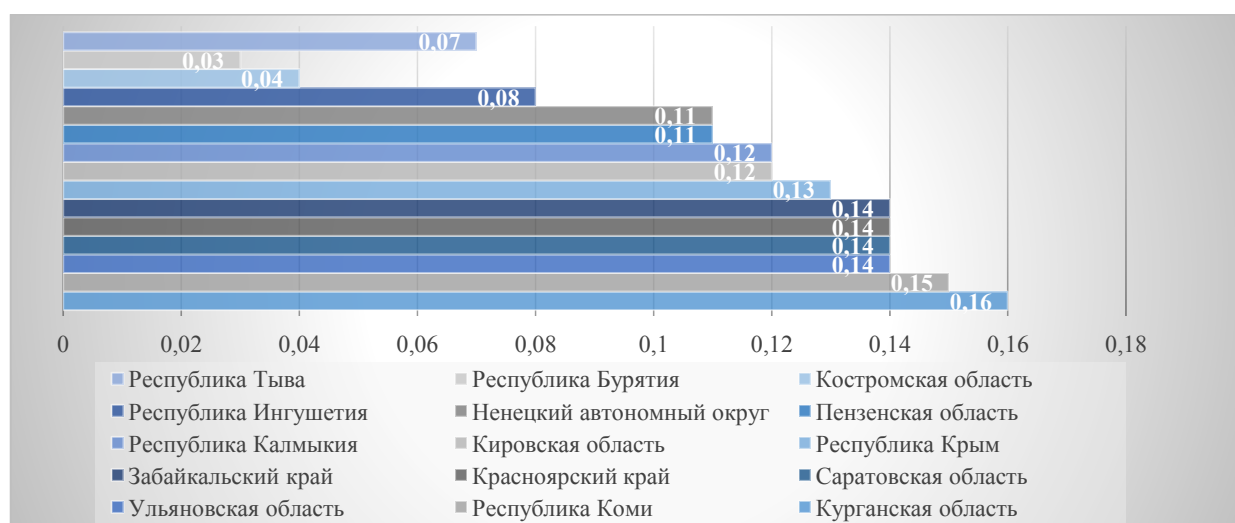


Рис. 6. Субъекты РФ – аутсайдеры в рейтинге по уровню цифровизации в 2021 г. (построен автором по данным источника [Казанбиева, 2023])

Fig. 6. The subjects of the Russian Federation – outsiders in the ranking by the level of digitalization in 2021. (built by the author according to the source [Kazanbieva, 2023])

Неоднородность цифровизации территории РФ с каждым годом усиливается, и эта негативная тенденция не может не сказываться на межрегиональном сотрудничестве. Больше вероятности возникновения пространственно-сетевого взаимодействия у регионов с относительно равным уровнем цифровизации и это обстоятельство формирует дополнительные барьеры в формировании сетей, перетоке знаний, технологий и капитала.

Выдвинем предположение, что сложившаяся ситуация является в большей степени временным явлением. Стабилизация ситуации с пандемией, выход на новые рынки, создание и внедрение собственных информационно-коммуникационных технологий позволит переломить негативную тенденцию.

В качестве мер по сокращению (преодолению) цифрового неравенства регионов РФ можно предложить следующие (рис. 7).

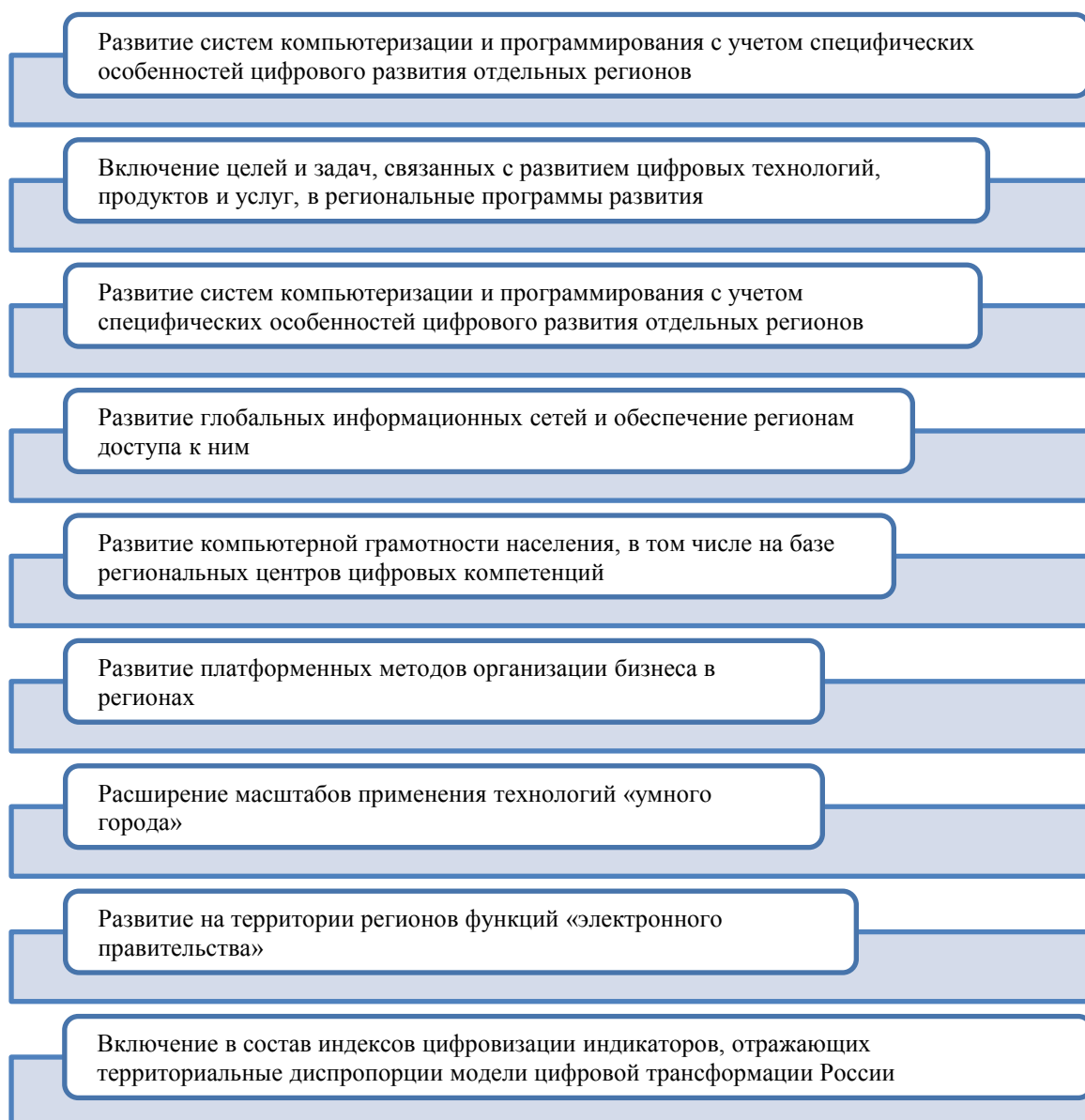


Рис. 7. Меры, направленные на сокращение цифрового неравенства регионов РФ
Fig. 7. Measures aimed at reducing the digital inequality of the regions of the Russian Federation

Изучив проблематику цифрового неравенства и его влияния на пространственное развитие, мы пришли к выводу, что самым эффективным решением является внедрение информационно-коммуникационных технологий в регионах. Интенсивное использование

ИКТ окажет эффект выравнивания уровня цифрового развития, повысит эффективность региональных социально-экономических систем, создаст возможности для повышения степени согласованности пространственно-сетевого взаимодействия. Использование информационно-коммуникационных технологий с целью координации деятельности пространственно-сетевых структур позволит уменьшить информационную асимметрию территорий, повысит готовность регионов к интегрированию и долгосрочному сотрудничеству, а также сделает это сотрудничество более эффективным [Бондарева, 2023]. Внедрение информационно-коммуникационных технологий откроет новые возможности в обмене данными, перетоке знаний, технологий, капитала между региональными экономическими системами, окажет техническую, информационную поддержку в формировании устойчивых и эффективных пространственно-сетевых связей.

Заключение

В заключение отметим, что, несмотря на пристальное внимание со стороны государства на развитие цифровой экономики в Российской Федерации, не решенными остаются многие проблемы, в частности цифровое неравенство регионов. Для решения поставленных задач необходимо прилагать больше усилий для развития цифровых технологий в России, включая инвестирование в развитие инфраструктуры, обучение специалистов в области цифровых технологий и создание благоприятной цифровой среды в регионах. Развитие цифровой экономики, преодоление цифрового неравенства регионов создаст условия для сотрудничества и координации между различными заинтересованными сторонами, правительственными органами, бизнес-сообществами и общественностью на региональном уровне и позволит сформировать устойчивые, эффективные пространственно-сетевые формы взаимодействия.

Реализация приоритетных направления цифровизации, интенсивное внедрение ИКТ должно способствовать развитию межрегиональных взаимодействий, росту экономических и стратегических показателей регионов.

Список источников

- Методология расчета индекса «Цифровая Россия» субъектов Российской Федерации. URL: https://finance.skolkovo.ru/downloads/documents/FinChair/Research_Reports/SKOLKOVO_Digital_Russia_Methodology_2019-04_ru.pdf (дата обращения 01.07.2023)
- Национальный индекс развития цифровой экономики: Пилотная реализация. 2018. Госкорпорация «Росатом», 92 с.

Список литературы

- Александрова Т.В. 2019. Цифровое неравенство регионов России: причины, оценка, способы преодоления. Экономика и бизнес: теория и практика, 8: 9-12.
- Бондарева Я.Ю. 2023. Влияние цифровизации на развитие пространственно-сетевого взаимодействия российских регионов: Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. ПОЛИТЕХ-ПРЕСС: 348-351.
- Груздева М.А. 2023. Цифровое благополучие населения региона: подходы к оценке. Проблемы развития территории, 27(1): 130-144. DOI: 10.15838/ptd.2023.1.123.8
- Дронов В.Н., Махрова О.Н. 2015. Цифровое неравенство Рязанской области. Издательство Санкт-Петербургского университета управления и экономики, 148 с.
- Дятлов С.А., Селищева Т.А. 2014. Регионально-пространственные характеристики и пути преодоления цифрового неравенства в России. Экономика образования, 2: 48-52.
- Казанбиева А.Х. 2023. Оценка уровня цифровизации российских регионов. Инновации и инвестиции, 4: 369-375.
- Литвинцева Г.П., Карелин И.Н. 2020. Эффекты цифровой трансформации экономики и качества жизни населения в России. Terra Economicus, 18(3): 53–71.

- Сафиуллин А.Р., Моисеева О.А. 2019. Цифровое неравенство: Россия и страны мира в условиях четвертой промышленной революции. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки, 6: 26-37.
- Селищева Т.А., Асалханова С.А. 2019. Проблемы цифрового неравенства регионов России. Проблемы современной экономики, 3(71): 230-234.
- Acılar A. 2011. Exploring the aspects of digital divide in a developing country. Issues in Informing Science and Information Technology, 8: 231-244.
- Lai J., Widmar N. O. 2021. Revisiting the Digital Divide in the COVID-19 Era. Applied economic perspectives and policy, 43(1): 458-464.
- Murthy K. V. B., Kalsie A., Shankar R. 2021. Digital economy in global perspective: is there a digital divide? Transnational Corporations Review: 1-15.
- Myovella G., Karacuka M., Haucap J. 2020. Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies. Telecommunications Policy, 44(2): 101856.
- Schradie J. 2011. The digital production gap: The digital divide and Web 2.0 collide. Poetics, 39(2): 145-168.
- Szeles M. R. 2018. New insights from a multilevel approach to the regional digital divide in the European Union. Telecommunications Policy, 42(6): 452-463.
- Van Dijk J. 2020. The digital divide. John Wiley & Sons, 208 p.

References

- Aleksandrova T.V. 2019. Cifrovoe neravenstvo regionov Rossii: prichiny, ocenka, sposoby preodoleniya [Digital inequality in Russia's Regions: causes, assessment, ways to overcome]. Ekonomika i biznes: teoriya i praktika, 8: 9-12.
- Bondareva Ya. Yu. 2023. Vliyanie cifrovizacii na razvitie prostranstvenno-setevogo vzaimodejstviya rossijskih regionov [The impact of digitalization on the development of spatial and network interaction of Russian regions]: Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Sankt-Peterburg. POLITEKH-PRESS: 348-351.
- Gruzdeva M.A. 2023. Cifrovoe blagopoluchie naseleniya regiona: podhody k ocenke [Digital well-being of the region's population: approaches to assessment]. Problemy razvitiya territorii, 27(1): 130-144. DOI: 10.15838/ptd.2023.1.123.8
- Dronov V.N., Mahrova O.N. 2015. Cifrovoe neravenstvo Ryazanskoj oblasti [Digital inequality of the Ryazan region]. Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta upravleniya i ekonomiki, 148 s.
- Dyatlov S.A., Selishcheva T.A. 2014. Regional'no-prostranstvennye harakteristiki i puti preodoleniya cifrovogo neravenstva v Rossii [Regional-spatial characteristics and ways to overcome digital inequality in Russia]. Ekonomika obrazovaniya, 2: 48-52.
- Kazanbieva A.H. 2023. Ocenka urovnya cifrovizacii rossijskih regionov [Assessment of the level of digitalization of Russian regions]. Innovacii i investicii, 4: 369-375.
- Litvinceva G.P., Karelin I.N. 2020. Effekty cifrovoj transformacii ekonomiki i kachestva zhizni naseleniya v Rossii [Effects of the digital transformation of the economy and the quality of life of the population in Russia]. Terra Economicus, 18(3): 53–71.
- Safiullin A.R., Moiseeva O.A. 2019. Cifrovoe neravenstvo: Rossiya i strany mira v usloviyah chetvertoj promyshlennoj revolyucii [Digital inequality: Russia and the countries of the world in the conditions of the Fourth Industrial Revolution]. Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki, 6: 26-37.
- Selishcheva T.A., Asalhanova S.A. 2019. Problemy cifrovogo neravenstva regionov Rossii [Problems of digital inequality in Russia's regions]. Problemy sovremennoj ekonomiki, 3(71): 230-234.
- Acılar A. 2011. Exploring the aspects of digital divide in a developing country. Issues in Informing Science and Information Technology, 8: 231-244.
- Lai J., Widmar N.O. 2021. Revisiting the Digital Divide in the COVID-19 Era. Applied economic perspectives and policy, 43(1): 458-464.
- Murthy K. V. B., Kalsie A., Shankar R. 2021. Digital economy in global perspective: is there a digital divide? Transnational Corporations Review: 1-15.
- Myovella G., Karacuka M., Haucap J. 2020. Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies. Telecommunications Policy, 44(2): 101856.
- Schradie J. 2011. The digital production gap: The digital divide and Web 2.0 collide. Poetics, 39(2): 145-168.



- Szeles M. R. 2018. New insights from a multilevel approach to the regional digital divide in the European Union. *Telecommunications Policy*, 42(6): 452-463.
Van Dijk J. 2020. *The digital divide*. John Wiley & Sons, 208 p.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бондарева Яна Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Yana Y. Bondareva, PhD in Economics, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.122

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-501-513

Развитие межрегиональной интеграции субъектов Дальневосточного макрорегиона

Борзова А.Д., Стрябкова Е.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

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

E-mail: borzova.anzhela@yandex.ru, stryabkova@bsu.edu.ru

Аннотация. Целью исследования является анализ уровня развития межрегиональной интеграции дальневосточного макрорегиона и выявление факторов, сдерживающих данный процесс. Дальневосточный федеральный округ с каждым годом всё больше увеличивает своё влияние на развитие Российской экономики. До введения экономических санкций во многих исследованиях ДВФО рассматривался как транзитный регион, связывающий центральную Россию с Азией. Изменение политической ситуации заострило внимание экономистов на вопросах развития внутреннего товарооборота субъектов РФ, что подтверждает актуальность данного исследования. Оценка уровня развития межрегиональной интеграции Дальнего Востока и выявление факторов, сдерживающих данный процесс, является основной целью исследования. Проведенный анализ социально-экономической ситуации ДВФО основывался на статистических экономических показателях регионов Дальнего Востока. В результате сравнительного анализа динамики и структуры автором были определены основные пути развития. Помимо расширения добывающей отрасли, важно диверсифицировать структуру экономики, уделяя особое внимание производству социально-значимых товаров. Сложная внешнеполитическая обстановка является серьёзным стимулом развития местного производства и расширению экономических связей не только внутри макрорегиона, но и со всеми субъектами РФ. В результате исследования отмечено наличие тенденции постепенного изменения интенсивности торговых отношений Дальнего Востока в пользу географически близких регионов и остального внутреннего рынка.

Ключевые слова: межрегиональная интеграция, торговый оборот, региональная экономика, внутрирегиональный рынок, макрорегион, дальний восток

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

Для цитирования: Борзова А.Д., Стрябкова Е.А. 2023 Развитие межрегиональной интеграции субъектов Дальневосточного макрорегиона. Экономика. Информатика, 50(3): 501-513. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-501-513

Development of Interregional Integration of the Subjects of the Far Eastern Macroregion

Anzhelika D. Borzova, Elena A. Stryabkova

Belgorod National Research University

85 Pobedy str., Belgorod, 308015, Russian Federation

E-mail: borzova.anzhela@yandex.ru, stryabkova@bsu.edu.ru

Abstract. The purpose of the study is to analyze the level of development of interregional integration of the Far Eastern macroregion and identify the factors constraining this process. The Far Eastern Federal District is increasing its influence on the development of the Russian economy every year. Before the introduction of economic sanctions, many studies considered the Far Eastern Federal District as a transit region connecting central Russia with Asia. The change in the political situation has focused the attention

of economists on the development of domestic trade turnover of the subjects of the Russian Federation, which confirms the relevance of this study. Assessment of the level of development of interregional integration of the Far East and identification of factors constraining this process is the main purpose of the study. The analysis of the socio-economic situation of the Far Eastern Federal District was based on statistical economic indicators of the regions of the Far East. As a result of a comparative analysis of dynamics and structure, the author identified the main ways of development. In addition to expanding the extractive industry, it is important to diversify the structure of the economy, paying special attention to the production of socially significant goods. The difficult foreign policy situation is a serious incentive for the development of local production and the expansion of economic ties not only within the macroregion, but also with all subjects of the Russian Federation. As a result of the study, there is a tendency of gradual change in the intensity of trade relations of the Far East in favor of geographically close regions and the rest of the domestic market.

Keywords: interregional integration, trade turnover, regional economy, intraregional market, macroregion, Far East

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

For citation: Borzova A.D., Stryabkova E.A. 2023. Development of Interregional Integration of the Subjects of the Far Eastern Macroregion. Economics. Information technologies, 50(3): 501-513 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-501-513

Введение

Уровень развития экономики регионов Дальнего Востока во многом зависит от климатических условий, процесса освоения новых природных ресурсов, наличия транспортных, энергетических и других инфраструктурных ограничений, а также внешнеполитической обстановки. Перечисленные факторы напрямую влияют и на обеспечение продовольственной безопасности отдельно взятых регионов Дальнего Востока, так как большая часть продуктовой потребности населения покрывается товарами, импортируемыми из других регионов России и из-за границы. В связи с этим вопросы укрепления экономических взаимоотношений и увеличение товарооборота между регионами ДВФО и другими регионам России становятся наиболее актуальными.

В 2017 году Президентом РФ был подписан Указ «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». Одной из основных задач данной Стратегии является создание региональных и трансрегиональных интеграционных объединений с соблюдением национальных интересов Российской Федерации, а уровень межрегиональной интеграции трактуется как один из показателей экономической безопасности государства [Коваленко, Зинчук, 2018].

С теоретической точки зрения интеграция представляет собой процесс сближения самостоятельных частей, направленный в сторону взаимного сотрудничества и формирования целостной системы.

С экономической точки зрения выделяются:

1. Внутренняя интеграция (в рамках региона или одной страны);
2. Внешняя интеграция (при взаимодействии двух и более регионов, национальных экономик);
3. Территориальная интеграция (взаимодействие по географическому принципу – создание технопарков, промышленных округов, инновационных кластеров);
4. Отраслевая интеграция (по отраслям экономики);
5. Вертикальная интеграция (объединение производств смежных отраслей, связанных единой технологической цепочкой);
6. Горизонтальная интеграция (объединение хозяйственных субъектов одного и того же профиля);

7. Торговая интеграция (создание в рамках национальной экономики или региона зон свободной торговли);

8. Производственная интеграция (развитие сотрудничества поставщиков и производителей в границах региона, национальных экономик);

9. Валютно-финансовая интеграция (объединение экономик независимых стран) [Региональная экономическая интеграция, 2022].

В свою очередь, важным фактором для внутреннего развития государств является наличие межрегиональной интеграции, которая представляет собой социально-экономическое взаимодействие территориальных субъектов страны.

Маклашова Е.Г. в своей статье трактует процесс межрегиональной интеграции, как развитие экономических, политических, а также любых других связей между регионами, уделяя особое внимание необходимости укрепления правовой базы в данном вопросе [Маклашова, 2021].

Согласно мнению автора Коваленко Е.Г., межрегиональные экономические связи представляют собой систему взаимодействия производств в региональных интересах, специализация и размещение которых зависит от природно-географических условий [Коваленко, Зинчук, 2018].

Интеграция территориальных социально-экономических систем способствует взаимодополнению экономик регионов. При этом наличие товарооборота с приграничными регионами обеспечивает приток отсутствующих импортных товаров, а также обеспечивает экспорт продукции отдаленных от границы регионов, выстраивая прочные транспортные и торговые связи.

Межрегиональная интеграция заключается в наличии следующих процессов:

1. Установление производственно-технологических связей между ранее разрозненными производствами;

2. Разработка эффективной системы взаимодействия между элементами региональной экономики (обмен природными, промышленными и трудовыми ресурсами, объединение капиталов, снятие взаимных барьеров);

3. Распределение, обмен и потребление произведенной продукции.

Межрегиональный интеграционный потенциал можно оценить путем анализа таких показателей, как:

– Целостность – представляет собой систему взаимосвязей и взаимодействий регионов на принципах единства целевых стратегических функций для формирования общего экономического пространства.

– Сложность – состоит в формировании новой совокупности ресурсов, вовлеченных в социально-экономические процессы интегрируемых регионов.

– Свойство взаимозаменяемости элементов интеграционного потенциала объясняется новыми возможностями использования совокупных ресурсов интегрируемых регионов. Большинство исследований процесса взаимозаменяемости посвящено вопросам трудовых, производственных и других ресурсов [Дулесов, Краснова, Плотникова, 2022].

Материалы и методы

Межрегиональную интеграцию можно рассматривать как мощный антикризисный фактор для целого ряда регионов. В связи с этим, путем применения методов теоретического обоснования и научного абстрагирования, дедукции и индукции была осуществлена оценка текущего состояния межрегиональной интеграции дальневосточных регионов.

В процессе анализа и формулирования выводов использовался сравнительный анализ динамики и структуры основных показателей межрегиональной интеграции Дальневосточного макрорегиона, а также методы прогнозирования логического анализа и синтеза, графической интерпретации данных.

Основными источниками для написания данной статьи послужили данные Федеральной службы государственной статистики и сайта ЦБ РФ.

Результаты исследования и дискуссия

Дальневосточный федеральный округ (ДФО) занимает 36,4% территории России, но на ней проживает только 4,6% населения. На макрорегион приходится самая протяженная линия сухопутных и морских границ РФ, его территория представляет собой обширное пространство с разными климатическими и ресурсными условиями, на котором расположены крупные административные единицы.

Для рационального использования экономического потенциала дальневосточного макрорегиона в 1990 году была создана Межрегиональная Ассоциация экономического взаимодействия субъектов Российской Федерации «Дальний Восток и Забайкалье». Данная ассоциация представляет собой ключевой и продуктивным ресурсом координации действий субъектов – членов Ассоциации, федеральных органов власти, предпринимательского сообщества в вопросах экономического и социального развития макрорегиона [Дальний Восток и Забайкалье, 2022].

Наиболее важные задачи Ассоциации заключаются в выделении существующих проблем ее территорий, а именно высокие цены на большинство товаров и услуг, завышенная стоимость потребительской корзины жителей Дальнего Востока и Забайкалья, малая самообеспеченность регионов отечественным продовольствием в силу, дорогостоящих внутренних перевозок, рост импорта из стран АТР, масштабный отток населения (сокращение на 21 % по причинам активной миграции и превышения уровня смертности над уровнем рождаемости), слабая транспортная инфраструктура. Определяющей особенностью развития Дальнего Востока является экономико-географическое положение макрорегиона, характеризующееся удаленностью субъектов от центра и близостью к активно развивающимся странам – Китаю и Японии, что можно рассматривать и как выгодный параметр развития.

Начальник отдела внешнеэкономических связей межрегиональной ассоциации «Дальний Восток и Забайкалье» А.Г. Бурый в своих статьях подробно описывает проблемы и перспективы развития регионов ДВФО. Он обращает внимание на необходимость согласованной работы глав субъектов Востока России и расширение не только внешнеэкономических, но и межрегиональных связей.

В 2021 году роль Дальнего Востока в общей структуре экономики России укрепилась и составила 9 % (+3% с прошлого года) (рис.1). Рост инвестиционной активности, развитие транспортно-логистической и газохимической отрасли, увеличение объемов добычи полезных ископаемых стали основными двигателями экономического развития дальневосточных регионов в 2021 году. Оборот организаций федерального округа по всем видам деятельности в 2021 г. составил 11,1 трлн рублей, что на 18,9% выше показателей прошлого года [Прокапало, 2022].

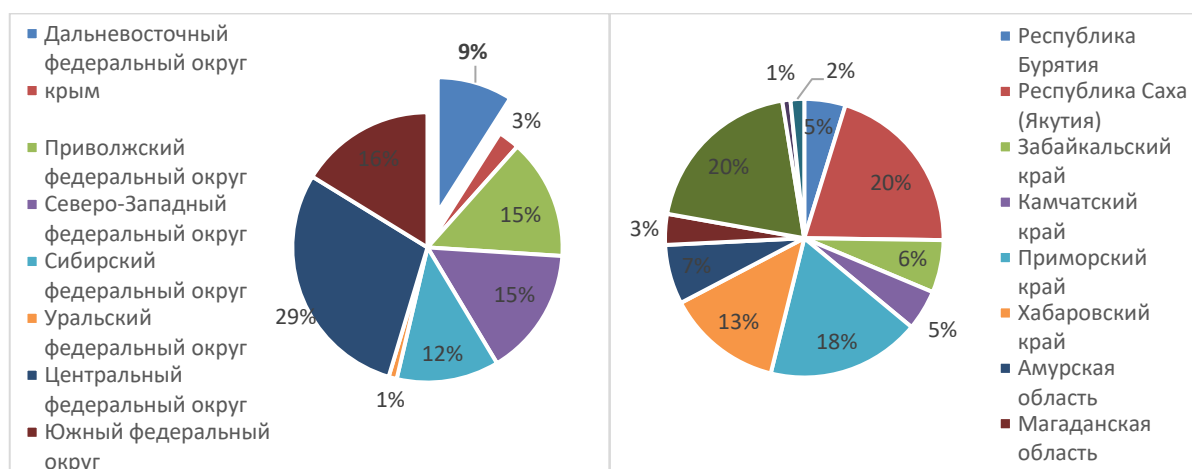


Рис. 1. Доля регионов Дальнего Востока в структуре экономики России, 2021, %
Fig. 1. Russia The share of the Far East regions in the structure of the Russian economy, 2021, %

Источник: Составлено автором.
Source: Compiled by the author.

В 2021 году в дальневосточной промышленности наметилась тенденция восстановительного роста после международных ограничительных мер пандемии. В связи с этим ресурсодобывающие регионы заняли доминирующую позицию в общей структуре экономики ДВФО (Республика Саха (Якутия), Сахалинская область, Приморский и Хабаровский край). За 2021 год в Республике Саха (Якутия) и Хабаровском крае отмечены наиболее высокие темпы прироста добычи по всем видам добываемых там ресурсов.

Помимо промышленной и ресурсодобывающей отраслей в некоторых регионах развивается сельское хозяйство, транспортно-логистическая отрасль, торговля недвижимостью. В каждом регионе Дальнего Востока можно выделить его отраслевую специализацию (рис 2).

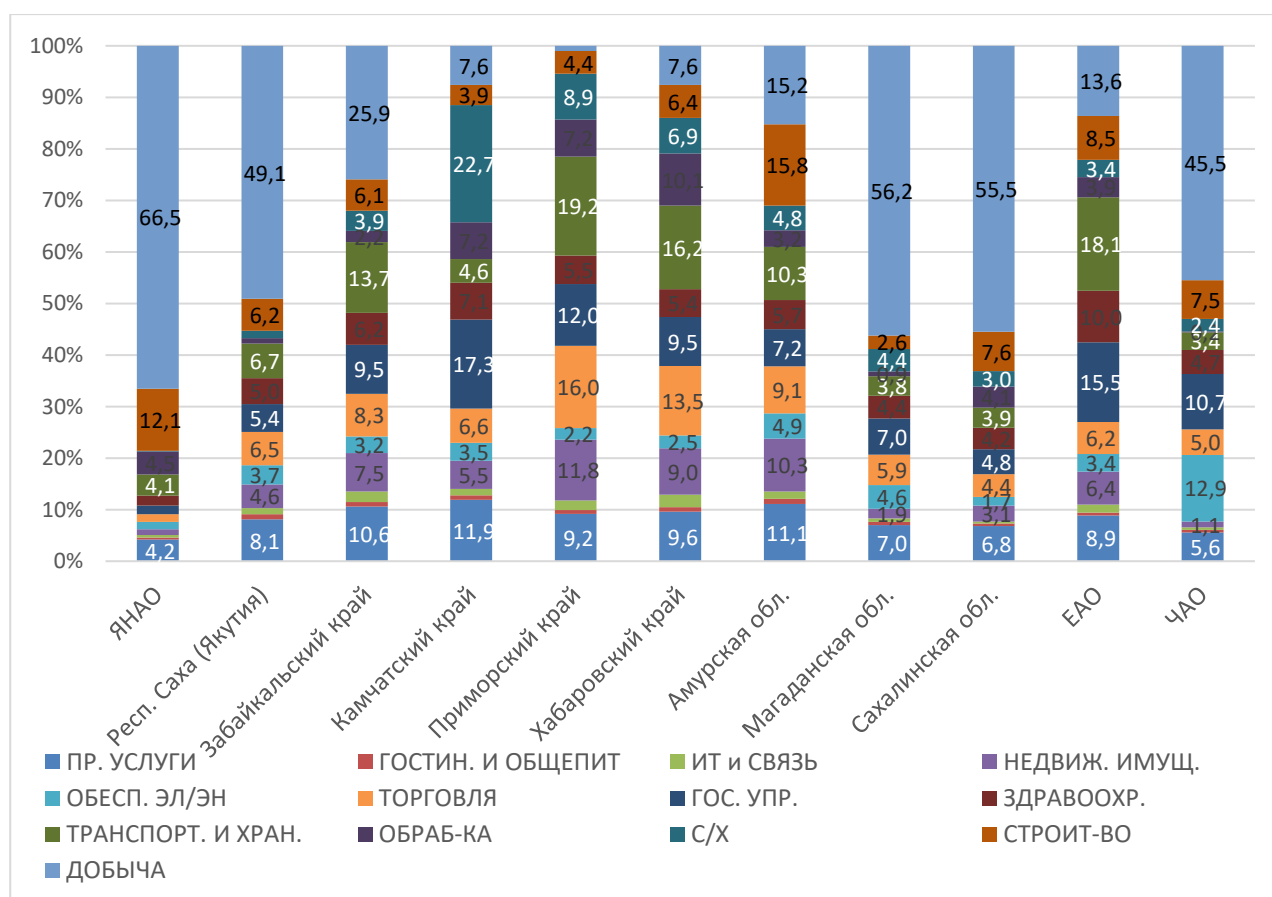


Рис. 2. Структура экономики регионов ДВФО на 2021 г., %

Fig. 2. The structure of the economy of the Far Eastern Federal District regions for 2021, %

Источник: Составлено автором.

Source: Compiled by the author.

На рисунке 2 прослеживается общая схожесть структур экономик регионов Дальнего Востока, при этом важно отметить преобладание отрасли добычи полезных ископаемых. Однако несмотря на данный фактор некоторым регионам удается поддерживать дифференцированную структуру экономики (Камчатский, Приморский, Хабаровский край).

Приморский край выделяется среди российских регионов особой геополитической значимостью, имея высокий экспортный потенциал. Большая часть экспорта – это транзитные грузы из российских регионов в страны Азии. Основную структуру экспорта Приморского края составляют рыбная продукция, нефтепродукты, изделия из древесины и металлы, а покупателями являются Китай, Республика Корея и Япония. Ежегодно экспорт данных продуктов увеличивается на 12-16% в среднем в год.

За последние 10 лет Приморский край достиг определенных успехов в экономическом развитии. Компании Приморского края добывают почти треть всей рыбы на Дальнем Во-

стоке, производство продукции сельского хозяйства в 2021 году выросло в два раза и достигло 42 млрд. руб. (1,5% от общероссийского производства). Добывающие предприятия Приморского края также занимают существенную долю общероссийского производства борсодержащей продукции, вольфрамового, свинцового и германиевого концентрата, реализуются крупные проекты в судостроении и переработке нефтегазовых ресурсов. Прибрежное расположение края способствует развитию рыбоперерабатывающей отрасли.

Ещё одним фактором роста экономики Приморского края является реализация легковых автомобилей. Для всех регионов Дальнего Востока, а также для многих сибирских регионов Приморский край в течение многих лет является центром импорта иномарок из стран Азии. Также в 2021 году Приморский край нарастил собственный выпуск автотранспортных средств на 5,8% [Прокапало, 2022].

Хабаровский край обладает значительным объемом природных ресурсов. По запасам древесины, месторождений цветных и драгоценных металлов (олово, медь, золото, серебро), ценных видов рыб, водным ресурсам край выделяется не только на Дальнем Востоке, но и в Российской Федерации. В Хабаровском крае размещены два крупных нефтеперерабатывающих завода, производственная мощность которых возросла на 9,1% в 2021 году.

Якутия, Чукотка, Магаданская и Сахалинская области специализируются преимущественно на добыче полезных ископаемых, развитие здесь других отраслей ограничивается объективными факторами (климат, удаленность, низкая плотность населения, слабая инфраструктурная обеспеченность). Вспомогательным сектором экономики являются предприятия по производству промышленного оборудования, оказание услуг по ремонту.

Особенно важно подчеркнуть, что Правительство Республики Саха (Якутия) делает упор на диверсификацию экономики и развитие несырьевых отраслей — креативной индустрии и ИТ-отрасли. Самые крупные ИТ-компании Якутии — InDriver и MyTona — получили всемирную известность. На сегодняшний день в Якутии работают более 400 ИТ-компаний.

Также в Республике Бурятия, Забайкальском крае, Еврейской автономной области развита на высоком уровне транспортно-логистическая отрасль, функционируют предприятия, обеспечивающие хранение товаров.

Камчатский край занимает ключевую позицию в отрасли рыболовства, ежегодный рост которой составляет 15%. Поэтому для развития данного направления важно укреплять местные судоремонтные и судостроительные производства. Увеличение потоков северного морского пути даст толчок к дальнейшему росту в данном вопросе. Также роль Камчатского края важна в решении транспортных вопросов соседних регионов.

Наибольший вклад в формирование ВРП Амурской области вносят промышленное производство (112,8 млрд. руб.), строительство (75,2 млрд. руб.), транспортировка и хранение (47 млрд. руб.), торговля (42 млрд. руб.) [ЦБ РФ, 2022]. На территории Амурской области планируется создание нового Гаринского горно-обогатительного комбината. В рамках данного инновационного проекта будет функционировать новая технология прямого восстановления железа горнометаллургического комплекса полного цикла, что поможет развить железнодорожную инфраструктуру, обеспечивающую транспортную доступность внутренних слабодоступных районов Амурской области и позволит осуществить соединение Байкало-Амурской магистрали с Транссибирской железнодорожной магистралью по линии «Шимановск – Гарь – Февральск».

Стоит отметить, что лидером по производству соевых бобов в ДВФО является Амурская область, доля которой составляет 68,2%. Несмотря на неблагоприятные погодные условия в 2021 году, было собрано 16 696,1 тыс. ц. соевых бобов при урожайности 14,8 ц/га (в среднем по России – 15,9 ц/га). В Амурской области реализуется инвестиционный проект по переработке соевых бобов. Инвестором вложено 4,9 млрд руб. и создано 773 новых рабочих места. Запущенный в производство маслоэкстракционный завод «Амурский» позво-

ляет перерабатывать до 270 тыс. тонн соевых бобов в год. При этом доля ДВФО в производстве соевых бобов составляет 34,9% общероссийского производства, что подтверждает ключевую роль Амурской области в сельскохозяйственной отрасли России.

Рассматривая сельскохозяйственную отрасль как ключевую в рамках социально-экономического развития Дальнего Востока важно отметить, что несмотря на положительную динамику, острым остается вопрос об обеспеченности регионов собственными продуктами питания. В основной продуктовой линейке лишь региональное производство картофеля (105 кг/чел.) соответствует нормативным параметрам потребления (92 кг/чел.). Собственное производство овощей (41 кг/чел.) покрывает лишь 43% потребления, а молочная и мясная продукция – 55%. Важно добавить, что власти двух удаленных и довольно замкнутых регионов – Колымы и Камчатки уделяют повышенное внимание развитию собственного аграрного производства, однако данный процесс осложнен климатическими факторами [Прокапало, 2022].

Отстающие отрасли экономики Дальнего Востока планируется нарастить за счет внедрения территорий опережающего развития (ТОР). Сегодня в регионах Дальнего Востока официально действуют 23 ТОР, каждый из которых специализируется на определенных отраслях экономики (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Ключевые показатели территорий опережающего развития Дальнего Востока
Key indicators of the territories of advanced development of the Far East

Регион	ТОР	Отрасль/резиденты	Объем инвестиций	Основные показатели
Амурская область *в конце 2022 года (ТОР «Белогорск», «Приамурская» и «Свободный» объединили в единую ТОР «Амурская»)	ТОР «Белогорск»	6 резидентов Агропромышленная отрасль, Пищевая промышленность	5 млрд руб.	890 создаваемых рабочих мест
	ТОР «Свободный»	11 резидентов Газопереработка, Промышленность	1838 млрд руб.	Создание 4761 рабочих мест., производство метанола мощностью 1 млн тонн в год
	ТОР «Приамурская»	22 резидента Промышленность Транспортно-логистическая отрасль, АПК	124,8 млрд рублей.	Освоено 2,4 млрд руб. планируется создать 1576 новых рабочих мест. (создано 125)
Еврейский Автономный округ (ЕАО)	ТОР Амуро-Хинганская	3 резидента Сельское хозяйство, Пищевая промышленность, Логистика	5 млрд руб.	556 рабочих мест
Республика Бурятия	ТОР «Бурятия»	14 резидентов Здравоохранение, Промышленность, Строительство, Сельское хозяйство, Деревопереработка, Туристический кластер	8 млрд руб.	1000 рабочих мест
	ТОР «Селенгинск»	ООО «КРДВ Бурятия»		24 новых рабочих мест
Республика Саха-Якутия	ТОР «Якутия»	Сельское хозяйство, Логистика, Обрабатывающая промышленность	14 млрд руб.	2 160 новых рабочих мест
	ТОР «Южная Якутия»	14 резидентов Добыча полезных ископаемых, Горнодобыча	113 млрд руб.	10738 новых рабочих мест
Чукотский АО	ТОР «Чукотка»	65 резидентов Добыча полезных ископаемых, Услуги для населения	610 млрд руб.	9850 новых рабочих мест

Окончание табл. 1
End table 1

Регион	ТОР	Отрасль/резиденты	Объем инвестиций	Основные показатели
Камчатский край	ТОР «Камчатка»	124 резидента Туристический кластер, Рекреация, Логистика, Рыболовство, Рыбообработка	122 млрд руб.	12632 новых рабочих места
Сахалинская область	ТОР «Горный воздух»	31 резидент Туристический кластер, Рекреация	27 млрд руб.	1956 новых рабочих мест
	ТОР «Южная»	12 резидентов Сельское хозяйство	18 млрд руб.	1348 новых рабочих мест
	ТОР «Курилы»	8 резидентов Туристический кластер, Рыбопереработка	12 млрд руб.	2017 новых рабочих мест
Забайкальский край	ТОР «Забайкалье»	42 резидента Добыча полезных ископаемых, Деревопереработка, Пищевая промышленность	299 млрд руб.	12396 новых рабочих мест
	ТОР «Краснокаменск»	2 резидента	13 млрд руб.	1013 рабочих мест
Хабаровский край	ТОР «Хабаровск»	56 резидентов Промышленность, Логистика, Сельское хозяйство	38 млрд руб.	3615 новых рабочих мест
	ТОР «Комсомольск»	25 резидентов Машиностроение, Деревопереработка, Металлообработка, Пищевая промышленность	179 млрд руб.	6128 новых рабочих мест
	ТОР «Николаевск»	9 резидентов Судоремонт, Рыбопереработка, Добыча полезных ископаемых	3 млрд руб.	1248 новых рабочих мест
Приморский край	ТОР «Надеждинская»	94 резидентов Логистика, Промышленность	66 млрд руб.	8744 новых рабочих места
	ТОР «Большой Камень»	28 резидентов Судостроение, Логистика	529 млрд руб.	24691 новое рабочее место
	ТОР «Михайловский»	19 резидентов Сельское хозяйство	97 млрд руб.	5413 новых рабочих мест
	ТОР «Находка»	5 резидентов Химия и нефтехимия	862 млрд руб.	8186 новых рабочих мест

Источник: Составлено на основе данных [Дальний Восток и Забайкалье. Межрегиональная Ассоциация экономического взаимодействия субъектов Российской Федерации., 2022].

Source: Compiled by the author based on [The Far East and Transbaikalia. Interregional Association of Economic Cooperation of the Subjects of the Russian Federation.].

Территории опережающего развития созданы в целях развития экономики, исходя из конкурентных преимуществ каждого региона. Реализация проектов в рамках ТОР, позволит решить вопросы продовольственной безопасности дальневосточного макрорегиона, а промышленное производство увеличит уровень конкурентоспособности макрорегиона. В среднесрочной перспективе предполагается практически полная ликвидация продовольственного дефицита местного производства, что поспособствует снижению стоимости некоторых видов товаров.

Важно отметить, что одним из последствий пандемии стал резкий рост цен на китайские овощи. Данная ситуация способствовало ускорению внедрения инвестиционного проекта на ТОР «Михайловский» нового тепличного комплекса, который добавит на рынок более 7 тыс. тонн местных овощей. Дополнительно в начале 2023 года планируется запустить современные овощехранилища с автоматизированными системами контроля микроклимата общей мощностью более 15 тыс. тонн.

Крупные производители благодаря государственным вложениям внедряют современные технологии в производство свинины и молока. В текущем году запланировано развитие Уссурийской птицефабрики и в течение пяти лет производство куриных яиц должно увеличиться в два раза.

Особенно важно подчеркнуть ситуацию в Сахалинской области, где около 75% всего продовольствия привозится с материка. Сейчас местными властями проводится работа по снижению продуктовой зависимости островов от поставок с материка. Строятся мегафермы и агрокластеры ТОРов по программе развития островного края, рассчитанной на долгосрочную перспективу. «Совхоз Заречное» и «Грин Агро – Сахалин» инвестируют около 4 млрд рублей в строительство двух животноводческих комплексов с общей мощностью переработки почти 20 тыс. тонн молока в год, а совхоз «Тепличный» займется возведением тепличного комплекса стоимостью 1 млрд рублей. Для Сахалина данные проекты имеют большое значение, поскольку они направлены на импортозамещение и повышение уровня продовольственной безопасности региона. При этом важно учитывать, что при наличии развитой электроэнергетики ДВФО, и активном экспорте электроэнергии в Китай и Корею, Сахалин испытывает дефицит мощностей, а высокие энерготарифы изолированной энергосистемы острова делают продукцию сахалинских предприятий неконкурентоспособной.

Затрагивая вопрос о Сахалинской области необходимо подчеркнуть, что мостовой (или тоннельный) переход «Сахалин – материк» нельзя относить только к социально-значимым проектам, это важный геополитический проект по расширению экономических связей регионов. Финансирование федеральными органами власти данного проекта должно быть приоритетным.

Проанализировав структуру экономик регионов ДВФО и перспективы их дальнейшего развития, можно спрогнозировать основные варианты межрегиональной интеграции на основе их преимуществ и отраслевой специализации (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Интеграционный потенциал регионов Дальнего Востока
Integration potential of the Far East regions

Регион	Экспорт	Импорт
Амурская область	Сельскохозяйственная продукция – в первую очередь в соседние регионы (Якутия, Забайкальский край, Хабаровский край, ЕАО) Электроэнергия – Сахалинская область, Магаданская область. Обеспечение транзита между регионами России и странами АТР по ж/д магистралям	Автомобильная промышленность – Приморский край Машины, оборудование и аппаратура – Хабаровский край, Приморский край
Еврейский Автономный округ (ЕАО)	Цементная продукция – Восточная Сибирь, Московская область, Красноярский край. Текстильная продукция – Приморский край, Хабаровский край, Амурская область Древесина – Приморский край, Камчатский край, Сахалинская область	Продукты нефтепереработки – Хабаровский край Продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье – Хабаровский край, Республика Саха (Якутия) Оборудование и транспортные средства, полимерные материалы и пластмассы – Хабаровский край, Приморский край

Продолжение табл.2
Continuation table 2

Регион	Экспорт	Импорт
Республика Бурятия	Мясная продукция, продукты деревопереработки – все регионы ДВФО Транспортно-логистические услуги – все регионы России	Семена, минеральные удобрения, средства химической защиты – регионы центральной России Продукты металлургической промышленности – Южная Якутия, Забайкальский край, Хабаровский край, Амурская область
Республика Саха-Якутия	Кожевное сырье, пушнина, текстиль – все регионы ДВФО и Сибири Топливо-энергетические товары – все регионы России IT-услуги во все регионы России (в долгосрочной перспективе)	Молочная и мясная продукция – Алтайский край, Амурская область, Приморский край
Чукотский АО	Строительство единой энергетической инфраструктуры Магаданской области и Чукотки Природные ресурсы – все регионы России	Продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье – Хабаровский и Камчатский край, Республика Саха (Якутия)
Камчатский край	Рыбная продукция – во все регионы России Энергетика – Сахалинская область	Машины, оборудование и аппаратура – Хабаровский край, Приморский край Сельскохозяйственная продукция – Амурская область Нефтепродукты и сжиженный природный газ – Сахалинская область.
Сахалинская область	Рыба и ракообразные – все регионы России Нефтегазовые ресурсы – все регионы России	Мясная, молочная продукция – Приморский край Зерновая и крупяная продукция, мука, комбикорма, кондитерские изделия – Алтайский край
Магаданская область	Руды, изделия из черных металлов – все регионы России Рыба и ракообразные, моллюски – уральско-сибирские регионы Железнодорожные транспортные средства и оборудование – регионы ДВФО	Мясная, молочная, сельскохозяйственная продукция – Приморский край, Амурская область, Хабаровский край
Забайкальский край	Мясомолочная продукция – Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия) Продукты Деревопереработки – Приморский край, центральные регионы России Продукция химической промышленности, минеральные продукты – все регионы России	Рыбная продукция – Приморский Край, машины, оборудование и транспортные средства – Хабаровский край, Приморский край
Хабаровский край	Пищевые продукты, напитки, табак – Амурская область, Магаданская область, Сахалинская область Минеральные продукты, продукция химической промышленности, пластмассы, каучук и резина – все регионы России Топливо-энергетические товары – Приморский и Камчатский край, Амурская и Сахалинская область, Республика Саха (Якутия), ЕАО	Сельскохозяйственная продукция – Амурская область Продовольственные товары (молочная и мясная продукция, кондитерские изделия, крупы и злаки) – Приморский Край Рыбная продукция – Камчатский край

Окончание табл.2

End table 2

Регион	Экспорт	Импорт
Приморский край	Мясная и колбасная продукция – Республика Саха (Якутия), Сахалинская область, Чукотский автономный округ, Камчатский край Продукция растениеводства – все регионы ДВФО Дефицитные товары из стран АТР (при наличии благоприятных политических и экономических взаимоотношений) – все регионы РФ	Машины, оборудование и аппаратура, транспорт (с азиатского рынка, частично местное производство для перепродажи) – все регионы России) Продукты деревопереработки – Забайкальский край, Республика Бурятия Полимерные материалы и пластмассы – Хабаровский край Текстиль – Республика Саха (Якутия)

Источник: Составлено автором

Source: Compiled by the author

Из таблицы 2 следует, что наибольший интеграционный потенциал регионов Дальнего Востока сконцентрирован в южной зоне. Развитие межрегиональных связей между Хабаровским, Приморским краями, Амурской и Сахалинской областью может стать отправной точкой в развитии интеграционных взаимодействий на Дальнем Востоке.

Большую часть территории Приморского края составляют земли пригодные для ведения сельского хозяйства, благодаря чему регион обеспечивает продуктами питания другие субъекты ДВФО. Активное развитие межрегиональной кооперации благоприятно отражается на социально-экономическом развитии Хабаровского края. Более 59% произведенной продукции в Хабаровском крае вывозится в регионы Дальнего Востока. Сахалинская область, Камчатский край и Магаданская область являются цитрами рыбной промышленности и обеспечивают собственной продукцией практически все регионы России.

Введение экономических санкций в отношении России привело к усилению роли межрегиональной промышленной кооперации регионов ДВФО. Так к концу 2023 года должна завершиться работа по переходу на национальные составляющие в строительстве самолетов Sukhoi Superjet 100, выпускаемых в г. Комсомольске-на-Амуре. В целях обновления пассажирского, грузопассажирского и круизного флотов на судостроительных предприятиях Хабаровского края строятся паромы для нужд Сахалинской области.

Реализация крупных проектов по строительству авиатехники и кораблей гражданского и военного назначения стимулирует укрепление межрегиональных связей Хабаровского края с промышленно развитыми субъектами Центрального, Северо-Западного, Сибирского, Приволжского федеральных округов.

В конце 2021 года Хабаровский край заключил соглашения о торгово-экономическом, научно-техническом и культурном сотрудничестве с Правительством Сахалинской области (с участием предпринимателей) и Правительством Удмуртской Республики.

Таким образом, анализ существующих межрегиональных связей на территории Дальнего Востока позволил выделить основные направления развития интеграционных процессов:

- создание единой энергетической системы Дальнего Востока регионального назначения;
- реализация крупных межрегиональных инфраструктурных проектов, имеющих значение для комплексного развития нескольких российских регионов (модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей, строительство первой частной Тихоокеанской железной дороги, реализация газовых проектов «Якутский сжиженный природный газ» и «Дальневосточный сжиженный природный газ», формирование якорного производства Восточного водородного кластера на базе Тугурской приливной электростанции, создание строительного кластера, ориентированного на поставки во все регионы Дальнего Востока, развитие портовой инфраструктуры);
- формирование благоприятного инвестиционного климата, восстановление ранее функционирующих производств;

- развитие в Приморском и Хабаровском краях судоремонтных предприятий, тепличного производства, овощехранилищ,
- совершенствование логистических услуг (морские порты, авиахаб, транссибирская магистраль и БАМ);
- создание конкурентоспособной отрасли машиностроения Дальнего Востока;
- формирование дорожно-транспортной инфраструктурной базы для межрегиональных связей;
- повышение доступности межрегиональных и местных авиаперевозок;
- создание и развитие технопарков, центров инноваций.

Заключение

Таким образом, Дальневосточный макрорегион, несмотря на активное взаимодействие с другими федеральными округами Российской Федерации, существует более обособленно, ввиду затрудненной транспортно-логистической системы. Поэтому дальневосточным регионам важно взаимодействовать друг с другом в целях сохранения продовольственной безопасности и обеспечения бесперебойным обменом ресурсами.

В условиях экономической нестабильности и сложной политической ситуации вопросы сохранения и развития отечественного производства, роста региональных экономик становятся наиболее актуальными. Структура экономики Дальнего Востока полностью отражает природно-климатические условия и географическое положение. В связи с этим некоторые регионы не могут полностью покрыть продуктовую потребность населения собственным производством. В данных условиях межрегиональная интеграция является наиболее эффективным вариантом решением проблемы. Необходима единая структурная, инвестиционная и социальная политика, учитывающая основные экономические преимущества дальневосточных регионов.

В то же время конкурентным преимуществом Дальневосточного федерального округа является наличие уникальных льготных режимов, а именно территорий опережающего социально-экономического развития и свободных портов.

В период неопределенности, нарушения технологических и логистических цепочек, удорожания кредитов, такие интеграционные образования позволят дальневосточной экономике, с одной стороны, сохранить существующих инвесторов и их проекты, с другой стороны, привлечь новый бизнес из центральной части России с переориентацией его на страны АТР.

Список источников

- Коваленко Е., Зинчук Г. 2018. Региональная экономика и управление, 288 с.
- Стратегия пространственного развития до 2025 г. Стратегия пространственного развития Российской Федерации (утв. распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. N 207-р (с изменениями на 30 сентября 2022)). Режим доступа: URL: <https://base.garant.ru/72174066/?ysclid=lia7veyrby334508590> (дата обращения: 09.03.2023).
- Стратегия развития Приморского края до 2030 г. Стратегии социально-экономического развития Приморского края до 2030 года от 28 декабря 2018 г. N 668-па. Режим доступа: URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2500201812290008?ysclid=lia85xjxu4897442444> (дата обращения: 09.03.2023).
- ЦБ РФ. Дальневосточное главное управление Банка России (г. Владивосток). Режим доступа: URL: https://cbr.ru/amur/ekonom_profil/ (дата обращения: 15.03.2023).
- Региональная экономическая интеграция. – офиц. Режим доступа: URL: https://spravochnick.ru/ekonomika/ponyatie_integracii_v_ekonomike/regionalnaya_ekonomicheskaya_integraciya/?ysclid=li2yd9915a703918479 (дата обращения: 18.03.2023).
- Дальний Восток и Забайкалье. Межрегиональная Ассоциация экономического взаимодействия субъектов Российской Федерации. Режим доступа: URL: <http://assoc.khv.gov.ru/about> (дата обращения: 16.03.2023).
- Росстат. Регионы России. Социально-экономические показатели. - офиц. Сайт. Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 18.03.2023).

РБК. Территории опережающего социально-экономического развития. Режим доступа: URL: <https://erdc.ru/about-tor/> (дата обращения: 15.04.2023).
Приморскстат. Социально-экономическое положение Приморского Края: Доклад Приморскстат, 2022. 83 с.

Список литературы

- Дулесов А.Н., Краснова Т.Г., Плотникова Т.Н. 2022. Особенности оценки интеграционного потенциала регионов. Проблемы социально-экономического развития Сибири, 4(50): 37-42. DOI: 10.18324/2224-1833-2022-4-9-21
- Изотов Д.А. 2021. Внешние и внутренние барьеры в торговле регионов Дальнего Востока. Экономика региона, 17: 1318-1331.
- Маклашова Е. Г. 2021. Межрегиональная интеграция в современной России: специфика федерального регулирования. Социальная и экономическая география, 1: 20-33.
- Прокапало О.М. 2022. Экономическая конъюнктура в Дальневосточном федеральном округе в 2021 г. Пространственная экономика, 2: 135-182.
- Ясеновская И. В. 2021. Внутрорегиональные экономические взаимодействия субъектов Федерации Дальнего Востока, 157 с.
- Borisova L., Borisova D. 2021. Assessment of interregional economic integration based on the integral indicator of the level of socio-economic development. Interagromash, 273: 24-26.
- Sergio L. Schmukler. 2018. Financial Integration in East Asia and Pacific: Regional and Interregional Linkages. World Bank Research and Policy Briefs, No. 126031.

References

- Dulesov A.N., Krasnova T.G., Plotnikova T.N. 2022. Features of the assessment of the integration potential of the regions. Problems of socio-economic development of Siberia, 4(50): 37-42. DOI: 10.18324/2224-1833-2022-4-9-21
- Izotov D.A. 2021. External and internal barriers to trade in the regions of the Far East. Economy of the region, 17: 1318-1331.
- Maklashova E.G. 2021. Interregional integration in modern Russia: specifics of federal regulation. Social and economic geography, 1: 20-33.
- Prokapalo O.M. 2022. Economic conjuncture in the Far Eastern Federal District in 2021. Spatial Economics, 2: 135-182.
- Yasenovskaya I. V. 2021. Intraregional economic interactions of the subjects of the Federation of the Far East, 157 p.
- Borisova L., Borisova D. 2021. Assessment of interregional economic integration based on the integral indicator of the level of socio-economic development. Interagromash, 273: 24-26.
- Sergio L. Schmukler. 2018. Financial Integration in East Asia and Pacific: Regional and Interregional Linkages. World Bank Research and Policy Briefs, No. 126031.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борзова Анжелика Дмитриевна, аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Angelika D. Borzova, Postgraduate Student of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

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

УДК 332.14

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-514-524

Экономический потенциал стратегического управления регионом в условиях макроэкономических кризисов

Оборин М.С.

Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова,
Россия, 614070, г. Пермь, ул. бульвар Гагарина, 57;

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

Пермский государственный аграрно-технологический университет
им. ак. Д.Н. Прянишникова,

Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23

E-mail: recreachin@rambler.ru

Аннотация. Макроэкономическое и геополитическое давление на российскую экономику существенно актуализировало поиск эффективных инструментов, механизмов и программ, имеющих выраженный антикризисный характер реагирования. Глубокое и длительное воздействие негативных факторов способствует применению различных мер социально-экономической адаптации и стабилизации с учетом региональных преимуществ, сложившейся специализации, ресурсного потенциала. Действенные меры правительства способствовали восстановить соответствующий уровень развития экономики, однако в 2022 году экономическое положение обострилось из-за введенных санкций и специальной военной операции. В связи с ухудшением экономической ситуации и развитием кризиса в стране, многие компании рискуют столкнуться с финансовыми проблемами, что предопределяет их несостоятельность, поэтому они начинают приостанавливать свою деятельность, либо закрывают бизнес. Это коснулось большинства сфер экономики, ослабило экспортную и импортную активность, изменило торгово-логистические связи между государствами и регионами. Реализация системных мер антикризисного реагирования на федеральном уровне получило свое развитие в регионах. Субъекты страны разрабатывают и реализуют программные инициативы в приоритетных для них видах деятельности, которые вносят существенный вклад в ВРП, привлекают специалистов в сфере научных исследований, образования, услуг. В статье проанализирован экономический потенциал развития антикризисного управления Томской области, определены стратегические направления поддержки бизнеса органами власти. Основными направлениями стратегической программы Томской области должны стать системные меры стабилизации деятельности приоритетных отраслей экономики, развитие экспортных направлений, снижение зависимости от импорта, экономическая доступность продовольствия, насыщение потребительского рынка качественными продуктами питания, оптимизация процессов планирования и налогово-бюджетной поддержки импортозамещения, а также внедрение дополнительных мер поддержки населения. Определено, что в настоящее время органам власти Томской области необходима реализация тактической программы мер, включающей усиление поддержки всех отраслей экономики, стабилизация объемов экспорта, продолжение курса на импортозамещение, сохранение инвестиционной привлекательности региона.

Ключевые слова: антикризисное управление, превентивные меры, стратегия развития региона, антикризисная тактика, программа превентивных мер

Для цитирования: Оборин М.С. 2023. Экономический потенциал стратегического управления регионом в условиях макроэкономических кризисов. Экономика. Информатика, 50(3): 514-524. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-514-524

Economic Potential of Strategic Management of the Region in the Context of Macroeconomic Crises

Matvey S. Oborin

Plekhanov Russian University of Economics, Perm branch
57 Gagarin Boulevard St, Perm, 614070, Russian Federation
Perm State National Research University,
15 Bukireva St, Perm, 614990, Russian Federation
State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
23 Petropavlovskaya St, Perm, 614990, Russian Federation
E-mail: recreachin@rambler.ru

Abstract. Macroeconomic and geopolitical pressure on the Russian economy has significantly actualized the search for effective tools, mechanisms and programs that have a pronounced anti-crisis response. The deep and long-term impact of negative factors contributes to the application of various measures of socio-economic adaptation and stabilization, taking into account regional advantages, existing specialization, resource potential. Effective government measures helped restore the appropriate level of economic development, but in 2022 the economic situation worsened due to the sanctions imposed. Due to the deterioration of the economic situation and the development of the crisis in the country, many companies risk facing financial problems, which predetermines their insolvency, so they begin to suspend their activities or close their business. This affected most sectors of the economy, weakened export and import activities, and changed trade and logistics ties between states and regions. The implementation of systemic anti-crisis response measures at the federal level has been developed in the regions. The subjects of the country develop and implement program initiatives in priority activities for them, which make a significant contribution to GRP, attract specialists in the field of scientific research, education, and services. The article analyzes the economic potential of the development of the anti-crisis management of the Tomsk region, identifies strategic directions of business support by the authorities. The main directions of the strategic program of the Tomsk region should be systemic measures to stabilize the activities of priority sectors of the economy, the development of export directions, reducing dependence on imports, economic availability of food, saturation of the consumer market with quality food, optimization of planning processes and fiscal support for import substitution, as well as the introduction of additional measures to support the population. It is determined that at present the authorities of the Tomsk region need to implement a tactical program of measures, including strengthening support for all sectors of the economy, stabilizing export volumes, continuing the course of import substitution, preserving the investment attractiveness of the region.

Keywords: anti-crisis management, preventive measures, regional development strategy, anti-crisis tactics, preventive measures program

For citation: Oborin M.S. 2023. Economic Potential of Strategic Management of the Region in the Context of Macroeconomic Crises. Economics. Information technologies, 50(3): 514-524 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-514-524

Введение

Кризисы являются закономерным проявлением функционирования сложных динамических социально-экономических систем. В научных работах освещены как отрицательные, так и положительные последствия их наступления. Значительное количество концепций построено на том, что в результате наступления негативных эффектов экономические процессы могут быть изменены, улучшены и направлены на получение требуемых обществом и государством результатов. Однако для этого необходим целый комплекс стратегических и тактических мер, которые будут способны адаптировать объект управления к новым условиям существования, последовательно трансформирующих ресурсный потенциал, производственную сферу и технологии.

Экономический кризис характеризуется резким ухудшением состояния экономики, отличается развитием процессов негативного характера, оказывающих глубокое влияние на воспроизводственную сферу, проявляется в спаде экономических показателей [Сухарев, 2020]. В процессе развития кризиса сокращается прирост валового внутреннего продукта, сокращаются инвестиционные поступления, уменьшается благосостояние населения, увеличивается безработица [Торопцев, Махаповский, 2021].

Развитие любой экономической системы на определенном этапе предопределяет формирование кризисных явлений. Как правило, наступление кризисных ситуаций наблюдается на этапе стагнации, отсутствии изменений и перспективных направлений изменений внутренней структуры и ее функций. Развитие кризисных ситуаций предопределяет трансформацию экономической системы, что выражено в деструкции действующего экономического порядка, внутренних процессов, выборе современных наиболее эффективных экономических инструментов [Андриянов, 2019].

Факторы кризиса обуславливают трансформацию не только экономической системы страны, но и регионов, что проявляется в изменениях социальной структуры, работе культурных и государственных институтов, разрушении региональных производств. Причины кризиса могут быть абсолютно разными, от необходимости модернизации и реструктуризации до природно-климатических факторов, иметь различную природу.

Глобальные факторы включают изменения, происходящие в природе и катастрофические процессы эндогенного и экзогенного происхождения, которые не зависят от деятельности действующей системы управления, а субъективные только ухудшают последствия нерациональными решениями, конфликтами интересов, неэффективным распределением человеческих ресурсов, снижением производительности *труда* работников и ухудшением качества обслуживания заказчиков и потребителей [Артемова, 2019].

Микроэкономические факторы воздействия кризиса включают [Грачева, Юдина, 2021]:

- *снижение* выпуска продукции;
- проблемы *монополизации* хозяйственной жизни;
- неустойчивость в области действия *валютных* отношений;
- рост взаимозаменяемости товаров.

Другие внешние причины:

- нестабильная политическая обстановка в стране;
- *бедствия*, вызванные природными явлениями;
- совокупность факторов, способствующих сохранению или росту преступности в стране [Долганова, Таганова, 2019].

Внутренние факторы кризиса возникают вследствие проблем во внутренней деятельности предприятия. Данные факторы классифицируются на управленческие и производственные, включая: рискованные маркетинговые мероприятия, несовершенство процесса организации производства, низкая инновационная активность, непрофессионализм управленческого состава [Охотский, 2020].

Факторами, обуславливающими кризис в стране, являются неконтролируемый рост инфляции, низкое качество государственного управления и управления в отдельных значимых экономических отраслях, ориентация правительственных органов на отдельные отрасли экономики в ущерб внимания к другим отраслям, политическая нестабильность (в том числе в условиях влияния внешней политики других государств) и низкие темпы модернизации промышленности [Бойченко, Иванюта, 2021].

Глубокий анализ этих социально-экономических индикаторов позволяет оценить реальную ситуацию наличия или отсутствия кризиса в экономике страны, выявить факторы, которые главным образом влияют на кризисные экономические ситуации и определить приоритетные направления восстановления экономики в условиях рисков и угроз.

Стратегическое управление регионом, направленное на снижение последствий макроэкономических и геополитических кризисов основывается на сложном механизме, включающем совокупность принципов, программ, инструментов, специфических технологий и

стилей управляющего воздействия, цель которого обеспечить сдерживание и выход из кризисной ситуации, разработку и внедрение мер превентивного реагирования, которые будут реализованы системой управления и ответственными лицами в ее структуре [Бриль, Калинина, Паршуков, 2020].

Результаты исследования и их обсуждение

Для характеристики вероятности наступления регионального кризиса рассмотрим состояние экономики Томской области. Для анализа использованы показатели 2017-2022 гг., то есть период экономического кризиса, связанного с пандемией, санкциями и специальной военной операцией.

На рисунке 1 отражена динамика общей численности населения Томской области.

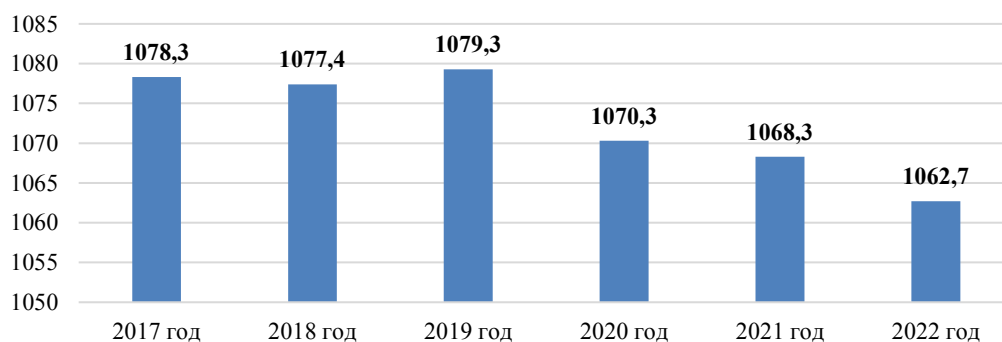


Рис. 1. Динамика численности населения Томской области за 2017-2022 гг., тыс. человек [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 1. Dynamics of the population of the Tomsk region for 2017-2022, thousand people [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

Динамика показателя говорит о снижении за исследуемый период населения региона в 2021-2022 гг. на 0,52%, в 2017-2022 гг. на 1,44%.

Отток населения обычно вызван изменением показателей рождаемости и смертности, а также миграционными процессами. Основным фактором миграции регионов России является более высокий уровень жизни и возможность получать более высокую заработную плату. Соответственно, на рисунке 2 рассмотрим показатели среднедушевых доходов населения Томской области и показатели среднего размера заработной платы.

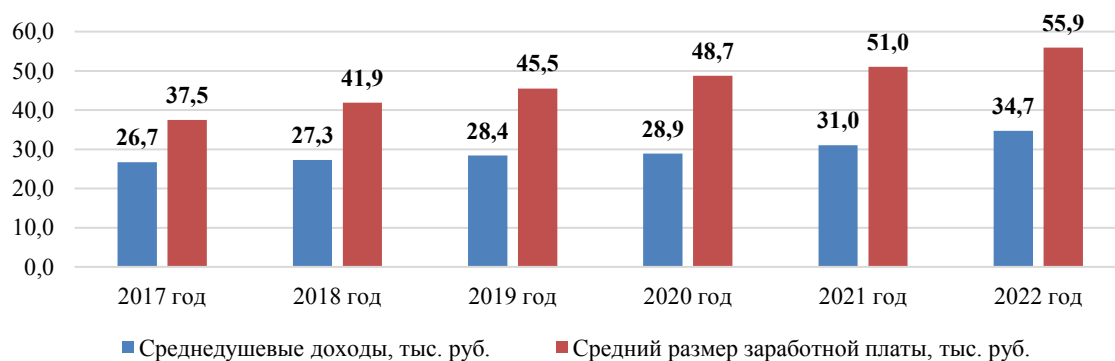


Рис. 2. Динамика доходов населения Томской области за 2017-2022 гг., тыс. рублей в месяц [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 2. Dynamics of income of the population of the Tomsk region for 2017-2022, thousand rubles per month [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

Динамика данного индикатора свидетельствует о росте доходов в 2022 году на 29,9% при повышении оплаты труда за аналогичный период на 49,0%.

Далее необходимо проанализировать показатели занятости населения Томской области, так как оно является главным фактором производства и валового регионального продукта. Любой экономический субъект обеспечивает производственную деятельность только за счет обеспечения необходимой численности трудовых ресурсов (рисунок 3).



Рис. 3. Динамика показателей занятости населения Томской области за 2017-2021 гг. [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 3. Dynamics of employment indicators of the Tomsk region for 2017-2022
[Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

В соответствии с данными рисунка 3 можно сделать выводы о том, что в Томской области наблюдается снижение численности безработных граждан более высокими темпами, чем снижение рабочей силы, что было обусловлено экономическими последствиями пандемии и сейчас наблюдается тенденция улучшения этих индикаторов. В период общего экономического кризиса часть предприятий вынужденно приостанавливало производство, малый бизнес в условиях отсутствия доходов прекращал полностью свою деятельность с увольнением персонала, а безработные граждане не могли устроиться на работу в условиях отсутствия потребности экономических субъектов в трудовых ресурсах.

Достойный уровень жизни населения обеспечивает покупательную способность в регионе, а, следовательно, стимулирует производство товаров и услуг. Рассмотрим данные по региону за последние шесть лет, ограничиваясь крайним показателем сентября 2022 года (рис 4).

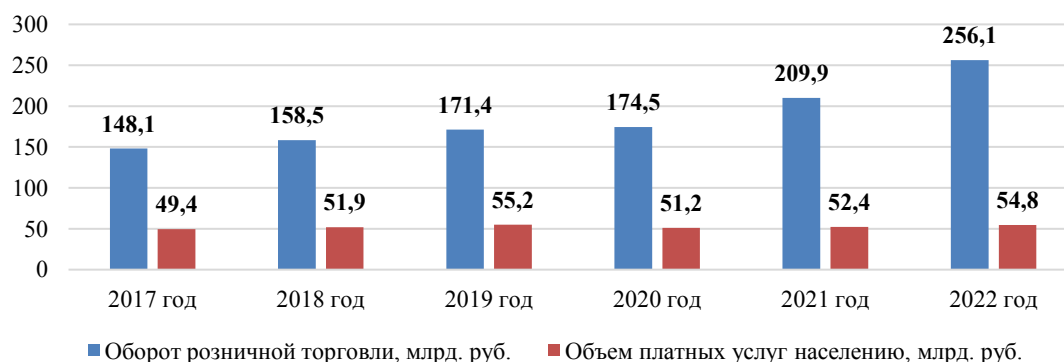


Рис.4. Динамика оборота розничной торговли и платных услуг Томской области за 2017-2022 гг., млрд рублей [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig.4. Dynamics of retail trade turnover and paid services in the Tomsk region for 2017-2022, billion rubles [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

За годы показан резкий рост показателя отрасли (+22%), при этом доля платных услуг населения росла медленнее (+4,6%). За весь период, охваченный графиком, прирост объема розничной торговли зафиксирован на 72,9%, увеличение объема платных услуг населению на 10,9%.

Основным элементом экономического роста региона являются экономические субъекты, то есть предприятия и организации, которые предоставляют рабочие места, осуществляют производство, отгрузку продукции и услуг собственного производства, обеспечивают налоговые платежи в бюджет, а также формируют общий валовый региональный продукт региона и уровень его конкурентоспособности. Соответственно, экономическое развитие Томской области находится в тесной взаимосвязи с результатами предприятий и организаций. На рисунке 5 отражена динамика сальдированного финансового результата экономических субъектов Томской области.

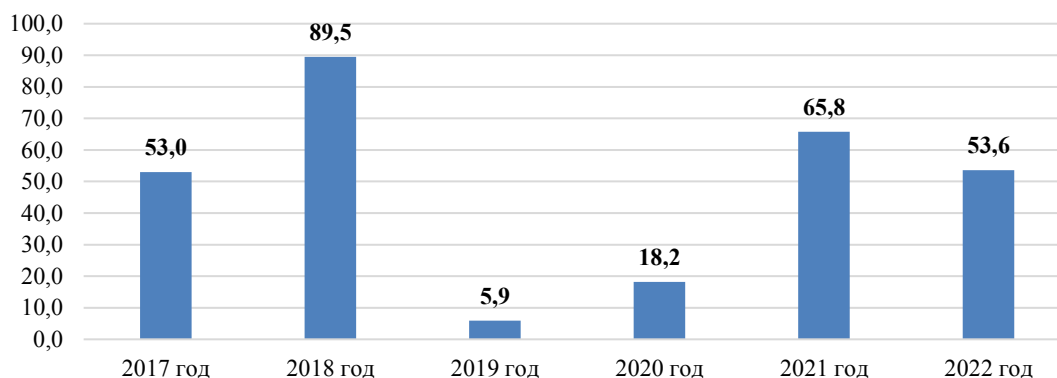


Рис. 5. Динамика сальдированного финансового результата предприятий Томской области за 2017-2022 гг., млрд рублей [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 5. Dynamics of the balanced financial result of enterprises of the Tomsk region for 2017-2022, billion rubles [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

В соответствии с данными рисунка 5 можно отметить, что предприятия существенно снижали финансовый результат в период экономического кризиса, связанного с пандемией, но уже с 2021 года «наращивают» объем прибыли.

На рисунке 6 отражена динамика показателя удельного веса убыточных предприятий Томской области, к общему количеству экономических субъектов анализируемого региона.

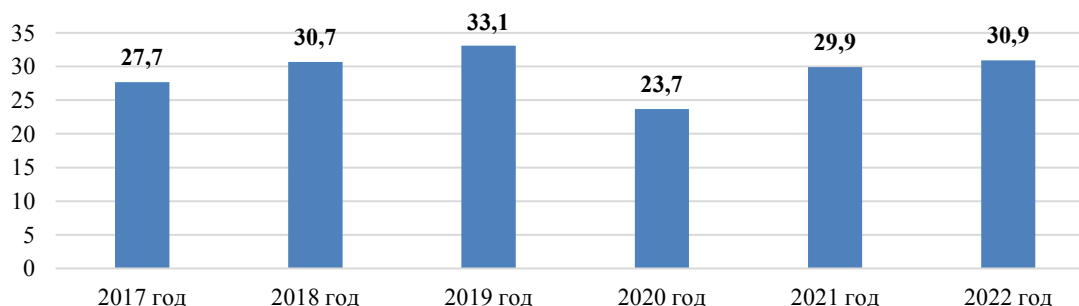


Рис. 6. Динамика удельного веса убыточных предприятий Томской области к общему количеству за 2017-2022 гг., % [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 6. Dynamics of the share of loss-making enterprises of the Tomsk region to the total number for 2017-2022, % [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

В соответствии с данными рисунка 6 можно отметить явную негативную тенденцию увеличения количества убыточных предприятий Томской области, что требует принятия

соответствующих управленческих решений от органов власти для поддержки экономики, в том числе в условиях новых санкций коллективного запада.

Важным условием эффективности экономических процессов является экономическая прибыльность предприятий и отсутствие риска банкротства предприятий. Как уже было сказано, за счет развития экономических субъектов в регионе обеспечивается необходимый уровень жизни населения (заработная плата и рабочие места), производятся отчисления в бюджеты, организуется общее производство товаров и услуг, которое потребляется населением при условии объективного наличия денежных средств. То есть наблюдается экономический круговорот производства и потребления, что соответствует всем канонам экономической теории [Черненко, 2020].

Обеспечение продовольственной безопасности и реализация программ импортозамещения региона обеспечивается эффективной организацией производства сельскохозяйственной продукции, так как эта продукция является основной для формирования продовольственной корзины населения. Для оценки этих экономических процессов на территории Томской области сформируем рисунок 7.

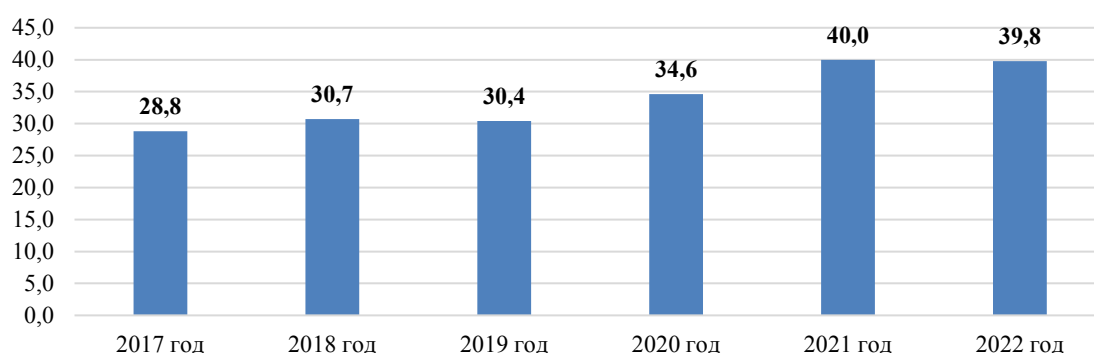


Рис. 7. Динамика объема продукции сельского хозяйства Томской области за 2017-2022 гг. (данные за 2022 год отсутствуют), млрд рублей [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 7. Dynamics of the volume of agricultural production in Tomsk region for 2017-2022 (data for 2022 are not available), billion rubles [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

В соответствии с данными рисунка 7 можно отметить положительную тенденцию увеличения объема продукции сельского хозяйства за 2020-2022 гг. на 15,8%, а за период 2017-2022 гг. на 39,1%.

Эффективность экономического развития региона обеспечивается за счет инвестиций в основной капитал, которые могут носить как коммерческий (средства предприятий), так и государственный характер (бюджетные средства).

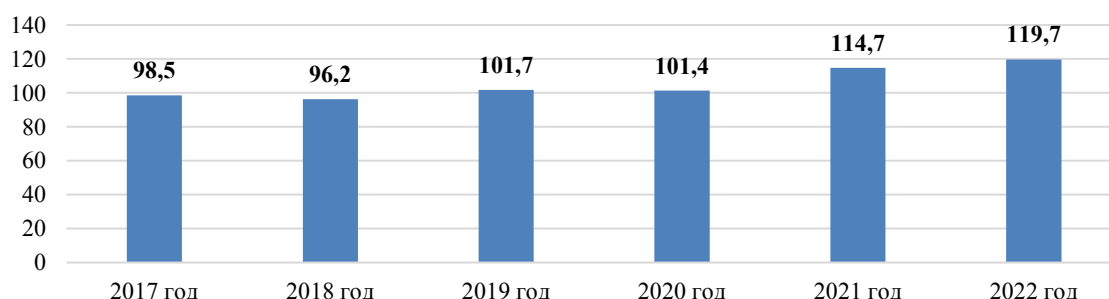


Рис. 8. Динамика инвестиций в основной капитал Томской области за 2017-2022 гг., млрд рублей [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 8. Dynamics of investments in fixed assets of Tomsk region for 2017-2022, billion rubles [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

В соответствии с данными рисунка 8 можно сделать выводы о том, что в Томской области в период экономического кризиса, связанного с пандемией, объемы инвестиций снижаются незначительно, что говорит о развитии экономики даже в кризисных ситуациях.

Любые направления экономического развития региона обеспечиваются необходимыми бюджетными ассигнованиями, поэтому для оценки эффективности этих процессов в Томской области на рисунке 9 рассмотрим показатели бюджета.

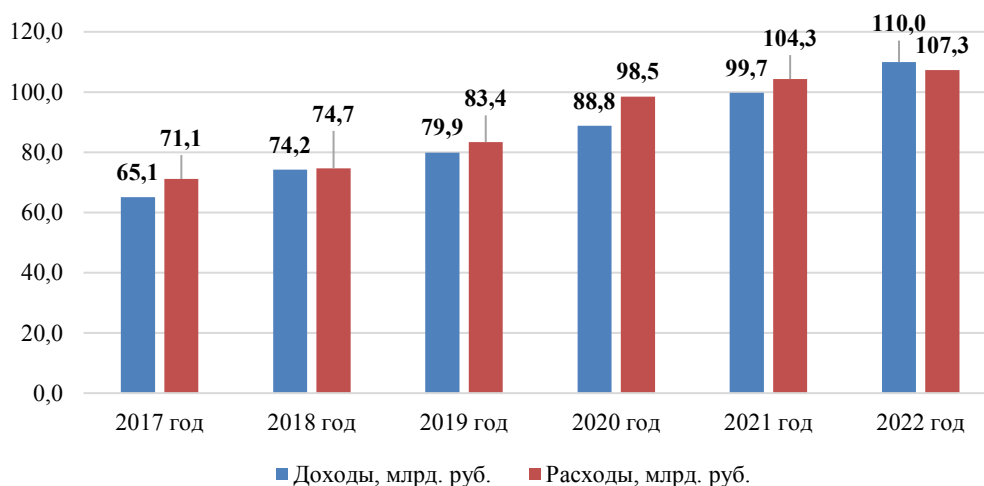


Рис. 9. Показатели регионального бюджета Томской области за 2017-2022 гг., млрд рублей [Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области]

Fig. 9. Indicators of the regional budget of the Tomsk region for 2017-2022, billion rubles [Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Tomsk region]

В соответствии с данными рисунка 9 можно сделать выводы о том, что в период кризисных явлений в экономике, связанных с пандемией, объемы расходов бюджета превышали доходную часть и влияли на бюджетный дефицит. Такая ситуация прослеживается с 2017 года, но по итогам 2022 года сумма доходов превышает сумму расходов, что говорит о «выравнивании» бюджетных расходов и доходов бюджета, даже в условиях влияния западных санкций [Цветков, 2022].

По результатам проведенного анализа следует сделать выводы о том, что в настоящее время органам власти Томской области необходима реализация системы стабилизирующих мер:

1. Усилить поддержку всех секторов экономики, в особенной степени малому и среднему предпринимательству и наиболее приоритетным отраслям экономики.
2. *Восстановление объемов экспорта до кризисных объемов*, поиск новых партнеров для реализации данных направлений.
3. Совместно с развитием экспортных направлений необходимо сокращать зависимость страны от импорта страны через принципы замены импортных товаров.
4. Обеспечить инвестиционную привлекательность региона и отдельных кризисных и депрессивных регионов, которые обладают достаточными природными и производственными мощностями для перспективного развития.

Главным элементом обеспечения программ импортозамещения является сельское хозяйство, так как обеспечивает производство продовольственной продукции, исключая импортозависимость по важным продуктам.

Для снижения зависимости от импорта необходим тщательный анализ предприятий региональными властями с точки зрения действующего производства, включая малое и среднее предпринимательство, на которое кризис оказал наиболее негативное влияние, в

том числе оказать необходимую региональную финансовую поддержку производителям сельскохозяйственной продукции (субсидии, гранты, компенсации, налоговые льготы).

Кроме того, необходимо обеспечить соответствующее финансирование и субсидирование этих отраслей, сформировать базу взаимозаменяемых товаров. Данную базу взаимозаменяемых товаров необходимо формировать на всех уровнях управления, поскольку продукция местного производства может реализовываться между регионами, без привлечения иностранных поставщиков. Реализация данных мер способствует эффективному развитию процесса импортозамещения на региональном и федеральном уровне [Борисова, 2021].

5. Необходимо обеспечить необходимый уровень социальной поддержки для населения. При этом, необходимо обратить внимание на социальные группы, которые в настоящее время не имеют определенного статуса для поддержки. Например, семьям с детьми за последние два года увеличили объемы социальной помощи, а другие группы населения, не имеющие такие привилегии не получают должной поддержки.

Необходимо увеличить пособие по безработице, рассмотреть вопрос об увеличении минимального размера оплаты труда и прожиточного минимума, обеспечить необходимые надбавки нуждающимся пенсионерам, увеличить список лиц, которым положены компенсации за жилищно-коммунальные услуги [Тарасевич, Леусский, 2019].

Данные мероприятия обеспечат необходимый экономический рост Томской области, позволяет снизить риски, связанные с последствиями западных санкций и обеспечить основные условия экономического развития: рост потребления, увеличение производства и улучшение уровня жизни населения.

Заключение

Кризисные явления характерны для экономических систем, закономерно сопровождают их в течение жизненного цикла.

Оценка социально-экономических показателей Томской области указала на продолжающийся рост среднедушевых доходов и среднего размера заработной платы в регионе. Отмечается снижение безработного населения после периода пандемии, а также в условиях новых усиливающихся западных санкций в 2022 году. Улучшение уровня жизни населения положительно влияет на покупательную способность и обеспечивает рост объема розничной торговли и платных услуг населению.

Оценка развития экономических субъектов указывает на положительный рост сальдированного финансового результата, увеличение объема инвестиций в основной капитал, рост показателей сельского хозяйства для обеспечения продовольственной безопасности и выполнения программ импортозамещения. За последние шесть лет впервые бюджет Томской области является профицитным, так как сумма доходов превышает сумму бюджетных расходов. С 2020 года отмечается положительное снижение численности безработных граждан на фоне роста числа рабочей силы, и даже вновь усиливающиеся западные санкции не повлияли на рынок труда Томской области, то есть предприятия, напротив, наращивают производственные объемы и обеспечивают рабочими местами население региона.

Основными стабилизационными направлениями экономической программы Томской области должны стать активная поддержки всех отраслей экономики, развитие экспортных направлений, *снижение импортных поставок*, экономическая доступность к продовольствию необходимого объема, *оптимизация* процессов формирования и оценки планов *импортозамещения*, продолжение развития цифровых решений в различных областях производства и сферы услуг, а также внедрение дополнительных мер поддержки населения.

Список источников

- Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики Томской области. URL: <https://70.rosstat.gov.ru/> (дата обращения 10.12.2022)
Охотский Е.В. 2020. Государственное антикризисное управление. — М.: Юрайт, 372.

- Сухарев, О.С. 2021. Экономическая теория. Современные проблемы: учебник для вузов. – Москва: Издательство Юрайт, 215.
- Тарасевич Л.С., Леусский А.И. 2019. Макроэкономика. – М.: Юрайт, 343.
- Черненко В.А. 2020. Антикризисное управление. — М.: Юрайт, 418.

Список литературы

- Андриянов Н.А. 2019. Проблематика совершенствования антикризисного управления на российских предприятиях. Горизонты экономики, 6 (53):25-27.
- Артемова А.Ю. 2019. Идентификация рисков и угроз в антикризисном управлении предприятием. Наука и практика регионов, 3 (16):11-17.
- Бойченко О.В., Иванюта Д.В. 2021. Развитие социально – экономической системы Российской Федерации. Стратегическое управление развитием цифровой экономики на основе умных технологий. под ред. А.В. Бабкина. Санкт-Петербург, 10-28.
- Борисова Е.Р. 2021. Особенности современного этапа развития Российской Федерации. Экономико-правовые перспективы развития общества, государства и потребительской кооперации. сборник научных статей III международной научно-практической интернет-конференции. Гомель, 105-107.
- Бриль А.Р., Калинина О.В., Паршуков А.Е. 2020. Антикризисное управление предприятием: оценка финансового состояния и разработка проектов по управлению персоналом. СПб., 90-96.
- Грачева К.С., Юдина Н.А. 2021. Антикризисное управление предприятием. Академическая публицистика, 5: 194-196.
- Долганова Н.А., Таганова Н.М. 2019. Анализ актуальных механизмов антикризисного управления предприятием. Инновационная наука, 4: 105-109.
- Торопцев Е.Л., Махаповский А.С. 2021. Структурные дефекты и деформации экономики. Экономический анализ: теория и практика, 20; 2 (509): 251-277.
- Хирачигаджиева М.М. 2019. Антикризисное управление и эффективное управление рисками предприятия в экономике России. Научный альманах, 12-1 (62):103-106.
- Цветков В.А. 2022. О месте, роли и значении фундаментальной экономической теории в современной России. Проблемы прогнозирования, 5(194):100- 106.

Refences

- Andriyanov N.A. 2019. Problematika sovershenstvovaniya antikrizisnogo upravleniya na rossijskikh predpriyatiyah [Problematics of improving anti-crisis management at Russian enterprises]. Gorizonty ekonomiki, 6 (53):25-27. (in Russian)
- Artemova A.Yu. 2019. Identifikaciya riskov i ugroz v antikrizisnom upravlenii predpriyatiem [Identification of risks and threats in anti-crisis enterprise management]. Nauka i praktika regionov, 3 (16):11-17. (in Russian)
- Boychenko O.V., Ivanyuta D.V. 2021. Razvitie social'no – ekonomicheskoy sistemy Rossijskoj Federacii [Development of the socio – economic system of the Russian Federation]. Strategicheskoe upravlenie razvitiem cifrovoj ekonomiki na osnove umnyh tekhnologij. pod red. A. V. Babkina. Sankt-Peterburg, 10-28. (in Russian)
- Borisova E.R. 2021. Osobennosti sovremennogo etapa razvitiya Rossijskoj Federacii [Features of the current stage of development of the Russian Federation]. Ekonomiko-pravovye perspektivy razvitiya obshchestva, gosudarstva i potrebitel'skoj kooperacii. sbornik nauchnyh statej III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii. Gomel', 105-107. (in Russian)
- Bril A.R., Kalinina O.V., Parshukov A.E. 2020. Antikrizisnoe upravlenie predpriyatiem: oценка finansovogo sostoyaniya i razrabotka proektov po upravleniyu personalom [Anti-crisis management of an enterprise: assessment of financial condition and development of personnel management projects]. SPb, 90-96. (in Russian)
- Gracheva K.S., Yudina N.A. 2021. Antikrizisnoe upravlenie predpriyatiem [Anti-crisis enterprise management]. Akademicheskaya publicistika, 5: 194-196. (in Russian)
- Dolganova N.A., Taganova N.M. 2019. Analiz aktual'nyh mekhanizmov antikrizisnogo upravleniya predpriyatiem [Analysis of current mechanisms of anti-crisis management of the enterprise]. Innovacionnaya nauka, 4:105-109. (in Russian)



- Toroptsev E.L., Makhapovsky A.S. 2021. Strukturnye defekty i deformacii ekonomiki [Structural defects and deformations of the economy]. Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika, 20; 2 (509): 251-277. (in Russian)
- Hirachigadzhieva M.M. 2019. Antikrizisnoe upravlenie i effektivnoe upravlenie riskami predpriyatiya v ekonomike Rossii [Anti-crisis management and effective enterprise risk management in the Russian economy]. Nauchnyj al'manah, 12-1 (62):103-106. (in Russian)
- Tsvetkov V.A. 2022. O meste, roli i znachenii fundamental'noj ekonomicheskoy teorii v sovremennoj Rossii [On the place, role and significance of fundamental economic theory in modern Russia. Problemy prognozirovaniya, 5(194):100- 106. (in Russian)

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

УДК: 332.146

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-525-538

Совершенствование методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя

Хижак Н.П.

Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в г. Ялте
Россия, 298635, Республика Крым, г. Ялта, ул. Севастопольская, 2-А
E-mail: shamnp@mail.ru

Аннотация. В современных условиях одним из инструментов государственной региональной политики являются свободные экономические зоны, деятельность которых предполагает развитие тех или иных регионов страны. Для контроля эффективности функционирования свободной экономической зоны в рамках решения задач повышения эффективности региональной политики необходима научно обоснованная методика комплексной оценки. Целью данного исследования является выявление направлений совершенствования утвержденной Правительством Российской Федерации методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя в контексте повышения качества регионального управления. Для этого в статье выполнен анализ правового режима создания и условий деятельности данной свободной экономической зоны, определены детерминанты для методики оценки эффективности ее функционирования. Изучение существующих правил ежегодной оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя и анализ фактических показателей деятельности зоны за 2015-2021 г.г. позволили выявить недостатки в применяемых методических подходах. В результате исследования предложены базовые элементы системы оценочных показателей, которые должна включать методика, сформулировано содержание новых методических подходов. Результаты исследования являются теоретической основой для дальнейшей работы по совершенствованию методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя.

Ключевые слова: региональная политика, свободная экономическая зона, оценка, эффективность, функционирование, налоги, льготы, методика

Для цитирования: Хижак Н.П. 2023. Совершенствование методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя. Экономика. Информатика, 50(3): 525-538. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-525-538

Improving the Methodology of Assessing the Effectiveness of the Free Economic Zone in the Republic of Crimea and Sevastopol

Natalya P. Khyzhak

Humanities and Education Science Academy (branch) of V.I. Vernadsky
Crimean Federal University in Yalta
2-A, Sevastopolskaya St., Republic of Crimea, Yalta, 298635, Russian Federation
E-mail: shamnp@mail.ru

Abstract. In modern conditions, one of the instruments of state regional policy are free economic zones, the activities of which involve the development of certain regions of the country. In order to control the

effectiveness of a free economic zone as part of solving the problems of improving the effectiveness of regional policy, a scientifically sound methodology for comprehensive assessment is needed. The purpose of this study is to identify ways of improving the methodology of assessing the effectiveness of the functioning of a free economic zone in the territories of the Republic of Crimea and Sevastopol in the context of improving the quality of regional governance. For this purpose, the article analyses the legal regime of creation and conditions of activity of the free economic zone, determinants for the methodology of efficiency evaluation of its functioning are defined. The study of the existing rules of annual assessment of the effectiveness of the free economic zone in the Republic of Crimea and Sevastopol and the analysis of the actual performance of the zone for 2015-2021 allowed identifying shortcomings in the applied methodological approaches. As a result of the study, the basic elements of the system of evaluation indicators, which should include the methodology, were proposed, and the content of new methodological approaches was formulated. The results of the study are a theoretical basis for further work on improving the methodology for assessing the effectiveness of a free economic zone in the Republic of Crimea and Sevastopol.

Keywords: regional policy, free economic zone, assessment, efficiency, functioning, taxes, benefits, methodology

For citation: Khyzhak N.P. 2023. Improving the Methodology of Assessing the Effectiveness of the Free Economic Zone in the Republic of Crimea and Sevastopol. Economics. Information technologies, 50(3): 525-538 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-525-538

Введение

Решение задач социально-экономического развития отдельных регионов и повышения их конкурентоспособности, модернизация производства, внедрение инноваций, реализация масштабных инфраструктурных проектов на отдельных территориях не возможны без реализации особых мер государственной поддержки. Как свидетельствует мировой опыт, эффективным инструментом региональной государственной политики является создание на отдельных территориях экономических зон с особым режимом предпринимательской и иной деятельности.

Особый правовой режим функционирования территорий с особым экономическим статусом предполагает создание государством преимущественных (льготных) экономических условий для работающих в них субъектов хозяйствования, включающих вопросы налогообложения, таможенного регулирования, имущественных правоотношений, доступа к рынку капитала, регулирования рынка труда и других. Все это призвано создать механизм привлечения инвестиций и их эффективного использования для достижения тех целей, которые определяются государством при создании свободных (специальных, особых) экономических зон. Поэтому эффективность региональной государственной политики можно оценить, в том числе, по результатам функционирования таких зон. С другой стороны, реализация проектов на территориях экономических зон предполагает прямое и (или) косвенное участие государства, что должно сопровождаться оценкой эффективности мер государственной поддержки, в том числе расходования бюджетных средств. Таким образом, вопрос совершенствования методики оценки эффективности функционирования свободных (специальных, особых) экономических зон является актуальным и экономически обоснованным. Е.А. Матушевская справедливо считает, что «совершенствование методических подходов к комплексной оценке эффективности функционирования свободных экономических зон как инструмента регионального управления будет способствовать выработке эффективной региональной политики» [Матушевская, 2018].

Объекты и методы исследования

Разработка научного обоснованного комплексного метода оценки эффективности функционирования свободных (специальных, особых) экономических зон необходима не только для определения состояния и динамики их развития, но и для оперативной корректировки условий развития территорий с особым экономическим статусом для максимизации

ции заложенных в них преимуществ развития для бизнеса и региона. Целью данного исследования является выявление направлений совершенствования методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя в контексте повышения качества регионального управления. Для достижения поставленной цели исследованы характеристики свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя, как одного из видов территорий с особым экономическим статусом, и проведен анализ существующих подходов к оценке эффективности функционирования свободной экономической зоны, созданной на территориях Республики Крым и города федерального значения Севастополя. В процессе данного исследования использовались общенаучные диалектические методы, системный и логический анализ экономической информации и практического опыта, метод графической интерпретации, количественные и качественные методы экономического анализа.

Результаты и их обсуждение

Вопросы оценки эффективности функционирования в Российской Федерации территорий с особым экономическим статусом являются предметом исследования многих отечественных авторов. Методологические аспекты оценки в разное время рассматривались Е.А. Матушевой, Е.С. Цепиловой, О.И. Беляевой, Ш.У. Ниязбековой, О.В. Назаренко, К.Г. Буневич, О.С. Ивановой, Е.С. Капустиной, Э.С. Алпатовой и другими учеными. Анализ научных публикаций показал, что их абсолютное большинство посвящено вопросам оценки деятельности особых экономических зон России. В других работах методические подходы к оценке деятельности свободных экономических зон и особых экономических зон, в том числе используемые показатели и критерии оценки, одинаковы, что на наш взгляд является неверным допущением ввиду нижеследующего.

В общем случае измерение эффективности деятельности любой системы заключается, прежде всего, в выявлении и постановке целей ее деятельности, а также в оценке результативности реализации этих целей (соотношения результата и затрат) [Олифинов и др., 2022]. Эффективность государственного управления рассматривается как комплексная характеристика результатов с учетом соответствия полученных результатов целям и задачам [Пугачева, 2015]. Поэтому при разработке методических подходов к оценке эффективности деятельности территорий с особым экономическим статусом важно понимать, каковы нормативно-правовые основы и цели их создания. Существование определенной специфики должно выражаться в наборе оценочных показателей, как индикаторов реализации поставленных целей регионального развития.

В Российской Федерации действующее законодательство разделяет правовой режим создания и функционирования особых экономических зон и свободных экономических зон. Буткевич [Буткевич, 2016], исследуя соотношение понятий «особая экономическая зона» и «свободная экономическая зона», приходит к выводу, что это не эквивалентные понятия.

Согласно Федеральному Закону от 22 мая 2005 года №116-ФЗ «Об особых экономических зонах Российской Федерации», которым регламентируется процесс создания и деятельности всех особых экономических зон в Российской Федерации, такие зоны создаются сроком на 49 лет (без возможности продления). Целью создания особых экономических зон является развитие в установленных Правительством территориальных границах определенных сфер бизнеса: обрабатывающих отраслей экономики, высокотехнологичных отраслей экономики, туризма и санаторно-курортной сферы, портовой и транспортной инфраструктуры, что предполагает разработку технологий, коммерциализацию их результатов и производство новых видов продукции. Значительная роль в формировании и развитии инфраструктуры и институциональной среды при создании особых экономических зон принадлежит государству, финансирующему соответствующие расходы за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов. Для осу-

ществления своих функций по созданию за счет бюджетных средств и внебюджетных источников финансирования объектов инфраструктуры особых экономических зон и управлению этими и ранее созданными объектами государство привлекает управляющие компании, которые для этих целей привлекают инвесторов и обеспечивают организационное сопровождение деятельности особых экономических зон. Поэтому обоснованным является рассмотрение при оценке эффективности деятельности особых экономических зон, наряду с прочими, таких показателей, как рентабельность вложения средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов в создание объектов инженерной, транспортной, социальной, инновационной и иной инфраструктуры особой экономической зоны; показатель эффективности деятельности органов управления особой экономической зоны и показатель эффективности планирования при создании особой экономической зоны [О порядке оценки эффективности ..., 2016].

Специфические черты свободных экономических зон, отличающие их от особых экономических зон, выражаются в порядке создания свободных экономических зон, сроке их действия, органах управления, содержании правового режима предпринимательской деятельности, в отсутствии типизации по виду (видам) разрешенной деятельности, как это предусмотрено для особых экономических зон [Буткевич, 2016].

Создание и деятельность каждой свободной экономической зоны в России регулируются специальными федеральными законами. Одна из трех функционирующих в России свободных экономических зон – свободная экономическая зона на территориях Республики Крым и города федерального значения Севастополя (далее – СЭЗ Крым). Она создана специальным Федеральным законом от 29 ноября 2014 года № 377-ФЗ со сроком функционирования 25 лет (до 31 декабря 2039 года). Срок функционирования СЭЗ Крым может быть продлен федеральным законом. Целью создания СЭЗ Крым является устойчивое социально-экономическое развитие региона, привлечение инвестиций в развитие действующих и создание новых производств, развитие инфраструктуры, туризма, сельского хозяйства и санаторно-курортной сферы, а также повышение уровня и качества жизни граждан. Участником СЭЗ Крым могут стать любые юридические лица или индивидуальные предприниматели, зарегистрированные на территории Республики Крым или территории города федерального значения Севастополя, которые заявили о намерении реализовать инвестиционный проект с объемом капитальных вложений не менее 60 млн. рублей (для субъектов малого и среднего предпринимательства – 6 млн. рублей) в течение первых трех лет. Такие проекты реализуются на территории СЭЗ Крым в рамках договоров об условиях деятельности в свободной экономической зоне. Сторонами такого договора являются Уполномоченный орган в лице высшего исполнительного органа государственной власти Республики Крым или высшего исполнительного органа государственной власти города федерального значения Севастополя и Участник СЭЗ. Заключение Договора об условиях деятельности в свободной экономической зоне является «своеобразным утверждением инвестиционной декларации и разрешением государства на реализацию соответствующим субъектом предпринимательства инвестиционного проекта на территории СЭЗ» [Буткевич, 2017, с.136]. Согласно договору, участник принимает на себя обязательства по реализации инвестиционного проекта, в том числе обязуется осуществить в согласованные договором сроки и в согласованных суммах капитальные вложения, создать в согласованном количестве и в согласованные сроки новые рабочие места, а также выполнить прочие условия утвержденной инвестиционной декларации [Об утверждении примерной формы договора..., 2015]. Государство в лице Уполномоченного органа никаких прямых финансовых обязательств по договору об условиях деятельности в свободной экономической зоне на себя не принимает [Федеральный закон №377-ФЗ ..., 2014; Об утверждении примерной формы договора..., 2015]. Полномочия органов управления СЭЗ Крым фактически сводятся к администрированию единого реестра участников свободной экономической зоны, аналитическим и кон-

трольным функциям [Федеральный закон №377-ФЗ ..., 2014]. В частности, высший исполнительный орган государственной власти Республики Крым и высший исполнительный орган государственной власти города Севастополя утверждают величины плановых (прогнозных) показателей функционирования СЭЗ Крым на плановый календарный год и ежегодно предоставляют в Минэкономразвитие Российской Федерации фактические данные для подготовки ежегодного отчета о результатах функционирования зоны.

Таким образом, экономическое участие государства в функционировании СЭЗ является косвенным и выражается в:

- установлении льготного режима налогообложения и уплаты страховых взносов;
- предоставлении для реализации инвестиционных проектов участникам СЭЗ без торгов земельных участков для размещения необходимых объектов;
- применении таможенной процедуры свободной таможенной зоны, предусматривающей отдельный порядок осуществления процедур пограничного, таможенного и иного контроля в отношении пассажиров, животных, грузов, товаров, транспортных средств в сводных портах, которыми признаются морские порты, расположенные в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе.

На территории СЭЗ Крым на сегодняшний момент действуют льготы и преференции по налогу на прибыль, по налогу на имущество организаций, земельному налогу и страховым взносам в порядке и на условиях, предусмотренных Налоговым кодексом Российской Федерации.

Проведенное сравнение нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность СЭЗ Крым и особых экономических зон на территории Российской Федерации, позволяет выделить несколько детерминант для методики оценки эффективности ее функционирования:

- функционирование СЭЗ Крым должно обеспечивать развитие не отдельных отраслей промышленности, а непосредственно социально-экономическое развитие полуострова в целом за счет притока частных инвестиций;
- государственное участие в экономических процессах на территории СЭЗ Крым не предполагает финансирования создания инфраструктуры (прямых инвестиций) и заключается в создании льгот и стимулов для бизнеса, главным образом, в сфере налогообложения;
- экономическое пространство СЭЗ Крым является более саморегулируемым, так как не предполагает администрирования управляющими компаниями, как в особых экономических зонах, что повышает ответственность участников СЭЗ Крым за результаты своей хозяйственной деятельности.

Рассмотрим, учтены ли данные условия в действующей методике оценки эффективности функционирования СЭЗ Крым.

На сегодняшний день для оценки эффективности функционирования СЭЗ Крым применяется методика, утвержденная Постановлением Правительства РФ от 12 декабря 2015 г. N 1368 «Об утверждении Правил ежегодной оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя и подготовки отчета о результатах функционирования свободной экономической зоны» (далее – Правила) [Правила ежегодной оценки ..., 2015].

Согласно Правилам для осуществления оценки эффективности, установлены показатели, объединенные в шесть групп:

- 1) абсолютные количественные показатели функционирования СЭЗ Крым (включает 6 статистических показателей);
- 2) абсолютные показатели деятельности участников СЭЗ Крым в рамках заключенных договоров об условиях деятельности в свободной экономической зоне (включает 5 статистических показателей);
- 3) величины плановых (прогнозных) показателей функционирования СЭЗ Крым (включает 8 утвержденных в установленном порядке показателей);

4) показатели, отражающие социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя (включает 7 статистических показателей);

5) относительные количественные показатели, отражающие эффективность деятельности участников СЭЗ Крым (включает 3 расчетных показателя);

6) относительные количественные показатели, отражающие влияние функционирования свободной экономической зоны на социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя (включает 3 расчетных показателя).

Основные положения действующей методики заключаются в следующем.

Эффективность функционирования СЭЗ Крым оценивается по степени выполнения в отчетном периоде плановых величин таких показателей (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Действующая модель оценки эффективности
функционирования СЭЗ Крым
The current model for assessing the effectiveness of the functioning
of the Crimean Free Economic Zone

Показатели	Параметр оценки	Критерии оценки (по каждому показателю)
1. Количество участников СЭЗ	Выполнение плановых величин	Процент выполнения плана
2. Объем выручки от продажи товаров, работ, услуг		
3. Количество построенных и введенных в эксплуатацию объектов недвижимости, объектов инженерной, транспортной, социальной, инновационной и иной инфраструктуры		
4. Количество созданных рабочих мест на территории свободной экономической зоны		
5. Объем инвестиций, в том числе капитальных вложений, осуществленных в соответствии с заключенными договорами о деятельности		

Источник: составлено автором на основании [Правила ежегодной оценки..., 2015]

Баллы присваиваются в зависимости от достигнутого процента выполнения плана по каждому указанному показателю (см. рис.1) согласно установленной Правилами 5-ти балльной шкале и затем агрегируются в итоговое значение путем вычисления среднего арифметического значения.

Например, при выполнении плановых показателей свыше, чем на 90% каждый, балльные оценки каждого показателя будут равны 5 (пяти) баллам, что при нахождении среднего арифметического значения даст итоговые 5 (пять) баллов и функционирование СЭЗ Крым будет признано эффективным. При выполнении плановых показателей ниже, чем на 35% каждый, балльные оценки каждого показателя будут равны 1 (одному) баллу, что при нахождении среднего арифметического значения даст итоговый 1 (один) балл и эффективность функционирования СЭЗ Крым будет признана низкой [Правила ежегодной оценки ..., 2015].

Эффективность деятельности участников СЭЗ Крым за отчетный период оценивается с применением относительных величин, характеризующих уровень выполнения запланированных значений по показателям:

- объем налогов, уплаченных участниками СЭЗ Крым в бюджеты всех уровней бюджетной системы Российской Федерации в рамках заключенных договоров о деятельности;
- количество созданных рабочих мест на территории свободной экономической зоны;

– объем инвестиций, в том числе капитальных вложений, осуществленных в соответствии с заключенными договорами о деятельности.

В Правилах указано (п. 22), что полученные показатели используются для сравнительного анализа результатов деятельности участников свободной экономической зоны.

Влияние функционирования СЭЗ Крым на социально-экономическое развитие Республики Крым и города Севастополя оценивается по уровню относительных количественных показателей:

– доля созданных рабочих мест на территории свободной экономической зоны в численности трудоспособного населения региона;

– доля выручки от продажи товаров, работ и услуг, произведенных участниками СЭЗ Крым, в валовом региональном продукте;

– доля налогов, уплаченных участниками СЭЗ Крым в бюджеты всех уровней бюджетной системы Российской Федерации в рамках заключенных договоров о деятельности в объеме налоговых и неналоговых доходов консолидированного бюджета региона.

Утвержденная методика (п. 21 Правил) предусматривает использование фактических значений всех указанных в Правилах показателей для выявления факторов, оказывающих положительное или негативное влияние на эффективность функционирования СЭЗ Крым.

Анализ положений действующей методики оценки эффективности деятельности СЭЗ Крым позволил сделать вывод о наличии недостатков в применяемых подходах. Выделим основные:

1) Фактически эффективность функционирования СЭЗ Крым оценивается только по уровню выполнения планово-прогнозных значений пяти абсолютных показателей (см. табл. 1). То есть оценка эффективности сужается до уровня оценки процесса функционирования с точки зрения выполнения плана без оценки и анализа результативности (как достижения поставленных целей функционирования) и эффективности (с точки зрения «стоимости результатов» – соотношения результатов и затраченных ресурсов) функционирования свободной экономической зоны.

В частности, Правила не предусматривают подходов к определению эффективности предоставленных участником СЭЗ Крым налоговых льгот, тогда как меры налогового регулирования деятельности СЭЗ Крым, как указывалось выше, являются основными. Заметим, что необходимость оценки эффективности налоговых расходов бюджетов является законодательно закрепленной обязанностью уполномоченных государственных органов [Об общих требованиях к оценке налоговых расходов..., 2019], а целесообразность включения налогового показателя в методику оценки эффективности деятельности особых экономических зон признается многими исследователями [Sinenko, Mayburov, 2017; Цепилова, Беляева, 2019].

Кроме того, при оценке эффективности только по результатам соотношения фактически достигнутых и плановых показателей выводы могут искажаться за счет качества планирования показателей или эффекта низкой базы.

2) Ничем не обоснована градация процентов выполнения плановых показателей для присвоения баллов, учитываемых при расчете итогового значения суммарного показателя для выводов об эффективности функционирования СЭЗ. Так, согласно Правилам, если процент выполнения плановых показателей окажется равным в среднем лишь 51%, что даст итоговые 3 балла, функционирование СЭЗ все равно может признаваться как «достаточно эффективным», так и «условно-эффективным» [Правила ежегодной оценки ..., 2015]. В этом случае возникают вопросы о качестве и объективности оценки.

3) Несмотря на то, что методика предполагает расчет показателей эффективности деятельности участников свободной экономической зоны, в дальнейшем в выводах об эффективности функционирования СЭЗ Крым результаты такого анализа не учитываются. Также Правила не предусматривают использование результатов оценки влияния функционирования СЭЗ Крым на социально-экономическое развитие Республики Крым и города Севастополя в целях общей оценки деятельности зоны. Таким образом, методика, приме-

няемая для подготовки отчетов и на их основе необходимых корректирующих мер, не является комплексной.

При этом «выпадают» из рассмотрения и не влияют на итоговую оценку такие важнейшие показатели, как «Объем налогов, уплаченных участниками СЭЗ в бюджеты всех уровней бюджетной системы Российской Федерации в рамках заключенных договоров о деятельности», «Доля налогов, уплаченных участниками СЭЗ Крым в бюджеты всех уровней бюджетной системы Российской Федерации в рамках заключенных договоров о деятельности в объеме налоговых и неналоговых доходов консолидированного бюджета региона», «Доля выручки от продажи товаров, работ и услуг, произведенных участниками СЭЗ Крым, в валовом региональном продукте».

4) В Правилах не заданы, кроме положительной оценки установления факта выполнения плана, другие критерии и методические подходы к анализу относительных показателей, характеризующих эффективность деятельности участников СЭЗ Крым за отчетный период. Также в Правилах не содержатся рекомендации относительно подходов к оценке влияния отдельных абсолютных показателей на эффективность функционирования СЭЗ, оценке характера влияния и измерению такого влияния.

5) Не формализованы критерии оценки динамики абсолютных показателей, что повышает степень субъективности оценочных суждений. Тенденции изменения показателей не учитываются при формировании общей оценки функционирования СЭЗ Крым, тогда как замедление темпов роста или отрицательная динамика показателей может служить верным признаком проблем, требующих анализа и оперативной корректировки.

6) Методический аппарат для оценки влияния функционирования СЭЗ Крым на социально-экономическое развитие Республики Крым и города Севастополя фактически отсутствует. При этом, например, если анализировать показатель «Доля созданных рабочих мест на территории свободной экономической зоны в численности трудоспособного населения региона» в динамике, его рост может быть обусловлен не ростом количества созданных на территории СЭЗ в отчетном периоде рабочих мест, а уменьшением численности трудоспособного населения региона в тот же период. Такая же ситуация может иметь место и по другим показателям данной группы. Это снижает качество выводов.

При практическом использовании Правил для оценки результатов функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2021 год Минэкономразвития РФ в своем отчете признает функционирование свободной экономической зоны за 2021 год и предшествующий двухлетний период эффективным на основании следующих показателей (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Выполнение прогнозно-плановых показателей СЭЗ Крым за 2021 г.
[Отчет о результатах ..., 2022]
Fulfillment of forecast-planned indicators of FEZ Crimea for 2021
[Results report ..., 2022]

Показатели	План	Факт	Отношение факта к плану	Балл	Итог
1. Количество участников СЭЗ, ед.	42	139	331%	5	4,4
2. Объем выручки от продажи товаров, работ, услуг, млн руб.	279 030	432 039	155%	5	
3. Количество построенных и введенных в эксплуатацию объектов недвижимости, объектов инженерной, транспортной, социальной, инновационной и иной инфраструктуры, ед.	613	447	73%	4	

Окончание табл. 2
End table 2

Показатели	План	Факт	Отношение факта к плану	Балл	Итог
4. Количество созданных рабочих мест на территории свободной экономической зоны, ед.	15 358	9 078	59%	3	
5. Объем инвестиций, в том числе капитальных вложений, осуществленных в соответствии с заключенными договорами о деятельности, млн руб.	48 327	47 864	99%	5	

Иные показатели для выводов об эффективности функционирования свободной экономической зоны Минэкономразвития не использовались. В то же время по результатам деятельности СЭЗ Крым сложился ряд тенденций, без учета которых, по нашему мнению, оценка является недостоверной.

Динамика развития СЭЗ Крым с момента ее создания по 2021 год (последние опубликованные данные) характеризуется следующими показателями (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Показатели функционирования СЭЗ Крым за период с 2015 по 2021 год
Indicators of the functioning of the Crimea FEZ for the period from 2015 to 2021

Показатели ¹	2015г.	2016г.	2017г.	2018г.	2019г.	2020г.	2021г.
1. Количество участников СЭЗ на конец отчетного периода, ед.	366	955	1 655	1 714	1 704	1 656	1 645
2. Зарегистрировано участников СЭЗ, ед.	366	604	723	97	37	75	139
3. Заключено договоров об условиях деятельности в СЭЗ, ед.	404	606	729	118	63	98	169
4. Количество реализуемых инвестиционных проектов на конец отчетного периода, ед.	404	995	1 700	1 774	1 789	1 747	1 750
5. Доля субъектов МСП в общем количестве участников СЭЗ, %	88,0	92,8	93,9	92,7	90,9	93,5	85,7

¹ все показатели, кроме показателя 1 и показателя 4, указаны за соответствующий отчетный период

Источник: составлено автором по данным [Отчет о результатах..., 2016; Отчет о результатах..., 2017; Отчет о результатах..., 2018; Отчет о результатах..., 2019; Отчет о результатах..., 2020; Отчет о результатах..., 2021; Отчет о результатах..., 2022]

Анализ приведенных в таблице 3 данных позволяет сделать следующие выводы.

На конец 2021 года количество участников СЭЗ Крым является минимальным за последние 5 лет ее существования, при этом с 2018 года тенденция уменьшения количества участников имеет устойчивый характер. Кратно меньше по сравнению с первыми годами функционирования СЭЗ Крым регистрируется новых участников (например, в 2021 году этот показатель меньше, чем в 2017 году более чем в 5 раз). Меньше заключается новых договоров об условиях деятельности в СЭЗ Крым. Так, за весь период 2018 – 2021 гг. заключено в 1,6 раза меньше договоров, чем в 2017 году, и почти в 4 раза меньше договоров,

чем за период 2015 – 2017 г.г. Соответственно, количество реализуемых инвестиционных проектов на территории СЭЗ Крым, начиная с 2018 года, практически не растет.

По итогам 2021 года отмечается минимальное за весь период функционирования СЭЗ Крым количество субъектов МСП в общем количестве участников свободной экономической зоны.

Таким образом, имеет место снижение заинтересованности бизнеса в работе на территории СЭЗ Крым, что оказывает влияние на объем привлекаемых инвестиций. Это видно по фактическим данным, приведенным в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Абсолютные показатели деятельности участников СЭЗ Крым
за период с 2015 по 2021 год в рамках заключенных договоров об условиях деятельности
Absolute indicators of the activities of participants in the Crimea FEZ for the period from 2015
to 2021 within the framework of the concluded agreements on the conditions of activity

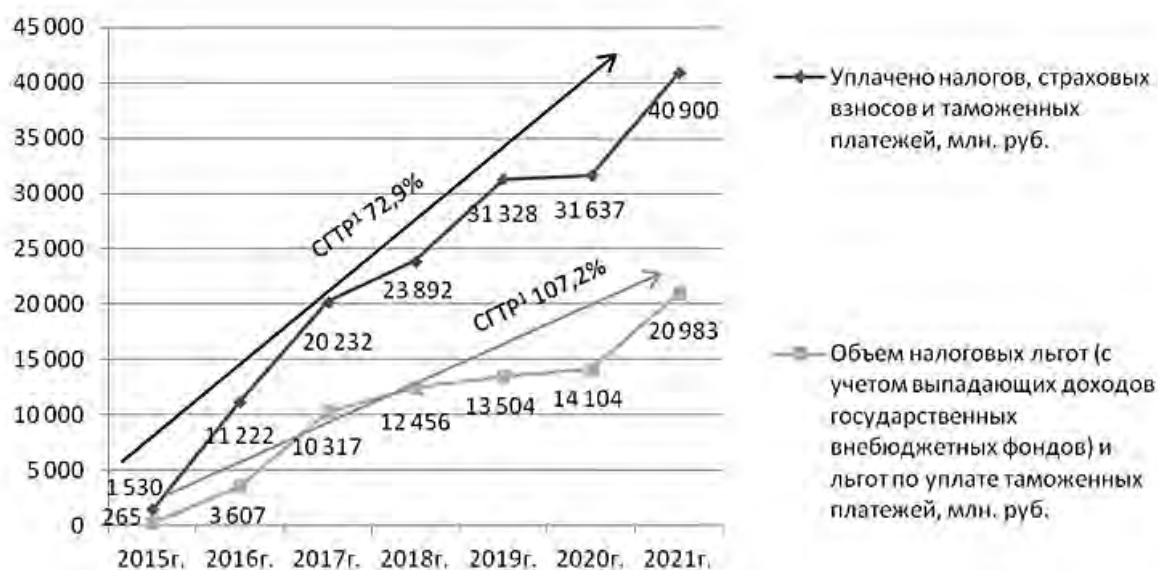
Показатели	2015г.	2016г.	2017г.	2018г.	2019г.	2020г.	2021г.
1. Объем выручки от продажи товаров, работ и услуг, млн руб.	11 885	146 013	243 885	254 512	300 335	313 853	432 039
2. Объем инвестиций всего, млн руб., в т.ч.	4 406	19 027	36 484,8	46 412,7	50 580,5	49 893,1	47 864,2
капитальные вложения, млн руб.	3 209	14 025	27 447,1	36 060,6	23 984,7	25 383,4	19 807,5
капитальные вложения, % от объема инвестиций	72,8	73,7	75,2	77,7	47,4	50,9	41,4
3. Количество построенных и введенных в эксплуатацию объектов недвижимости и инфраструктуры, ед.	203	715	2 325	413	532	948	447
4. Количество созданных рабочих мест на территории свободной экономической зоны, ед.	3 205	13 108	15 295	17 668	17 021	8 855	9 078

Источник: составлено автором по данным [Отчет о результатах..., 2016; Отчет о результатах..., 2017; Отчет о результатах..., 2018; Отчет о результатах..., 2019; Отчет о результатах..., 2020; Отчет о результатах..., 2021; Отчет о результатах..., 2022]

Действительно, при устойчивой положительной динамике объемов выручки от продажи товаров, работ, услуг (в 2021 году по данному показателю имеет место рост на 37,7% к уровню 2020 года, на 43,9% к уровню 2019 года, на 70% к уровню 2018 года), общая сумма средств, инвестированных участниками СЭЗ, снижается, начиная с 2019 года. В 2021 году общий объем инвестиций, осуществленных участниками СЭЗ, уменьшился на 4% к уровню 2020 года (годом ранее показатель снизился на 1%). В части объема капитальных инвестиций устойчивый нисходящий тренд отмечается уже с 2018 года. При этом в капитальные вложения в 2021 году направлено чуть более 40% инвестиций, что является минимальным показателем за все время функционирования СЭЗ Крым. В итоге в 2021 году объем капитальных инвестиций на 22% меньше, чем в 2020 году, и в 1,8 раза меньше, чем в 2018 году.

Количество построенных и введенных в эксплуатацию объектов недвижимости и инфраструктуры в 2021 году составило 447 единиц, что является наименьшим показателем с 2019 года. Соответственно, в 2021 году против уровня предшествующих лет имеет место снижение и количества созданных рабочих мест. Очевидно, что при отмеченном выше небольшом количестве новых заключенных договоров об условиях деятельности в СЭЗ Крым может складываться негативный прогноз о перспективах функционирования зоны.

При рассмотрении абсолютных показателей, предусмотренных Правилами, отмечается рост уплаченных участниками СЭЗ Крым налогов, страховых взносов и таможенных платежей при соответствующем увеличении объемов используемых участниками СЭЗ Крым налоговых льгот и преференций (рис. 1).



¹ Среднегодовой темп роста (CAGR – Compound annual growth rate)

Рис. 1. Налоговые показатели деятельности СЭЗ Крым за период с 2015 по 2021 год

Fig. 1. Tax performance of SEZ Crimea for the period from 2015 to 2021

Источник: составлено автором по данным [Отчет о результатах..., 2016; Отчет о результатах..., 2017; Отчет о результатах..., 2018; Отчет о результатах..., 2019; Отчет о результатах..., 2020; Отчет о результатах..., 2021; Отчет о результатах..., 2022]

В то же время, как видно по рисунку 1, эффективность существующих налоговых льгот снижается, так как имеет место опережающий темп роста объемов использованных налоговых льгот по отношению к темпам роста налоговых доходов. Как результат, сумма налоговых поступлений на 1 руб. используемых налоговых льгот (с учетом выпадающих доходов государственных внебюджетных фондов) и льгот по уплате таможенных платежей снизилась в СЭЗ Крым с 2,32 руб./руб. по итогам 2018 года до 1,95 руб./руб.

Подчеркнем, что ни уровень фактических показателей деятельности свободной экономической зоны, ни их динамика, указанные в таблицах 3 и 4, а также на рисунке 1, не повлияли на заключение уполномоченного Правительством Российской Федерации федерального органа исполнительной власти о признании функционирования СЭЗ Крым эффективным. В то же время выполненный анализ указывает на ряд сложившихся негативных тенденций, свидетельствующих о снижении эффективности функционирования зоны. Считаем, что данная ситуация является прямым следствием выявленных в ходе проведенного исследования недостатков действующей методики.

Таким образом, необходимость совершенствования методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым

и г. Севастополя, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 12 декабря 2015 г. N 1368, подтверждена эмпирически.

Заключение

В ходе исследования обоснована необходимость совершенствования методики оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и города федерального значения Севастополя.

Выполненный анализ характеристик, целевых ориентиров и нормативно-правовых основ деятельности СЭЗ Крым позволяет сделать вывод, что акцент при формировании системы оценочных показателей методики должен быть сделан на три блока:

- 1) блок налоговых показателей, оценивающих эффективность налоговых льгот, динамику налоговых поступлений в бюджеты различных уровней, уровень налоговой нагрузки;
- 2) блок показателей, характеризующих инвестиционную активность участников СЭЗ Крым;
- 3) блок показателей, характеризующих эффективность деятельности участников СЭЗ Крым.

Представляется, что блок налоговых показателей здесь имеет исключительную важность, так как и степень участия государства в деятельности СЭЗ Крым и привлекательность свободной экономической зоны для бизнеса измеряется в первую очередь объемом предоставляемых ее участникам льгот и преференций по налогам. В то же время экономический рост участников СЭЗ находит выражение в росте налоговой базы, что возможно только тогда, когда действующая налоговая система и меры налогового регулирования являются эффективными. При этом именно налоги, наряду с инвестициями, создают финансовую основу устойчивого социально-экономического развития региона, повышения уровня и качества жизни граждан.

Анализ положений действующей методики оценки эффективности деятельности СЭЗ Крым и их реализация на практике показали, что полученная оценка не является комплексной, не учитывает негативные тенденции изменения отдельных показателей и, таким образом, не позволяет достоверно определить фактическое состояние свободной экономической зоны. Это влияет на качество принимаемых на основании таких оценок решений в рамках региональной политики.

Предлагается решать задачу повышения качества оценки эффективности функционирования СЭЗ Крым с применением следующих методических подходов:

- использовать модель оценки эффективности, основанную на анализе темпов роста частных оценочных показателей (абсолютных и относительных), что потребует разработки системы динамических нормативов, отражающих эталонную траекторию изменения таких показателей;
- использовать методы агрегирования частных оценочных показателей (абсолютных и относительных), включенных в блоки, что потребует разработки алгоритма расчета интегрального показателя, как единого индикатора состояния СЭЗ Крым на дату оценки.

Работа над данной проблематикой определяет направление дальнейших исследований по теме.

Список источников

- Об особых экономических зонах Российской Федерации: федеральный закон от 22.07.2005 №116-ФЗ (ред. от 18.03.2023) // СПС КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_54599/ (дата обращения: 20 марта 2023).
- О развитии Республики Крым и города федерального значения Севастополя и свободной экономической зоне на территориях Республики Крым и города федерального значения Севастополя: федеральный закон от 29.11.2014 №377-ФЗ (ред. от 18.03.2023г.) // СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171495/ (дата обращения: 20 марта 2023).

- Правила ежегодной оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя и подготовки отчета о результатах функционирования свободной экономической зоны : Постановление Правительства Российской Федерации от 12.12.2015 №1368 (ред. от 03.06.2017) // СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_190571/ (дата обращения: 01 февраля 2023).
- О порядке оценки эффективности функционирования особых экономических зон : Постановление Правительства Российской Федерации от 07.07.2016 №643 (ред. от 24.06.2020) // СПС КонсультантПлюс. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201682/ (дата обращения: 02 февраля 2023).
- Об общих требованиях к оценке налоговых расходов субъектов Российской Федерации и муниципальных образований : Постановление Правительства Российской Федерации от 22.06.2019 №796 (ред. от 09.12.2022) // СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_327498/ (дата обращения: 10 февраля 2023).
- Об утверждении примерной формы договора об условиях деятельности в свободной экономической зоне на территориях Республики Крым и г. Севастополя и о признании утратившим силу Приказа Минэкономразвития России от 18 ноября 2015 г. N 859 : Приказ Минэкономразвития Российской Федерации от 24.06.2019 №363 (в редакции от 27.06.2022) // СПС КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329387/ (дата обращения 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2015 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/fdf4bd41eba4ff020e9c542e3ceed913/report_2015.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2016 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/ef830de58ad68d009a1e91d494fe3124/report_2016.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2017 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/ac54af0e5fe5e8b328f4cc96a12400a7/report_2017.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2018 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/fcd17c523b92455fdcef1e39092a0d14/report_2018.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2019 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/efe02117b0ec013a9b32ed20a5bf73d6/report_2019.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2020 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/d4cae5f3397494aafc525c3720e8eb0b/report_2020.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).
- Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2021 год : сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/418ef4dcbaefaa2ac52d6891a8200b46/report_2021.pdf (дата обращения: 01 февраля 2023).

Список литературы

- Буткевич О.В. 2016. О соотношении понятий «особая экономическая зона» и «свободная экономическая зона». Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Юридические науки, Том 2 (68), 3: 163–169.
- Буткевич О.В. 2017. Договор об условиях деятельности в свободной экономической зоне на территории Республики Крым и города Севастополя как правовая форма осуществления

- предпринимательской деятельности. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки, Том 3 (69), 4: 134–143.
- Матушевская Е.А. 2018. Формирование комплексного подхода к оценке эффективности функционирования свободной экономической зоны. Экономика региона, Том 14, 3: 870–883. DOI 10.17059/2018-3-13.
- Олифинов А.В. и др. 2022. Механизм управления экономическим потенциалом пространственной структуры региона: Монография. Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 156 с.
- Пугачева Л.В. 2015. Эффективность государственного и муниципального управления: сущность, критерии, оценка. Актуальные вопросы социально-экономического развития современного государства. Сборник научных статей. Новочеркасск: Южно-Российский гос. политехнический ун-т (НПИ) им. М. И. Платова: 30–38.
- Цепилова Е.С., Беляева О.И. 2019. Методика оценки эффективности деятельности особых экономических зон в части мер налогового стимулирования производственной деятельности и поддержки занятости населения. Экономика. Налоги. Право, 6: 122–133.
- Sinenko, O., Mayburov, I. 2017. Comparative Analysis of the Effectiveness of Special Economic Zones and Their Influence on the Development of Territories. International Journal of Economics and Financial Issues, 7(1): 115–122.

References

- Butkevich O.B. 2016. On the correlation between the concepts of 'special economic zone' and 'free economic zone'. Scientific Notes of the Vernadsky Crimean Federal University. Legal Sciences, Vol. 2 (68), 3: 163–169. (in Russian)
- Butkevich O.V. 2017. The agreement on the conditions of activity in the free economic zone in the territory of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol as a legal form of entrepreneurial activity. Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Legal Sciences, Vol. 3 (69), 4: 134–143. (in Russian)
- Matushevskaya E.A. 2018. Formation of a comprehensive approach to assessing the effectiveness of free economic zone functioning. Regional Economy, Vol. 14, 3: 870–883. DOI 10.17059/2018-3-13. (in Russian)
- Olifirov A.V. et al. 2022. Mechanism of management of the economic potential of the spatial structure of the region: Monograph. Simferopol: Limited Liability Company "Publishing house Typography "Arial", 156 p. (in Russian)
- Pugacheva L.V. 2015. Efficiency of state and municipal administration: essence, criteria, evaluation. Topical issues of socio-economic development of the modern state. Collection of scientific articles. Novocherkassk: M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI): 30–38. (in Russian)
- Tsepilova E.S., Belyaeva O.I. 2019. Methodology for assessing the effectiveness of special economic zones in terms of tax incentives for production activities and employment support. Economics. Taxes. Law, 6: 122–133. (in Russian)
- Sinenko, O., Mayburov, I. 2017. Comparative Analysis of the Effectiveness of Special Economic Zones and Their Influence on the Development of Territories. International Journal of Economics and Financial Issues, 7(1): 115–122.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Хижак Наталья Петровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и финансов Гуманитарно-педагогической академии (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» в г. Ялта, г. Ялта, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Natalya P. Khyzhak, Ph.D. in Economics, Associate Professor, Department of Economics and Finance Humanitarian and Pedagogical Academy (branch) of V.I. Vernadsky Crimean Federal University in Yalta, Yalta, Russian Federation

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 658:338

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-539-551

Актуальные цели и практические результаты управления цифровыми трансформациями коммерческих организаций

Веретёхин А.В.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Россия, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д.4, КФУ, каб. 115-В, корпус «В»
E-mail: v_a_v_crimea@mail.ru

Аннотация. Цифровые трансформации играют важную роль в социально-экономическом развитии. В современном мире именно они являются одним из базовых трендов в управлении, поскольку обеспечивают инноватизацию организаций. Несмотря на множество публикаций по цифровизации коммерческих организаций, проблемы цифровых трансформаций и связанные с ними вопросы целеполагания, а также практические результаты управления остаются мало исследованными. Целью данной работы является выявление факторов, обуславливающих выбор цели цифровых трансформаций коммерческих организаций, а также представление современных тенденций целеполагания и практических результатов управления цифровыми трансформациями. Проведенные исследования показали, что цели цифровизации коммерческих организаций, используемые цифровые технологии и результаты управления цифровыми трансформациями зависят от многих факторов (отраслевая принадлежность и размер фирмы, предпочтения и опыт руководства, наличие ресурсов, цифровая инфраструктура и др.). В работе систематизированы и детерминированы популярные в управленческой практике цели цифровых трансформаций, а также отражен опыт их реализации. Результаты исследования вносят вклад в развитие теории и практики цифровизации, поскольку в работе содержится релевантная информация по накопленному опыту цифровых трансформаций в бизнес-среде. В процессе исследования на основании статистических данных рассчитан годовой темп прироста использования цифровых технологий, отражающий динамику цифровых трансформаций. Автором предложено распределение целей цифровых трансформаций коммерческих организаций на три категории – универсальные, специфические, идиосинкратические (уникальные). Даны описания основных целей цифровых трансформаций, а также соответствующие пояснения и рекомендации. Настоящее исследование может быть полезно менеджерам коммерческих организаций в выборе целей и проведении цифровых трансформаций.

Ключевые слова: цифровые трансформации, менеджмент организации, цифровые инновации, цифровизация, управление развитием, цифровые технологии, практика применения цифровизации

Для цитирования: Веретёхин А.В. 2023. Актуальные цели и практические результаты управления цифровыми трансформациями коммерческих организаций. Экономика. Информатика, 50(3): 539-551. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-539-551

Actual Goals and Practical Results of Management for Digital Transformations of Commercial Organizations

Andrey V. Veretyokhin

V. I. Vernadsky Crimean Federal University

4 Academician Vernadsky Ave., building «B», CFU, office 115-B, 295007, Russian Federation

E-mail: v_a_v_crimea@mail.ru

Abstract. In today's environment, digitalization and related issues play an important role in the socio-economic development of commercial organizations. The implementation of digital transformations is one of the basic trends in management. This is due to the need to outpace the innovative development of companies. Many publications deal with the digitalization of commercial organizations. Nevertheless, certain aspects of digital transformation remain poorly researched. In particular, scientists do not pay enough attention to the issues of goal setting and the results of digitalization management. This paper is devoted to identifying the factors that determine the choice of purpose in digital transformations of commercial organizations. The author presents current trends in goal setting and practice of digital transformation in commercial organizations. The study is based on theoretical and applied works of Russian and foreign scholars on the management of digital transformation of the organization. Statistical data from open sources is also used. The research has shown that the goals of digitalization and the results achieved in the management of digital transformation of commercial organizations are due to a set of external and internal factors. The data processed and presented in the article showed that the following factors are the most significant: industry affiliation and firm size, management preferences and experience, availability of resources, surrounding digital infrastructure, etc. The article presents the most popular management objectives of digital transformation of organizations and successful experiences of their implementation. The results of this study contribute to the development of the theory and practice of digitalization, as the work contains information about the accumulated experience of digital transformation in the business environment. The article calculates the annual growth rate of the use of digital technologies, reflecting the dynamics of digital transformations. The author proposes to divide the goals of digital transformations of commercial organizations into three categories (universal, specific, idiosyncratic). The paper describes the main goals of digital transformations and provides relevant explanations and recommendations. This study can be useful to managers of commercial organizations in the choice of goals and digital transformation.

Keywords: digital transformation, organization management, digital innovation, digitalization, development management, digital technology, digitalization practice

For citation: Veretyokhin A.V. 2023. Actual Goals and Practical Results of Management for Digital Transformations of Commercial Organizations. Economics. Information technologies, 50(3): 539-551 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-539-551

Введение

В настоящее время цифровые трансформации являются одним из доминирующих трендов общественного развития. Большинство инновационных решений в хозяйственной деятельности организаций осуществляется на основе цифровых технологий [Фалько и др., 2023]. По оценкам экспертов в 2022 г. объем глобального рынка цифровых трансформаций составил \$594,5 млрд. С 2023 г. его ежегодный прирост в среднем прогнозируется в 21,1%. Ожидается, что к концу 2027 г. объем мирового рынка цифровых трансформаций достигнет \$1548,9 млрд [Digital Transformation Market Forecast & Statistics & Global Size, 2023]. В таких условиях информация, как составляющий компонент диджитализации, становится экономическим ресурсом, в значительной мере определяющим конкурентное преимущество социально-экономических систем [Алпатова, 2023].

В современных научных исследованиях, посвященных цифровизации организации, как правило, рассматриваются отдельные аспекты управления данным процессом. В частности, в условиях цифровых трансформаций изучается управление бизнес-процессами

предприятия [Комиссарова, Зарочинцева, 2022], организация отдельных цифровизированных операций и производств компании [Kraus et al., 2022; Гусев, 2023], а также социально-трудовые отношения [Алпатова, 2023]. В достаточно большом количестве актуальных работ представлены барьеры, трудности и риски, с которыми сталкиваются менеджеры организаций, в которых инновационное развитие базируется на цифровых технологиях [Пакова и др., 2021; Конопик et al., 2022].

Цифровые трансформации отличаются перманентным характером и одновременно затрагивают, как правило, несколько структурных элементов компании [Комиссарова, Зарочинцева, 2022]. Такая особенность требует от менеджмента тщательного выбора объектов для цифровизации. Реальные, хорошо проработанные цели цифровых трансформаций организаций, наряду с использованием накопленного позитивного опыта в бизнес-среде, достаточно важны для осуществления успешного управления цифровым развитием компании.

В связи с этим, целью работы является выявление факторов, обуславливающих выбор цели цифровых трансформаций коммерческих организаций, а также представление современных тенденций целеполагания и практических результатов управления цифровыми трансформациями.

Новизна исследования и его практическая значимость обусловлены тем, что автором произведена классификация актуальных целей цифровых трансформаций коммерческих организаций, а также дано авторское описание этих целей и приведены соответствующие пояснения, которые могут быть применены в теоретических изысканиях и на практике. В работе содержится релевантная информация по цифровым трансформациям в бизнес-среде, что обеспечивает определенный вклад в развитие теории и практики цифровизации. Автором обработаны статистические данные, отражающие использование цифровых технологий в организациях, принадлежащих к отраслям с высоким индексом цифровизации, а также рассчитан годовой темп прироста использования цифровых технологий, отражающий динамику цифровых трансформаций. В работе предлагается дифференциация целей цифровых трансформаций коммерческих организаций и их распределение на три категории (универсальные, идиосинкратические (уникальные), специфические). На основании пояснений и рекомендаций может быть произведено ранжирование цифровых технологий по степени их популярности у руководства, а также осуществлен выбор технологий для конкретных практических целей в процессе цифровых трансформаций организации.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является управление цифровыми трансформациями организации. В настоящее время нет общепринятого определения понятия «цифровая трансформация». В данной работе под цифровыми трансформациями понимаются такие глубокие и кардинальные внутренние преобразования организации, которые связаны «с масштабным процессом внедрения цифровых технологий» и соответственно, в отличие от оцифровки, они «в большей степени» сосредоточены «на управленческих аспектах цифровизации» [Комиссарова, Зарочинцева, 2022].

Теоретико-методологическую основу исследования составляют научные работы российских и зарубежных ученых по управлению цифровыми трансформациями коммерческой организации. Данные по современным целям цифрового развития и практике применения менеджерами компаний цифровизации взяты из открытых источников.

В данной работе применены следующие методы научного познания: теоретические методы (анализ, синтез, обобщение, индукция, дедукция, формализация, классификация, аналогия), методы эмпирического исследования (наблюдение, сравнение, измерение). Отбор актуальных целей цифровых трансформаций осуществлен методами анализа и обобщения российского и зарубежного опыта цифрового развития компаний. Для определения динамики использования цифровых технологий в организациях выполнена обработка офици-

альной статистической информации по цифровой экономике РФ, представленная в материалах Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. При расчетах применен находящийся в свободном доступе инструментарий обработки данных (электронные таблицы облачной платформы Yandex и программа MyOffice Spreadsheet).

Результаты и их обсуждение

Цифровые трансформации организации и менеджмента базируются на различных видах цифровых технологий и их сочетаниях. В качестве основных современных цифровых технологий можно выделить [Корякина, Ольховская, 2023]: облачные сервисы (ОС); большие данные (БД); цифровые платформы (ЦП); интернет вещей (ИВ); искусственный интеллект (в частности машинное обучение) (ИИ); интеллектуальные/промышленные роботы (автоматизация операций/процессов) (ПР); 3D печать (аддитивное производство); когнитивные вычисления (англ. cognitive computing); программное обеспечение с открытым кодом (англ. open source); блокчейн; дополненная реальность и др. В нынешних условиях особое значение приобретает доступность необходимых цифровых инструментов [Веретехин, 2023].

Следует отметить, что статистические данные позволяют сделать вывод об отличии предпочтений менеджеров различных по роду деятельности компаний в применении цифровых технологий того или иного типа [Абдрахманова и др., 2023, с. 51]. Динамику использования цифровых технологий в организациях демонстрирует годовой темп прироста (IP), который вычисляется по формуле:

$$IP = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\%$$

I – текущее значение показателя использования цифровых технологий;

I_0 – базовое значение показателя использования цифровых технологий.

Расчеты, выполненные по репрезентативным данным, взятым из открытых источников [Корякина, Ольховская, 2023; Абдрахманова и др., 2023, с. 52–54], показывают, что годовой темп прироста (IP) цифровых технологий в организациях неоднороден как по отраслям, так и по типам цифровых технологий (табл. 1). В вычислениях использована информация за 2020 г. (I_0) и 2021 г. (I).

Таблица 1
Table 1

Использование (I_0, I , в процентах от общего числа организаций)
и годовой темп прироста (IP , %) цифровых технологий в организациях,
принадлежащих к отраслям с высоким индексом цифровизации
Use (I_0, I , percentage of the total number of organizations) and annual growth rate (IP , %)
of digital technologies in organizations of the leading industries by the digitalization index

Отрасль	Цифровые технологии								
	ОС			БД			ЦП		
	I_0	I	IP	I_0	I	IP	I_0	I	IP
Информационные технологии	34,6	37,3	7,8	29,5	33,3	12,9	24,2	23,2	– 4,1
Информация и связь	31,9	33,9	6,3	29,1	32,9	13,1	22,6	21,3	– 5,8
Высшее образование	45,9	47,1	2,6	27,7	31,5	13,7	35,6	31,9	– 10,4
Финансовый сектор	41	38,9	– 5,1	44,4	45,5	2,5	36,3	33,2	– 8,5

Окончание табл. 1
End table 1

Отрасль	Цифровые технологии								
	ИВ			ИИ			ПР		
	I_0	I	IP	I_0	I	IP	I_0	I	IP
Оптовая и розничная торговля	38,3	39,8	3,9	25,9	32,3	24,7	30,3	24,6	– 18,8
Обрабатывающая промышленность	27,1	28,9	6,6	26,5	29,9	12,8	16,0	14,5	– 9,4
Информационные технологии	12,8	13,7	7,0	7,7	9,8	27,3	1,5	1,4	– 6,7
Информация и связь	14,6	15,1	3,4	7,8	9,8	25,6	1,4	1,5	7,1
Высшее образование	17,1	19,7	15,2	8,4	9,1	8,3	4,6	4,9	6,5
Финансовый сектор	10,8	11,2	3,7	22,8	13,0	– 43,0	0,8	0,9	12,5
Оптовая и розничная торговля	24,4	23,0	– 5,7	13,0	14,4	10,8	12,0	11,2	– 6,7
Обрабатывающая промышленность	15,8	17,6	11,4	3,6	3,9	8,3	17,2	19,0	10,5

Составлено автором на основе [Корякина, Ольховская, 2023; Абдрахманова и др., 2023, с. 52–54]. Расчеты произведены автором на облачной платформе Yandex с помощью находящегося в свободном доступе табличного инструментария для обработки данных.

Compiled by the author based on [Koryakina, Olkhovskaya, 2023; Abdrakhmanova et al., 2023]. The calculations were made by the author on the Yandex cloud platform using freely available tabular tools for data processing.

Как видно из построенной таблицы, тип, распространенность и динамика использования цифровых технологий менеджментом организации определяется, среди прочего, отраслевой принадлежностью компании. Дополнительно можно ранжировать цифровые технологии по степени их популярности у руководства организаций. Согласно статистическим данным менеджеры отдают предпочтение облачным сервисам; сбору, обработке и анализу больших данных; цифровым платформам и интернету вещей. Реже применяются технологии искусственного интеллекта и промышленные роботы/автоматизированные линии [Абдрахманова и др., 2023, с. 51].

В некоторых отраслях наблюдаются отрицательные значения годового темпа прироста цифровизируемых предприятий (IP). Тем не менее, общие тенденции цифровых трансформаций отраслей-лидеров цифровизации демонстрируют в основном положительную динамику (рис.1).

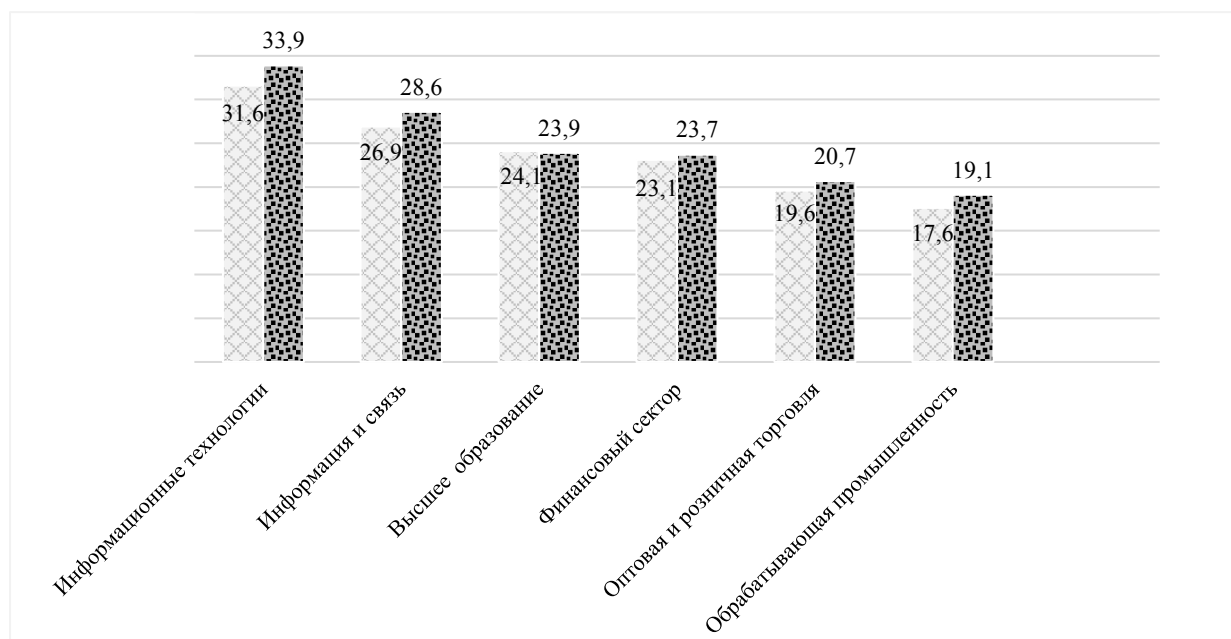


Рис. 1. Показатели цифровых трансформаций в отраслях-лидерах цифровизации
(Составлено автором на основе [Корякина, Ольховская, 2023; Абдрахманова и др., 2023, с. 52-54])

Fig. 1. Indicators of digital transformations in leading industries of digitalization
(Compiled by the author based on [Koryakina, Olkhovskaya, 2023; Abdrakhmanova et al., 2023])

Общие показатели роста цифровизации в большинстве передовых отраслей (по данным на 2021 г.) характеризуются положительными величинами. Темп прироста числа предприятий, использующих цифровые технологии приведен на диаграмме (рис. 2).

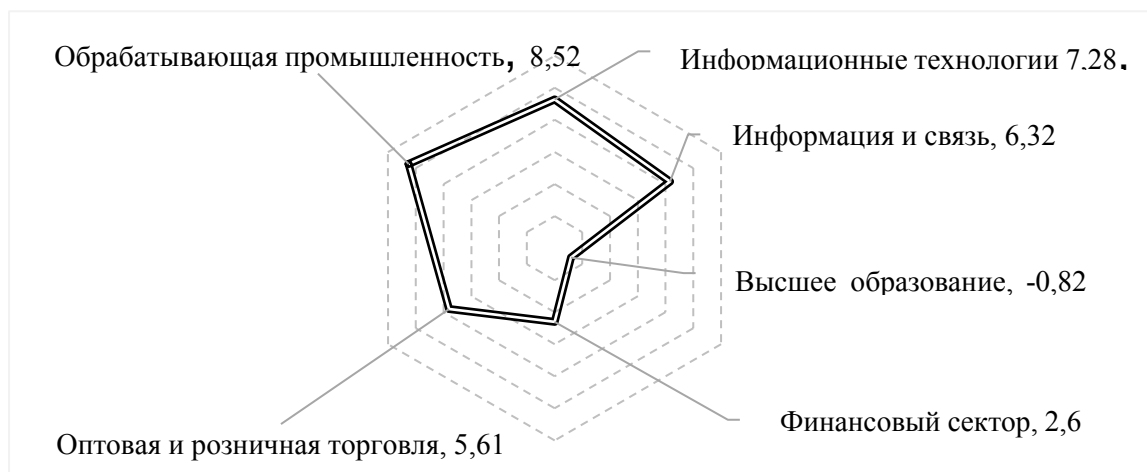


Рис. 2. Темпы прироста числа организаций, использующих цифровые технологии в 2021 году (%)
(Составлено автором на основе [Корякина, Ольховская, 2023; Абдрахманова и др., 2023, с. 52-54])

Fig. 2. Growth rate of organizations using digital technologies in 2021
(Compiled by the author based on [Koryakina, Olkhovskaya, 2023; Abdrakhmanova et al., 2023])

Незначительное падение индекса цифровизации в сфере высшего образования во многом связано с объективной необходимостью адаптации к новым условиям и ограничением использования иностранного программного обеспечения и цифровых платформ.

В сфере бизнеса уровень цифровизации предприятий несколько выше, чем средние показатели по отраслям экономики. Индекс цифровизации малого и среднего бизнеса в РФ в 2020 г. составил 50%, в 2021 г. – 51%, в 2022 г. – 52%. Наиболее активно развиваются такие направления цифровизации как передача и хранение информации, интеграция цифровых технологий, использование интернет-инструментов (рис. 3).

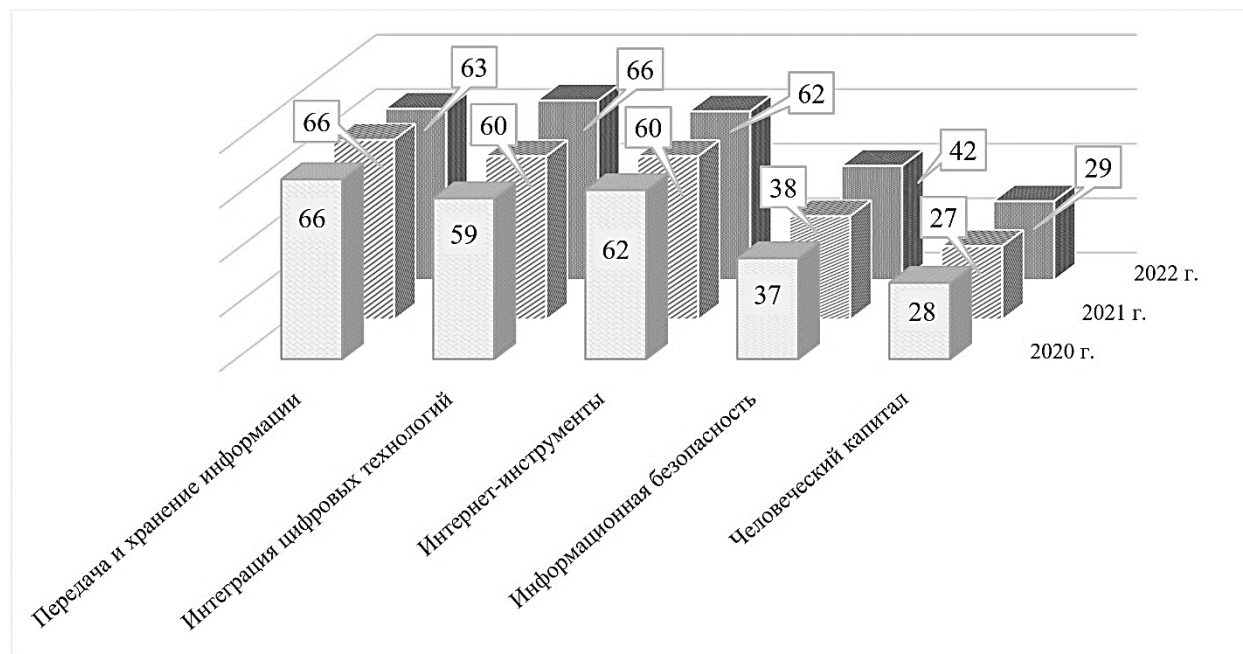


Рис. 3. Направления цифровизации бизнеса в РФ в 2020-2022 гг.
(индексы цифровизации, %)

(Составлено автором на основе [Фалько и др., 2023])

Fig. 3. Directions of business digitalization in the Russian Federation in 2020-2022
(digitization indexes, %)

(Compiled by the author based on [Falco et al., 2023])

Научный анализ и обобщение успешных практик показывает, что цели и достигнутые результаты управления цифровыми трансформациями современных коммерческих организаций зависят от набора внешних и внутренних факторов [Konopik et al., 2022; Kraus et al., 2022]. К таким внешним факторам, в частности, относятся: уровень цифрового развития региона (цифровая инфраструктура, законодательные акты в сфере цифровизации, государственная и общественная поддержка цифровых инициатив), отраслевая принадлежность организации и ее размер. Среди внутренних факторов выделяются: стратегия цифровых трансформаций как составляющая стратегического развития компании, ресурсная обеспеченность организации, ее цифровая инфраструктура, наличие надежного источника пополнения ресурсов (доступность кредитов, инвестиций, трудовых ресурсов и т.п.), вовлеченность персонала в цифровизацию, цифровая корпоративная культура.

Реалистичные цели диджитализации – это необходимый элемент успеха цифровых трансформаций. На практике их довольно непросто сформулировать, и тем более – достичь. В настоящее время менеджеры современных организаций реализуют цели, которые условно можно классифицировать как универсальные, специфические (характерные для отрасли компании) и идиосинкратические (применяют отдельные компании) (рис. 4).



Рис. 4. Классификация актуальных целей цифровых трансформаций коммерческих организаций
(Составлено автором)

Fig. 4. Classification of relevant goals of digital transformation for commercial organizations
(Compiled by the author)

Руководители современных организаций предпочитают внедрять и развивать такие цифровые компоненты/технологии, которые позволяют достичь существенных практических результатов. На данном этапе менеджеры, в качестве приоритетных, ставят следующие цели (см. рис. 4):

1. Оптимизация сбора, хранения, обработки и передачи данных.

В настоящее время менеджмент большинства компаний концентрируется на организации и внедрении электронного документооборота [Гусев, 2023]. Такой подход приносит в компании не только элементы рационального распределения труда, но часто дает дополнительный эффект. Например, руководство крупнейшего крымского банка ПАО «РНКБ» (РНКБ) последовательно внедряет в деятельность организации безбумажную технологию. Это позволило РНКБ по итогам 2022 г. (в сравнении с 2017 г.) сократить потребление бумаги в 5,7 раза при росте бизнеса в 2 раза [Безбумажная технология РНКБ: внедрение электронного документооборота].

Следует отметить, что во многих случаях автоматизация и аналитика данных, задействованные в современных бизнес-процессах российских компаний, не осуществляются в полной мере, поскольку обработка сценариев и результатов все еще проводится вручную.

2. Кастомизация продукции.

Такой подход руководства коммерческой организации позволяет покупателям настраивать продукцию компании по своему усмотрению, и тем самым получать уникальный, (отличающийся от массового) товар. Потребителю предоставляется возможность выбирать отдельные элементы/свойства товара. Это могут быть, например, цвет, дизайн, функциональность, дополнительные компоненты и др.

В настоящее время сервис «кастомизация» достаточно популярен и интенсивно внедряется менеджерами многих компаний. Например, сервис предлагается на веб-порталах обувной компании Nike (создание уникальных кроссовок [Nike By You]), автопроизводителя Nissan Motor Co., Ltd (выбор модели двигателя, цвета интерьера и экстерьера автомобиля и т.д. [Build Your Nissan]), типографии Blue Sky (создание/планировщик эксклюзивных премиальных календарей, блокнотов и другой печатной продукции [Daily, Weekly, and Monthly Planners]) и др. При этом результаты многих компаний показывают, что кастомизация является не только эффективным инструментом расширения канала прямых продаж, но влияет на позитивизацию имиджа бренда и, соответственно, способствует росту продаж. Так, по мнению вице-президента Nissan Motor Co., Ltd Кента О'Хара по итогам 2022 г. персонализация обеспечит 25 % послепродажного дохода компании. Менеджеры фирмы Nike и бренда Blue Sky также отмечают значительное увеличение объема продаж с введением сервиса. По утверждению руководства Blue Sky продажи выросли на 20%.

3. Развитие цифровых платформ для совместной деятельности.

Такая платформа позволяет организации работать более слаженно и эффективно, как единое целое. Кроме того, она является основой формирования корпоративной экосистемы. При таком подходе менеджерами реализуются экосистемные решения, базирующиеся на цифровой сети взаимодействия компаний-партнеров, которые объединяются с целью совместного ценностного предложения (англ. Value Proposition) своим потребителям.

В результате применения цифровых платформ уже сейчас высококвалифицированные специалисты в таких сферах, как информационные технологии, финансы, страхование и др., могут выполнять свою работу вне офиса (и зачастую уже делают ее) без негативного влияния на производительность.

В РФ на сегодняшний момент активно работают и развиваются несколько крупных экосистем: «Яндекс» (поиск и анализ информации, мессенджер, облачное хранение, документально-табличные офисные решения и пр.), Mail.ru (почтовый и облачный сервисы), «Сбер» и ВТБ (банковское обслуживание и нефинансовые услуги); МТС (телекоммуникационное обслуживание и информационно-развлекательные сервисы), «1С» (автоматизация управления и учета на предприятиях) и др. [Пакова и др., 2021]. В рамках формируемых экосистем, помимо основных (базовых) продуктов, развиваются вспомогательные бизнес-направления, а также предоставляется широкий спектр услуг.

4. Оптимизация пользовательского опыта.

Положительный пользовательский опыт является приоритетом для менеджмента большинства предприятий, поскольку позволяет завоевать лояльность клиентов [Васильева, Иванов, 2023]. Взаимодействие каждого потребителя с фирмой и ее товаром влияет на уровень продаж компании. В электронной коммерции пользовательский опыт особенно важен, т.к. отзывы потребителей быстро распространяются среди членов целевой аудитории. Обнародованные эмоции обычных людей и особенно впечатления верифицированных пользователей серьезно воздействуют на общественное мнение, рейтинг бренда и электронной торговой площадки (ЭТП), а также на уровень доверия к ним. В РФ существуют как специализированные, так и многопрофильные ЭТП, крупнейшими из них являются: Единая электронная торговая площадка (Росэлторг), Сбербанк-АСТ, AGC Glass Russia, ZakazRF и др.

5. Формирование информационной безопасности организации.

Обеспечение конфиденциальности данных требует от менеджмента организации внедрения цифровых технологий и инструментов для защиты информации от кибератак и от несанкционированного использования сотрудниками самой компании. Современные системы охраны данных необходимы организациям всех сфер деятельности. Согласно статистическим данным в 2022 г. в мире наиболее часто кибератакам подвергалась энергетика, розничная и оптовая торговля, образование и здравоохранение. На объекты этих отраслей приходится, соответственно, 10,7; 8,7; 7,3; 5,8 % от общего количества кибернападений [Global distribution of cyber attacks in top industries 2022].

Следует указать, что использование технологии блокчейн достаточно полезно в ограждении данных от нелегального парсинга и других видов мошенничества, количество и качество которых постоянно растет. В этом вопросе наиболее значительных результатов достигли менеджеры крупных корпораций, сумевшие организовать и выстроить комплексные охраняемые системы. Например, руководство Google, IBM, Microsoft Corporation сформировали одни из наилучших систем информационной безопасности.

6. Изменение используемых процессов и технологий, путем включения автоматизированных/роботизированных элементов.

Автоматизация отдельных операций организации актуальна для гибридных и подключенных к электронной сети рабочих сред. Следует отметить, что приложения с низким кодом и без кода (открытый код, LCNC) являются одной из значительных современных технологических инноваций в бизнесе. Они критически важны для создания подключенного пользовательского опыта сотрудников.

Необходимо подчеркнуть активное осуществление роботизации промышленными предприятиями [Ivančić et al., 2019]. Например, крымские машиностроительные заводы АО «Симферопольский завод сельскохозяйственного машиностроения» и АО «Завод «Фиолент» автоматизируют отдельные операции. Всего в мире ежегодно вводят в эксплуатацию более 200000 промышленных роботов [Толкаченко, 2023]. При этом многие из трансформируемых компаний находятся на этапе перехода от автоматизированных операций к цифровым бизнес-процессам [Комиссарова, Зарочинцева, 2022].

7. Формирование новой бизнес-модели.

На сегодняшний момент такую цель ставят менеджеры отдельных организаций, как правило, уже имеющих цифровизированные бизнес-процессы и обладающих определенным опытом в проведении цифровых трансформаций. Одной из популярных является бизнес-модель «Все как услуга» (XaaS), которая предполагает обеспечение партнерского доступа к определенным видам активов компании. Таким образом может формироваться пакет услуг от одного поставщика, включая инфраструктуру, хранение данных и вычислительную мощность [Stahl et al., 2023]. Например, XaaS-модель использует Amazon Web Services (AWS) – дочерняя структура компании Amazon.com. Inc. AWS предоставляет своим клиентам вычислительные услуги и сервис облачного хранения данных [Start developing with AWS today].

Все рассмотренные выше цели цифровых трансформаций являются универсальными для коммерческих организаций. Их реализация зависит только от информационно-социально-экономических возможностей компании. Однако есть специфические цели, они обусловлены видом деятельности организации. Например, для ритейла характерно формирование омниканальной маркетинговой системы и/или развитие мультиканального взаимодействия.

Электронная розничная торговля увеличивает количество точек сбыта и способствует росту традиционного бизнеса. Развитие цифровых каналов продаж и цифровой рекламы благоприятствует продвижению товара и улучшает охват целевой аудитории. Как результат, доход предприятия растет.

В настоящее время есть идиосинкратические (единичные), но очень полезные практические результаты, полученные компаниями на основе отдельных цифровых технологий или их сочетания. Так, дополненная реальность относительно удачно использована производственно-розничной торговой группой ИКЕА в своем бесплатном приложении. С его помощью потенциальные покупатели могут точно подобрать любую мебель к своему интерьеру, спроецировав виртуальные модели различных убранств апартаментов посредством камеры смартфона и оценив результат.

Примерами применения машинного обучения могут быть продукты компаний Google и Alphabet в сфере навигации, беспилотных автомобилей, а также медицинской диагностики. На сегодня компьютер Watson фирмы IBM представляет собой одну из немногих разработок, способную использовать когнитивные технологии. В частности, компьютер отвечает на вопросы, анализирует данные и формирует отчетность, может прибегать к технологиям интернета вещей. В разработке применены элементы искусственного интеллекта для распознавания объектов [Толкаченко, 2023].

Заключение

Обобщая вышесказанное, можно констатировать, что цифровизация является одной из основных движущих сил, обеспечивающих успешное функционирование и инновационное развитие современного предприятия. На практике цели цифровых трансформаций могут быть универсальными, специфическими или идиосинкратическими. Эти цели зависят, в первую очередь, от сферы деятельности организации, а также от опыта и предпочтений руководства, поскольку именно оно принимает решение по развитию. Для успеха цифровых преобразований при выборе цели менеджерам следует учитывать наиболее значимые факторы внутренней и внешней среды.

Руководители современных организаций предпочитают внедрять и развивать такие цифровые компоненты и технологии, которые позволяют достичь существенных практических результатов в кратчайшие сроки. Наибольшую популярность в целеполагании и реализации цифровых трансформаций получили направления, основанные на современном инструментарии, который хорошо зарекомендовал себя в процессе внедрения. В зависимости от возможностей организации и от сегмента, в котором она работает, приоритетно могут решаться различные вопросы – от оптимизации сбора, хранения, обработки, передачи данных и развития цифровых платформ до кастомизации, совершенствования пользовательского опыта, обеспечения информационной безопасности и формирования новых бизнес-моделей.

Настоящее исследование может быть полезно менеджерам коммерческих организаций в выборе целей и в проведении цифровых трансформаций, поскольку содержит релевантную информацию по соответствующему накопленному опыту в бизнес-среде.

В качестве направления дальнейших изысканий автор видит анализ и обобщение результатов цифровизации компаний на региональном уровне.

Список источников

- Абдрахманова Г.И., Васильковский С.А, Вишневецкий К.О. и др. 2023 Цифровая экономика: краткий статистический сборник. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 123 с.
- Безбумажная технология РНKB: внедрение электронного документооборота. РНKB. URL: <https://www.rncb.ru/sustainability/paperless/> (дата обращения: 24.04.2023).
- Build Your Nissan. Nissan. URL: <https://www.nissanusa.com> (дата обращения: 24.04.2023).
- Daily, Weekly, and Monthly Planners. Blue Sky. URL: <https://www.bluesky.com> (дата обращения: 24.04.2023).
- Digital Transformation Market Forecast & Statistics & Global Size. MarketsandMarkets™ INC. 12 April 2023. URL: <https://www.marketsandmarkets.com> (дата обращения: 24.04.2023).

Global distribution of cyber attacks in top industries 2022. Statista. URL: <https://www.statista.com> (дата обращения: 24.04.2023).
Nike By You. Nike. URL: <https://www.nike.com> (дата обращения: 24.04.2023).
Start developing with AWS today. Amazon Web Services. URL: <https://aws.amazon.com/> (дата обращения: 24.04.2023).

Список литературы

- Алпатова Э.С. 2023. Влияние информации как важнейшего экономического ресурса на социально-трудовые отношения в рамках шестой информационной революции. Вестник Российского нового университета. Серия: Человек и общество, 1: 3–7.
- Васильева В.В., Иванов О.А. 2023. Особенности построения программы лояльности автомобильного бренда. Мир транспорта и технологических машин, 1-1 (80): 132–139.
- Веретёхин А.В. 2023. Управление цифровыми трансформациями коммерческой организации на основе интегрированного структурно-функционального подхода. Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Сер. 1: Экономика и управление, 1 (44): 85–90.
- Гусев Д.А. 2023. Организация аналитического сопровождения внедрения и совершенствования систем электронного документооборота. Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция, 1: 126–128.
- Комиссарова М.А., Зарочинцева И.Б. 2022. Управление бизнес-процессами на предприятии в условиях цифровых трансформаций. Друкеровский вестник, 6 (50): 133–143.
- Корякина Е.А., Ольховская В.С. 2023. Цифровая трансформация экономики России. Социальные и экономические системы, 2.1 (41): 235–249.
- Пакова О.Н., Коноплева Ю.А., Дедук А.И. 2021. Особенности и проблемы реализации «индустрии 4.0» в современном банковском секторе. Вестник Северо-Кавказского федерального университета, 2 (83): 98–106.
- Толкаченко О.Ю. 2023. Возможности применения технологий искусственного интеллекта российскими компаниями с целью повышения экономической эффективности их деятельности. Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Экономика и управление, 1 (61): 75–83.
- Фалько А.И., Сомина И.В., Дорошенко Ю.А. 2023. Анализ индикаторов цифровой экономики и их влияния на инновационную активность российских организаций. Экономика. Информатика, 50(1): 67–78. DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-67-78.
- Ivančić L., Vuksic V., Spremic M. 2019. Mastering the Digital Transformation Process: Business Practices and Lessons Learned. Technology Innovation Management Review, 9: 35–49. DOI 10.22215/timreview/1217.
- Konopik J., Jahn Ch., Schuster T., Hoßbach N., Pflaum A. 2022. Mastering the digital transformation through organizational capabilities: A conceptual framework. Digital Business, 2(2): 100019.
- Kraus S., Durst S., Ferreira J.J., Veiga P., Kailer N., Weinmann A. 2022. Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. International Journal of Information Management, 63: 02466.
- Stahl B., Häckel B., Leuthe D., Ritter C. 2023. Data or Business First? – Manufacturers' Transformation Toward Data-driven Business Models. Schmalenbach Journal of Business Research. DOI 10.1007/s41471-023-00154-2

References

- Alpatova E.S. 2023. The influence of information as the most important economic resource on social and labor relations in the sixth information revolution. Vestnik (Herald) of the Russian New University. Series: Man and society, 1: 3–7. (in Russian)
- Vasilyeva V.V., Ivanov O.A. 2023. Peculiarities of building automotive brand loyalty program. The world of transport and technological machines, 1-1 (80): 132–139. (in Russian)
- Veretehhin A.V. 2023. Management of digital transformations of commercial organization on the basis of integrated structural-functional approach. Vestnik (Herald) of S.Y. Witte Moscow University. Ser. 1: Economics and management, 1 (44): 85–90. (in Russian)

- Gusev D.A. 2023. Organization of analytical support for the introduction and improvement of electronic document management systems. Risk: resources, information, supply, competition, 1: 126–128. (in Russian)
- Komissarova M.A., Zarochintseva I.B. 2022. Management of business processes in the enterprise under conditions of digital transformation. Drucker's Bulletin, 6 (50): 133–143. (in Russian)
- Koryakina E.A., Olkhovskaya V.S. 2023. Digital transformation of Russian economy. Social and economic systems, 2.1 (41): 235–249. (in Russian)
- Pakova O.N., Konopleva Yu.A., Deduk A.I. 2021. Features and problems of realization of "Industry 4.0" in modern banking sector. Bulletin of North Caucasian Federal University, 2 (83): 98–106. (in Russian)
- Tolkachenko O.Yu. 2023. Possibilities of application of artificial intelligence technologies by Russian companies in order to improve the economic efficiency of their activities. Bulletin of Tver State University. Ser.: Economics and Management, 1 (61): 75–83. (in Russian)
- Fal'ko A.I., Somina I.V., Doroshenko Yu.A. 2023. Analysis of Digital Economy Indicators and their Impact on the Innovative Activity of Russian Organizations. Economics. Information technologies, 50(1): 67–78 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-67-78.
- Ivančić L., Vuksic V., Spremic M. 2019. Mastering the Digital Transformation Process: Business Practices and Lessons Learned. Technology Innovation Management Review, 9: 35–49. DOI 10.22215/timreview/1217.
- Konopik J., Jahn Ch., Schuster T., Hoßbach N., Pflaum A. 2022. Mastering the digital transformation through organizational capabilities: A conceptual framework. Digital Business, 2(2): 100019.
- Kraus S., Durst S., Ferreira J.J., Veiga P., Kailer N., Weinmann A. 2022. Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. International Journal of Information Management, 63: 02466.
- Stahl B., Häckel B., Leuthe D., Ritter C. 2023. Data or Business First? – Manufacturers' Transformation Toward Data-driven Business Models. Schmalenbach Journal of Business Research. DOI 10.1007/s41471-023-00154-2

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Веретёхин Андрей Васильевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры рекламы, связей с общественностью и издательского дела, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrey V. Veretyokhin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of the Advertising, Public Relations and Publishing, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation

УДК 334.78
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-552-568

Механизм управления блокчейн-платформой: теоретические подходы к проблеме

Ярошевич Н.Ю.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45
E-mail: iarnat@mail.ru.ru

Аннотация. Блокчейн приобретает свою популярность и широкое использование. Возможность решать множество сложных технологических, экономических и производственных задач делает данную технологию подрывной и системной, меняющей деятельность не только отдельных фирм, но и платформ, рынков. Необходимость систематизации и теоретического осмысления происходящих изменений, с одной стороны, популяризация и распространения знаний о блокчейн, с другой – делают исследования в этой области особо актуальными. Данное исследование направлено на развитие теоретических положений управления сложной цифровой блокчейн-платформой. Методологическую базу работы составили технологические, институциональные и теории управления сложными системами. Использовались методы семантического и сравнительного анализа, формализации и систематизации. Информационную базу исследования составили теоретические и эмпирические исследования российских и зарубежных авторов, посвященные описанию использования и развития блокчейн-платформ в разных областях человеческой жизни. Изучение блокчейна как объекта управления позволило выявить теории, через призму которых возможно идентифицировать особенности базовых элементов в его управлении. В рамках технологических теорий раскрывается подрывной и системный характер данной инновации, основные принципы управления. Контекст институциональных теорий позволил выявить целевые, организационные и структурные особенности. Методологические подходы, заложенные в теориях управления сложными системами, позволили раскрыть предмет, форму и цикл управления в блокчейн. Результатом исследования является разработанный механизм управления блокчейн-платформы. Его использование может стать основанием для дальнейших теоретических и прикладных исследований в области изучения особенностей управления сложными цифровыми платформами.

Ключевые слова: механизм управления, блокчейн, платформа, теоретические подходы, цифровизация, консенсус, децентрализованное управление

Для цитирования: Ярошевич Н.Ю. 2023. Механизм управления блокчейн-платформой: теоретические подходы к проблеме. Экономика. Информатика, 50(3): 552-568. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-552-568

Blockchain Platform Management Mechanism: Theoretical Approaches to the Problem

Natalya Yu. Yaroshevich

Ural State University of Economics
62/45 8 Marta/Narodnoy Voli St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
E-mail: iarnat@mail.ru.ru

Abstract. Blockchains are gaining in popularity and widespread use. The ability to solve many complex technological, economic, and production tasks makes this technology disruptive and systemic, changing the activities of not only individual firms but also platforms and markets. The need for systematization and theoretical understanding of the ongoing changes, on the one hand, popularization and dissemination of

knowledge about blockchain, on the other, make research in this area particularly relevant. This study aims to develop theoretical principles for managing a complex digital blockchain platform. The methodological basis of this work was the technological, institutional, and management theories of complex systems. Semantic and comparative analyses, formalization, and systematization were used. The information base of the study was made up of theoretical and empirical studies by Russian and foreign authors devoted to describing the use and development of blockchain platforms in various areas of human life. The study of blockchain as an object of management has made it possible to identify basic theories through the prism of which it is possible to identify the features of the basic elements in its management. The subversive and systemic nature of this innovation and the basic principles of management are revealed within the framework of technological theories. The context of institutional theories makes it possible to identify target, organizational, and structural features. Methodological approaches embedded in the theories of management of complex systems have allowed us to reveal the subject, form, and cycle of management in the blockchain. The results of this research are a developed model of the blockchain platform management mechanism. Their use can become the basis for further theoretical and applied research in the field of studying the management features of complex digital platforms.

Keywords: governance mechanism, blockchain, platform, theoretical approach, digitalization, consensus, decentralized governance

For citation: Yaroshevich N.Y. 2023. Blockchain Platform Management Mechanism: Theoretical Approaches to the Problem. Economics. Information technologies, 50(3): 552-568 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-552-568

Введение

Блокчейн – современная цифровая технология ведения деловых реестров, выполнения и документирования транзакций равноправными участниками без привлечения посредников. В массовом сознании блокчейн в основном ассоциируется с криптовалютами и их майнингом, но эта технология уже сейчас находит очень широкое использование за пределами финансового сектора. Блокчейн¹ применяется в различных сферах жизни: от государственного и корпоративного управления до науки, образования и культуры [Генкин, Михеев, 2018; Свон, 2022] в качестве инновационных сетевых платформ, реализующих крупные межнациональные промышленные проекты². А использование смарт-контрактов, токенизации активов, децентрализованных приложений, возможность сочетания с искусственным интеллектом и интернетом-вещей вызывает существенные изменения в системах управления на разных уровнях (государства и бизнеса) и в повседневной жизни каждого из нас.

Эти изменения связаны с особой алгоритмизацией процессов децентрализации транзакций (использование алгоритмов консенсуса), что существенно снижает транзакционные издержки, меняет сложившиеся институты, принципы и методы в работе любой сложной экономической системы.

В современной экономике блокчейн становится примером демонстрации ограниченности, а в ряде случаев и ущербности традиционных подходов к управлению экономическими системами. Сложность, использование иных подходов к управлению, формирование рекреационных бизнес-моделей, увеличение скорости и формы накопления ресурсов, передачи информации приводит к необходимости пересмотра ряда теоретических положений к описанию и пониманию работы блокчейн.

Развитие положений теории управления блокчейн становится актуальной исследовательской задачей, решаемой в плоскости поиска соответствий и значимых различий в существующих теориях управления цифровыми платформами.

¹ Здесь и далее блокчейн и блокчейн-платформа понимаются как синонимы в контексте децентрализованной платформы управления сложными системами (экономическими и социальными), соответствующую уровню 3.0. и 4.0.

² Наиболее известным проектом межнациональной промышленной блокчейн-платформы является <https://seele.pro/>

Таким образом, целью исследования становится развитие теоретических положений управления сложной цифровой блокчейн-платформой. Достижение поставленной цели реализуется путем решения следующих задач:

- 1) Описание блокчейн как объекта управления;
- 2) Формирование теоретической платформы для выявления особенностей и значимых параметров управления блокчейн;
- 3) Представить методологический подход к моделированию механизма управления блокчейн.

Блокчейн как объект управления

Блокчейн является прежде всего технологией. Соответственно, как и любую технологию ее можно рассматривать через призму шумпетерианского подхода к инновациям. В работе К. Кристенсена [2004] (последователя и продолжателя дела Й. Шумпетера) введено понятие «подрывная инновация» (disruptive innovation) которая описывается как инновация меняющая соотношение ценностей на рынке¹. Старые продукты становятся неконкурентоспособными, отмирают старые рынки, появляются абсолютно новые, с новыми формами и принципами функционирования конкуренции.

Блокчейн является радикальной подрывной инновацией широкого применения.

Радикальность этой технологии определяется отсутствием сколь близких аналогов, с одной стороны, а с другой – масштабностью технологических изменений, которые несет за собой ее внедрение.

Подрывной характер раскрывается в возможности развивать на основе этой технологии принципиально новые, эффективные бизнес-модели управления, регулирования, потребления, межорганизационного взаимодействия. Что приводит к формированию «голубых океанов» [Kim, Mauborgne, 2014], морей, рек, озер и т.д. – т.е. новых рынков, сегментов, ниш с отсутствием конкуренции.

Масштабность технологии определяется способностью блокчейн выступать основанием для развития сопутствующих и производных цифровых решений. Которые в дальнейшем могут сформировать многоуровневые межотраслевые экосистемы, обладающие потенциалом саморазвития. Использование блокчейна во многих отраслях экономики и целей управления характеризует его как технологию широкого применения [Pilkington, 2016; Kane, 2017; Bekar, Carlaw, Lipsey, 2018], способную существенно повысить совокупную производительность всех факторов производства.

Блокчейн является сложной системой [Dos Santos, 2017; Conte de Leon et al, 2017]. Системный характер раскрывается в присутствии всех значимых признаков: целостность, структурированность, наличие границ, наличие связей с внешней средой и эмерджентность.

Целостность блокчейна определяется включенностью участников в технологический процесс обмена транзакциями.

Структура блокчейна строится на двух уровнях управления: офлайн (ончейн, внешнее) и онлайн (офчейн, внутреннее) управление. Где офлайн управление представляет собой надплатформенную надстройку взаимодействия заинтересованных участников блокчейн, а онлайн отвечает за реализацию заложенных соглашений криптографическим инструментарием.

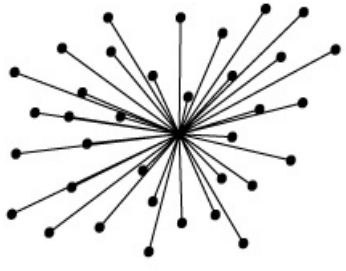
В рамках структуры описание блокчейн строится в терминах архитектуры и дизайна. Архитектура определяется количеством участников, условиями входа и их целями в блокчейн. Выделяют три типа архитектуры блокчейн платформ: частный блокчейн, публичный блокчейн, объединенный блокчейн или блокчейн консорциума. Архитектура представляет собой прообраз организационной структуры и сочетает в себе элементы офчейн и ончейн

¹ В качестве примера такой инновации можно привести, например, электронную почту, которая пришла на смену обычному письму, или банковская карта, как средство платежа, пришедшая на смену бумажным купюрам.

управления. Выбор архитектуры происходит в ончейн формате, а вот уже криптографическая реализация происходит офчейн. Дизайн и характеристики каждого структурного типа блокчейн-платформы представим в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Типы архитектуры блокчейн: сравнительный анализ
Types of blockchain architecture: comparative analysis

Параметры	Частный блокчейн	Публичный блокчейн	Блокчейн- консорциум
Дизайн			
Количество участников (разрешение на доступ к информации)	Ограничено	Неограничено	Ограничено и неограничено (возможно и то, и другое одновременно)
Контроль и управление (механизм консенсуса)	Осуществляется ограниченным количеством авторизованных пользователей – централизованно	Любым участником, зарегистрированным в сети – децентрализованно	Предварительно согласованными центрами – частично децентрализованно
Уровень асимметрии участников	Присутствует на уровне прав доступа к информации, властной асимметрии разной этимологии	Отсутствует	Может присутствовать и отсутствовать одновременно в разных узлах блокчейн

Источник: составлено автором
Source: compiled by the author

Структуризация участников, отношения, которые складываются между ними в офлайн и онлайн взаимодействиях, позволяет рассматривать блокчейн как институт и экоплатформу.

Эмерджентность блокчейна проявляется в существенной трансформации процесса создания ценности и транзакционного обмена, прежде всего за счет возможности полностью исключить участие посредников в этом процессе.

Таким образом, можно выделить три теоретические проекции управления блокчейн: как подрывную инновацию, как сложную систему и как институт. Научный поиск теорий, описывающих особенности управления блокчейном, будет находиться в обозначенных контекстах.

Теоретическая платформа развития управления блокчейном

Теоретическая платформа развития основных принципов и механизма управления блокчейн строится путем коллаборации экономических теорий, раскрытие которых происходит через призму выявленных проекций блокчейна как объекта управления (рис.1).



Рис. 1. Теоретическое поле развития управления в блокчейн
Fig. 1. Theoretical field for the development of governance in the blockchain

Источник: составлено автором
Source: compiled by the author

В первом случае основными теориями, описывающими особенности в управлении блокчейн как подрывной инновации, раскрываются в теории экономического развития Й. Шумпетера [2008], теории подрывной инновации К Кристенсена [2004] (представленных выше, в части описания блокчейн как объекта управления) и теории системных инноваций [Geels, 2004].

Не только подрывной характер блокчейн технологии, но и ее системный характер позволяет определить целевую направленность ее внедрения. Так, по мнению [Sterrenberg et al., 2013, с. 9] «системные инновации направлены на институциональную реорганизацию целых систем, а не отдельных продуктов или процессов», что и реализуется в блокчейн-платформах. В рамках теории системных инноваций можно выделить следующие значимые принципы в управлении блокчейн:

1. Множественность – реализуется как возможность привлечения большого количества участников с активной инновационной функцией совершенствования как процесса, так и конечного продукта [Bogers et al., 2010; E. von Hippel, Schreier, 2006; Faulkner, Runde, 2009];

2. Интерактивность на всех этапах инновационного процесса и сложности, определяемой поведением участников как отдельных субъектов процесса, так и наличием системных эффектов [Kline, Rosenberg, 1986; Mitchell, 2011];

3. Технологическая сложность, которая предполагает высокую рисковость, что и определяет консолидационный характер системных инноваций в рамках сложных кооперационных форм взаимодействий в рамках блокчейн-платформ, (и это скорее СПО (саморегулируемые организации) и различные производные варианты) [Dequech, 2008]. Необходимость создания и развития соответствующей институциональной среды, стимулирующей развитие блокчейн.

4. Самообучение является основанием развития блокчейн-платформ. В таких системах присутствуют все формы активного обучения: обучение через действие [Atrow, 1962], обучение через использование и через взаимодействие [Lundvall, 1988], одно или многоциклическое обучение [Argyris, Schon, 1978]. Во многом именно форма активного обучения является определяющим институциональным каркасом блокчейн-платформы.

Блокчейн-платформа представляет собой с одной стороны технологию хранения и передачи транзакций, с другой институт взаимодействий создателей, участников этой цифровой системы, что позволяет нам использовать целый пул институциональных теорий: теории транзакционных издержек, теории контрактов, теория консенсуса.

С точки зрения теории транзакционных издержек блокчейн – регулятивная и институциональная технология осуществления транзакций, без участия посредников, что позволяет радикально снизить транзакционные издержки. Таким образом, организационной особенностью блокчейн является прямое взаимодействие, при высоком уровне доверия участников, без потери в достоверности (искажения) и сохранности информации во всех сферах жизни общества (от государственного администрирования, до нотариата и медицинского обслуживания). Алгоритмы блокчейн выстраивают доверительную (все транзакции видны, подтверждены соответствующими записями в реестре и доступны всем участникам блокчейн) распределенную систему обмена. Так, по мнению Davidson et al., [2018] блокчейн можно поставить в один ряд с такими институтами, как рынок, государство, фирма. С высокой долей вероятности можно утверждать, что блокчейн может стать источником появления новых форм институтов, транзакций, контрактов, бизнес-моделей, обладающих высоким уровнем взаимного доверия.

При этом возможность сочетать технологии блокчейн с другими цифровыми технологиями (например, искусственным интеллектом, интернетом-вещей) позволяет развивать интерактивные организации рыночного типа – платформы. В работе MacDonald et al. [2018] такие платформы определены как «спонтанные организации» – альтернативный вид общепринятому типу организации, основное отличие которых будет заключаться в изменении подходов к формированию транзакционной ценности платформенного предложения – где роль и ценность посредничества будет заключаться в повышении качества и разнообразия предоставляемых услуг. Так, в банковской сфере, это будут не просто финансовые транзакции, а аналитические и контрольные функции расходов, доходов, совершаемых операций, геолокационные и персонифицированные предложения управления финансами – в общем все те услуги, что мы уже сейчас получаем в современном банкинге (который уже сложно вместить в классическую банковскую услугу и управление банком) [McMillan, 2014].

В рамках контрактной теории блокчейн – представляет собой систему отношений в форме смарт-контрактов [Иващенко, Шаститко, Шпакова, 2019]. Смарт-контракты – технологическая форма координации взаимодействия в рамках блокчейн-платформ.

Заключение и реализация смарт-контрактов имеет следующие значимые организационные особенности:

- смещение затрат в *ex ante* – период, который предполагает необходимость инвестиции в технологии и обучение персонала;
- высокая роль человеческого фактора (масштабный рост потерь при проектировании блокчейн и формировании условий смарт-контрактов) при заключении контрактов, и полное его отсутствие при их исполнении [Giancaspro, 2017];
- высокие требования к информационной безопасности связаны с необходимостью подтверждать достоверность на этапе сбора и анализа информации (особенно при сочетании блокчейн технологии и интернета-вещей (информации с датчиков, чипов). Данное условие является обязательным условием исполнения смарт-контрактов участниками.

В основе управления сложной технологической и институциональной системой блокчейн используется консенсус. Раскрывается этот термин и его содержание в рамках теории консенсуса¹.

В рамках теории, консенсус рассматривается как *состояние* (коллективное решение), к которому может приходить группа (организация) в результате дискуссии; как *стратегия*, которая используется в ходе принятия решения; как *требование*, которому должно (причем

¹ Автор позволил себе отнести данную теорию к институциональным, трактуя термин «консенсус» как форму координации взаимодействий субъектов экономической системы.

априорно) удовлетворять итоговое решение; как *общий принцип*, положенный в основу структурирования группы (организации) [Карпов, 2011]. Все это находит свое развитие в алгоритмах консенсуса¹ блокчейн.

Так, например, «состояние» определяется выполнением алгоритмом консенсуса следующих правил (принципов) [Бауэр, Смирнов, 2020]: достижения максимальной степени согласия всех взаимодействующих сторон (как офлайн, так и онлайн); взаимная заинтересованность и равноправие участников блокчейн. Выбор того или иного алгоритма² для управления отражает стратегию развития блокчейн, а его смена предполагает и смену стратегии³. Консенсус как «общий принцип» определяется характерными свойствами алгоритмов: структурные свойства, свойства блока и вознаграждения, свойства безопасности и производительности. Анализ источников [Baliga, 2017; Alqahtani, Demirbas, 2021; Xiao et al., 2020] позволил выявить следующие основные «требования» (условия) консенсуса в блокчейн: наличие единого соглашения, наличие субъектности и общей экономической мотивации, единство норм и технологических стандартов. При этом реализация этих базовых условий по-разному проявляется в разных типах дизайна (структуры) блокчейн-платформ (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Институциональные условия среды взаимодействия
формирования алгоритмов консенсуса в блокчейн
Institutional conditions of the interaction environment
for the formation of consensus algorithms in the blockchain

Условия формирования алгоритма консенсуса	Частный блокчейн	Публичный блокчейн	Блокчейн- консорциум
Наличие единого соглашения всех участников блокчейн-платформы	Соглашение инициируется централизованно, участником обладающей властью, формируемой по разным основаниям (рыночная, институциональная, инновационная), но признаваемой и принимаемой всеми остальными участниками.	Соглашение инициируется децентрализованно, доверие между участниками формируются технологическими правилами (протоколами) подтверждения действий в блокчейн. Протоколы, встроенные в блокчейн гарантируют, что передаваемые данные достоверны и актуальны.	Соглашение в разных областях блокчейн могут быть носить как централизованный, так децентрализованный характер (т.е. быть закрытыми при частном блокчейне, так и открытыми при публичном). Сочетания и дизайн будет определяться структурными особенностями промышленного рынка.

¹ Консенсус – представляет собой технологические, институциональные и управленческие нормы принимаемые всеми участниками блокчейн. Описание работы (задач, решаемых консенсусом) проводится через пример классической модели «византийских генералов». Формула модели выглядит следующим образом. Византийская армия, состоит из некоторого количества (n) легионов, каждым, из которых командует генерал, а также у армии есть главнокомандующий, которому подчиняются генералы легионов. Армия окружает город с целью нападения. Благоприятный исход войны зависит от действий генералов каждого легиона. Генералам необходимо связаться, чтобы прийти к единому соглашению о том, атаковать город или нет. Однако среди генералов могут быть предатели, в том числе главнокомандующий. Предатель может посылать приказы разного содержания разным генералам. Таким образом, задача сводится к нахождению консенсуса в случаях частичной неопределенности и вероятной недостоверности поступающей информации [Castro, Liskov, 2002]

² <https://vc.ru/crypto/590486-algoritmy-konsensusa-chto-eto-i-kakie-byvayut>

³ Переход Ethereum на Proof-of-Stake (PoS): все, что нужно знать. <https://forklog.com/cryptorium/perehod-ethereum-na-proof-of-stake-pos-vse-chto-nuzhno-znat#:~:text=%D0%97%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%BC%20Ethereum%20%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%8F%D0%B5%D1%82%20%D0%B0%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%83%D1%81%D0%B0,-%D0%A1%D0%B5%D0%B9%D1%87%D0%B0%D1%81%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D1%81%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F&text=%D0%93%D1%80%D1%8F%D0%B4%D1%83%D1%89%D0%B5%D0%B5%20%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%B4%D0%BE%D0%BB%D0%B6%D0%BD%D0%BE%20%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B8%D1%82%D1%8C%20%D1%8D%D1%82%D0%B8,%D1%83%D0%BF%D0%B0%D0%B4%D0%B5%D1%82%20%D0%BD%D0%B0%2099%2C95%25>

Окончание табл. 2
End table 2

Условия формирования алгоритма консенсуса	Частный блокчейн	Публичный блокчейн	Блокчейн- консорциум
Наличие субъектности и общей экономической мотивации всех участников	Алгоритмы консенсуса в блокчейн существуют только в условии соответствия (принимаются и разделяются всеми участниками) целей всех участников, и их экономической выгоды. Технологически реализуется консенсусный блокчейн –протокол предлагает вознаграждение за хорошее поведение (соблюдение соглашений) и наказание злоумышленников (несоблюдение правил).		
Единство норм и правил (единой культуры блокчейн)	Существующие правила и нормы признаются и разделяются всеми участниками блокчейн-платформы.		
Отказоустойчивость	Алгоритм консенсуса обеспечивает отказоустойчивость, согласованность и надежность блокчейна. То есть управляемая система будет работать неограниченное время даже в случае сбоев и угроз.		

Источник: составлено автором
Source: Compiled by the author

Таким образом, алгоритмы в блокчейн это, прежде всего, институциональные условия взаимодействия участников, реализуемые через разные технологические процессы. Разнообразие технологических решений и определяет тип алгоритма консенсуса. При этом, количество алгоритмов постоянно пополняется. Это связано, с разнообразием решаемых задач в блокчейн и технологической (прежде всего программной – на уровне использования алгоритмов ИИ) эволюцией.

Опираясь к блокчейн как сложной экономической системе, мы можем использовать следующий пул теорий: теорию экосистемного управления, теорию управления сложными системами, концепцию ценностной цепочки.

Достаточно часто блокчейн позиционируют как цифровую экоплатформу [Werner, Frost, Zarnekow, 2020; Jiang at al., 2018; Wang at al., 2019; Schmeiss, Hoelzle, Tech, 2019]. Отсутствие на сегодняшний день сложившейся теории экосистемного управления существенно осложняет ее использование применительно к блокчейн. Но ряд сформированных положений и подходов позволяет нам описать некоторые особенности управления. Так в работе Константиныди и др., [2020] приводится классификация типов экосистем, где экосистема рассматривается: 1) как совокупность фирм-партнёров; 2) как единая площадка для организации производства и продажи товаров и услуг; 3) как саморазвивающаяся организация, которая управляется как «живой организм» или «бирюзовые организации» [Тесленко, 2020], что в полной мере может быть использовано и к характеристикам блокчейн платформ.

Согласно Лалу Ф. [2016] основными принципами управления бирюзовыми организациями являются: открытые и ясные ценностные установки, децентрализация управления, максимальное сокращение центрального офиса; доверие вместо контроля; прозрачность и открытость информации; развитые механизмы обратной связи; свобода самоорганизации в принятии решений, экспериментах и новаторства.

В рамках экосистемного управления выделяются следующие подсистемы управления: объектная – предприятия, производящие товары в рамках экосистемы; средовая – предприятия-поставщики услуги; процессная – производитель разного вида работ; проектная – предприятие самая система. В рамках блокчейн платформ также присутствуют указанные подсистемы, но средовая подсистема будет состоять из предприятий, оказывающих услуги, непосредственно участвующих в создании добавленной ценности (а не выполняющих посреднические функции) [Кобылко, 2019].

В рамках экосистемного подхода к управлению появляется новая функция «дирижирование» [Кабылко, 2021, с. 140], которая трактуется как «координация разрозненных элементов экосистемы при сохранении относительной самостоятельности каждого из участников». В блокчейн данная функция находит свою реализацию в алгоритме консенсуса, при голосовании пользователей, выборе делегатов, которые будут ответственны за все аспекты проведения транзакций [Bach, Mihaljevic, Zagar, 2018; Chaudhry, Yousaf, 2018].

Наличие большого количества независимых участников, сочетание множества цифровых технологий, многоуровневость (наличие онлайн и офлайн уровней) управления, присутствие признаков сложной системы позволяет нам использовать теорию управления сложными системами [Молчанов, Молчанова, 2022; Колесников, Веселов, Попов, 2006; Виттих, 2000].

Положения теории управления сложными системами, раскрытые в работе А.П. Караваева [2003], позволяют описать предмет управления и форм управления блокчейн.

Так, описание блокчейн как сложного единого субъекта управления формируется путем:

- определения состава участников и границ платформы (элементы – кто?);
- идентификации типа архитектуры блокчейн (частный, публичный или блокчейн-консорциум);
- выбора алгоритма консенсуса в блокчейн, отражает институциональные, технологические и другие нормы, правила, технологические стандарты в совместной деятельности;
- определения мотивационных предпочтений участников блокчейн;
- информированности – информация о параметрах среды (при условии использования технологий интернета вещей);
- упорядочивания функционирования (последовательности, условий получения информации и процессов принятия решений) определяется соответствующим типом алгоритма консенсуса.

Таким образом, предмет управления блокчейн будет складываться из следующих элементов, реализуемых на офлайн и онлайн уровне. К элементам офлайн уровня относятся: определение состава, границ блокчейн и его архитектуры, выбор алгоритма консенсуса; форм и объемов интеграции цифровых технологий. К элементам онлайн уровня будет относиться: трансформация и динамика развития архитектуры, алгоритма консенсуса, возможность технологической интеграции искусственного интеллекта и интернета вещей в блокчейн платформу.

Так, согласно [Баранова, Чуйкин, 2017] блокчейн – «это система, в которой все ее участники зависят друг от друга, и именно эта зависимость позволяет системе существовать и развиваться». То есть, представляет собой коллективную форму управления. В теории управления сложными экономическими системами присутствует следующая классификация форм управления (рис. 2).

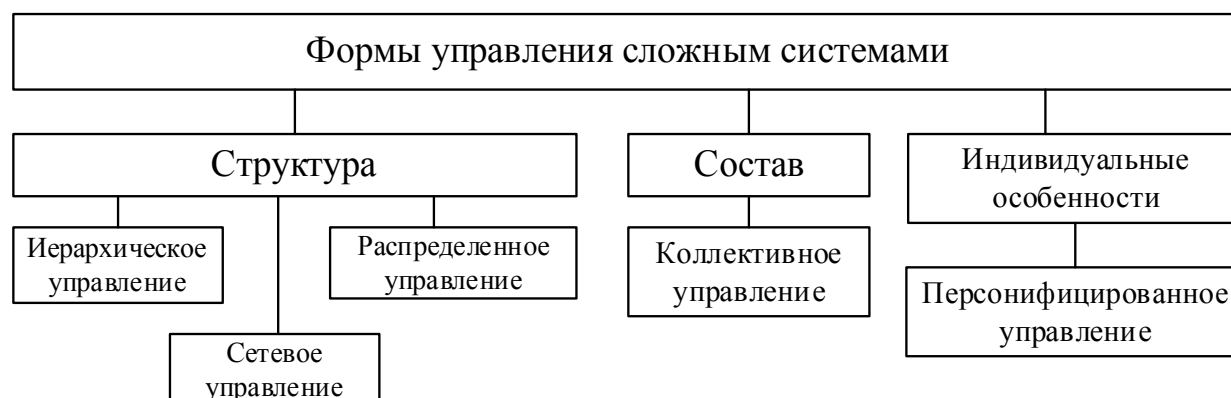


Рис. 2. Классификация форм управления сложными экономическими системами
Fig. 2. Classification of forms of management of complex economic systems

Источник: составлено автором
Source: compiled by the author

Иерархическое управление представляет собой структуру с единым управляющим центром (метацентр), распределенное управление или матричная форма предполагает присутствие нескольких центров (метацентров) принятия решений, сетевое управление является адаптивной и динамической формой, где участники реализуют множество функций, а роль центра принятия решений может передаваться в зависимости от ситуации и реализовываться разными участниками системы.

Типы дизайна блокчейна можно сопоставить с формами управления структурой следующим образом [Bevir, 2010; Chohan, 2017] (таблица 3).

Таблица 3
Table 3

Типы дизайна и формы управления структурой блокчейн
Types of design and forms of governance of the blockchain structure

Тип дизайна	Частный блокчейн	Публичный блокчейн	Блокчейн-консорциум
Форма управления	Иерархическое управление	Распределенное, сетевое управление	Распределенное, сетевое управление

Источник: составлено автором на основе [Bevir, 2010; Chohan, 2017]

Source: compiled by the author on the basis of [Bevir, 2010; Chohan, 2017]

Наиболее сложной задачей исследования является идентификация базового механизма управления в блокчейн. По мнению автора, наиболее подходящим методологическим решением этой исследовательской задачи является концепция ценностной цепочки М. Портера [2007]. Данный выбор не является случайным. Так согласно [Скиннер, 2015; Domínguez, Roseiro, 2020; Paardenkooper, 2019; Angelis, Da Silva, 2019; Morkunas, Paschen, Boon, 2019] одной из целей использования технологии блокчейн является повышение добавленной стоимости в продукте или услуги. Так, в работе [Bauer et al., 2020] схема создания добавленной стоимости укрупненно выглядит следующим образом (рис. 3).



Рис. 3. Укрупненная схема создания добавленной стоимости в блокчейн

Fig. 3. An enlarged scheme for creating added value in the blockchain

Источник: составлено автором на основе [Bauer et al., 2020]

Source: compiled by the author on the basis of [Bauer et al., 2020]

При этом, блокчейн может быть как инфраструктурной платформой управления бизнес-процессом создания стоимости [Schlecht, Schneider, Buchwald, 2021], так и технологией создания дополнительной стоимости (чаще при условии сочетания с технологиями искусственного интеллекта и интернета-вещей) [Khezri et al., 2019].

Представить схему ценностной цепочки с участием блокчейн можно следующим образом (рис. 4).



Рис. 4. Модель ценностной цепочки на основе блокчейн-платформы

Fig. 4. Model of the value chain based on the blockchain platform

Источник: составлено автором

Source: compiled by the author

В производственной цепочке вспомогательные виды деятельности реализуются на офлайн и онлайн уровне. Офлайн уровень предполагает стратегическое и проектное управление при разработке концепции и целей блокчейн платформы, определение типа архитектуры, выбор алгоритмов консенсуса, позиционирование платформы на соответствующем рынке. Онлайн управление реализуется через механизм выбранного алгоритма консенсуса (что определяет скорость, уровень надежности, полноты и роли участников платформы в принятии решений).

На уровне основных видов деятельности в производственной цепочке блокчейн выполняет инфраструктурную функцию передачи транзакций (в широком смысле этого слова, предполагая не только реализацию финансовой части обмена, но и передачу любого рода информации).

Таким образом, модель ценностной цепочки является достаточно удобным методическим инструментарием для описания процессов создания добавленной стоимости в различных формах, моделях блокчейн платформ.

Представленный анализ параметров и особенностей управления блокчейн через призму экономических теорий позволяет сформировать базовые положения механизма управления.

Моделирование основных параметров механизма управления в блокчейн

Формирование механизма управления строится в рамках методологии управления сложными экономическими системами, представленной в работе Новикова Д.А. [2011, с. 8]. Она представляет собой последовательное описание следующих базовых элементов:

1. Определение сущностных характеристик блокчейн как объекта управления.
2. Выявление принципов управления в блокчейн.
3. Формирование логической структуры управления в блокчейн, включая: предмет, цикл, результат, структура).

В качестве интеграции результатов научного исследования представим основные элементы механизма управления блокчейн платформой (рис. 5).

Представленная систематизация элементов механизма управления блокчейн-платформой может стать основанием для идентификации и развития дальнейших направлений теоретического и методического изучения управленческих особенностей этой подрывной технологии.



Рис. 5. Основные элементы механизма управления блокчейн-платформой

Fig. 5. Main elements of blockchain platform management mechanism

Источник: составлено автором

Source: compiled by the author

Заключение

Активное развитие технологии блокчейн в современной экономике приводит к необходимости осмысления, выявления особенностей и формирования теоретических, методических подходов к ее управлению. Решение этой задачи строится в рамках проекции существующих положений экономических теорий на технологические, организационные и управленческие особенности в блокчейн.

Технологические, системные и институциональные особенности развития блокчейн-платформ позволили выделить пул соответствующих теорий, используемых как теоретическое основание для сопоставления и поиска в контексте описания основных элементов механизма управления в блокчейн платформах.

Так, в ходе исследования выявлены следующие значимые особенности в управлении блокчейн-платформами:

– основными принципами управления в блокчейн являются принципы множественности, интерактивности, технологической сложности и сочетаемости, самоучаемости и взаимного доверия, децентрализации и консенсуса;

– структура управления в блокчейн представлена разными типами дизайна: частным, публичным, блокчейн-консорциумом и коллективной формой принятия стратегических и тактических решений;

– предмет управления раскрывается на двух уровнях управления: офлайн и онлайн;

– базовый механизм управления в блокчейн строится в рамках модели ценостной цепи и раскрывается путем определения технологических характеристик блокчейн, реализации его возможностей для решения задач и создания добавленной ценности. При этом блокчейн может быть и технологической инфраструктурой для обмена и платформой для создания добавленной, персонифицированной стоимости продукта или услуги.

Оперирование к представленной модели механизма управления блокчейн-платформой позволит исследователю найти новые теоретические и методические поля для исследования и популяризации этой подрывной технологии, развивать новые научные школы, образовательные продукты, совершенствовать механизмы и формы государственного регулирования и корпоративного управления, межорганизационного и межстранового взаимодействия.

Список источников

- Генкин А., Михеев А. 2018. Блокчейн: как это работает и что ждет нас завтра. М.: Альпина Паблишер. 592 с.
- Кристенсен К.М. 2004. Дилемма инноватора: Как из-за новых технологий погибают сильные компании. Изд-во: Альпина Бизнес Букс, 240 с.
- Лалу Ф. 2016. Открывая организации будущего М. Манн, Иванов и Фербер. 432 с.
- Молчанов, М. А. 2018. Теория управления экономическими системами : учебник / М.А. Молчанов, В.А. Молчанова. Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 307 с.
- Новиков Д.А. 2011. Методология управления. М.: Либроком,, 128 с.
- Портер М. 2019. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов. М.: Альпина Бизнес Букс: Компания XXI век., 453 с.
- Свон М. 2022. Блокчейн. Схема новой экономики. Олимп-Бизнес, 240 с.
- Скиннер К. 2018. ValueWeb. Как финтех-компании используют блокчейн и мобильные технологии для создания интернета ценностей М.: Манн, Иванов и Фербер, 416 с.
- Шумпетер Й.А. 2008. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия М.: Эксмо. 864 с.
- Argyris C., Schon D. 1978. Organizational Learning: A theory of action perspective, Addison-Wesley, Reading MA, 344 p.
- Kim W.C., Mauborgne R. 2014. Blue ocean strategy, expanded edition: How to create uncontested market space and make the competition irrelevant. Harvard business review Press, 256 p.
- McMillan J. 2014. The End of Banking: Money, Credit, and the Digital Revolution. Zero/One Economics GmbH, 248 p.

Список литературы

- Баранова О.А., Чуйкин К.А. 2017. Принцип технологии blockchain, и ее влияние на социально-экономическую сферу. Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2(13): 329-331.
- Бауэр В.П., Смирнов В.В. 2020. Институциональные особенности разработки конкурентоспособной криптовалюты. Финансы: теория и практика, 24 (5): 84-99.
- Виттих В.А. 2000. Эволюционное управление сложными системами. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2(1): 53-65.
- Иващенко Н.П., Шаститко А.Е., Шпакова А.А. 2019. Смарт-контракты в свете новой институциональной экономической теории. Журнал институциональных исследований, 11(3): 64-83.
- Кобылко А.А. 2021. Функции управления в бизнес-экосистемах. Журнал «ЭКО», 8 (566): 127-150.
- Караваев А.П. 2003. Модели и методы управления составом активных систем. М.: ИПУ РАН, 151 с.

- Карпов А.В. 2011. Основные типы консенсуса в процессах принятия групповых решений. Вестник Ярославского государственного университета им. ПГ Демидова. Серия гуманитарные науки, 3: 78-84.
- Кобылко А.А. 2019. Особенности управления экосистемой на примере инфокоммуникационных организаций. Экономика и качество системы связь, 4: 3–10.
- Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н. 2006. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза. М.: КомКнига, 240 с.
- Константиныди Х.А., Грибок Н.Н., Воробьева М.А., Артюшкова А.Ю., Зинченко Н. В. 2020. Компания как экосистема: актуальные инструменты управления. Краснодар: ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ - филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 146 с.
- Тесленко И.Б. 2020. Бирюзовая модель организации: особенности подхода к управлению персоналом. Modern science, (11-3): 211-215.
- Alqahtani S., Demirbas M. 2021. Bottlenecks in blockchain consensus protocols. In 2021 IEEE International Conference on Omni-Layer Intelligent Systems (COINS): 1-8.
- Angelis J., Da Silva E. R. 2019. Blockchain adoption: A value driver perspective. Business Horizons, 62(3): 307-314.
- Arrow K. 1962. The economic implications of learning by doing. Review of Economic Studies, 29: 155-173.
- Bach L. M., Mihaljevic B., Zagar M. 2018. Comparative analysis of blockchain consensus algorithms. 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO): 1545-1550.
- Baliga A. 2017. Understanding blockchain consensus models. Persistent, 4(1): 14.
- Bauer I., Zavolokina L., Leisibach F., Schwabe G. 2020. Value creation from a decentralized car ledger. Frontiers in Blockchain, 2: 30.
- Bekar C.T., Carlaw K.I., Lipsey R. 2018. General purpose technologies in theory, application and controversy: a review. Journal of Evolutionary Economics, 28: 1005-1033.
- Bevir M. 2011. Democratic governance. British Journal of Sociology, 62(3): 551-552.
- Bogers M., Afuah A., Bastian B. 2010. Users as innovators: A review, critique, and future research directions. Journal of Management, 36(4): 857–875.
- Castro M., Liskov B. 2002. Practical Byzantine fault tolerance and proactive recovery. ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), 20(4): 398-461.
- Chaudhry N., Yousaf M.M. 2018. Consensus algorithms in blockchain: Comparative analysis, challenges and opportunities. In 2018 12th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST): 54-63.
- Chohan U. W. 2017. The Decentralized Autonomous Organization and Governance Issues. SSRN Electronic Journal. Available online at: <https://ssrn.com/abstract=3082055> (accessed March 15, 2023).
- Conte de Leon D., Stalick A.Q., Jillepalli A. A., Haney M.A., Sheldon F.T. 2017. Blockchain: properties and misconceptions. Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, 11(3): 286-300.
- Davidson S., De Filippi P., Potts J. 2018. Blockchains and the economic institutions of capitalism. Journal of Institutional Economics, 14 (4): 639-658.
- Dequech D. 2008. Varieties of uncertainty: a survey of the economic literature. Anais do XXXVI Encontro Nacional de Economia. 200807211223070
- Domínguez J.P., Roseiro P. 2020. Blockchain: a brief review of agri-food supply chain solutions and opportunities. ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, 9(4): 95-106.
- Dos Santos R.P. 2017. On the philosophy of Bitcoin/Blockchain technology: is it a chaotic, complex system? Metaphilosophy, 48 (5): 620-633.
- Faulkner P., Runde J. 2009. On the identity of technological objects and user innovations in function. Academic Management Review, 34(3): 442–462.
- Franke N., Von Hippel, E., Schreier M. 2006. Finding commercially attractive user innovations: A test of lead-user theory. Journal of product innovation management, 23(4): 301-315.
- Giancaspro M. 2017. Is a 'smart contract' really a smart idea? Insights from a legal perspective. Computer Law & Security Review, 33(6): 825–835.
- Jiang S., Cao J., Wu H., Yang Y., Ma M., He J. 2018. Blochie: a blockchain-based platform for healthcare information exchange. In 2018 IEEE International Conference on Smart Computing (SmartComp): 49-56.

- Kane E. 2017. Is blockchain a general purpose technology? Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2932585>
- Khezzr S, Moniruzzaman M, Yassine A, Benlamri R. 2019. Blockchain Technology in Healthcare: A Comprehensive Review and Directions for Future Research. *Applied Sciences*, 9(9): 1736. <https://doi.org/10.3390/app9091736>
- Kline S.J., Rosenberg N. 1986. An Overview of Innovation, in R. Landau and N. Rosenberg (eds) *The Positive Sum Strategy. Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academies Press, Washington DC, 275–305.
- Lage O. 2019. Blockchain: from industry 4.0 to the machine economy. In *Blockchain and Distributed Ledger Technology (DLT)*. DOI: 10.5772/intechopen.88694
- Lundvall B-A. 1988. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation, in Dosi., G. et al., (eds), *Technical Change and Economic Theory*, London, Pinter, 349-369.
- Mitchell, M. 2011. Complexity: A Guided Tour. *Physics Today*, 63(2): 47.
- Morkunas V. J., Paschen, J., Boon, E. 2019. How blockchain technologies impact your business model. *Business Horizons*, 62(3): 295-306.
- Paardenkooper K. 2019. Creating value for small and medium enterprises with the logistic applications of blockchain. In *International conference on digital technologies in logistics and infrastructure (ICDTLI 2019)*: 269-274.
- Pilkington M. 2016. Blockchain technology: principles and applications. *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing: 225-253.
- Schlecht L., Schneider S., Buchwald, A. 2021. The prospective value creation potential of Blockchain in business models: A delphi study. *Technological Forecasting and Social Change*, 166: 120601.
- Schmeiss J., Hoelzle K., Tech R. P. 2019. Designing governance mechanisms in platform ecosystems: Addressing the paradox of openness through blockchain technology. *California Management Review*, 62(1): 121-143.
- Sterrenberg L., Andringa J., Loorbach D., Raven R., Wieczorek A. 2013. Low-carbon transition through system innovation: Theoretical notions and applications. *Industrial Engineering and Innovation Sciences*, 67 p.
- Wang Z., Yang L., Wang Q., Liu D., Xu Z., Liu S. 2019. ArtChain: Blockchain-enabled platform for art marketplace. In *2019 IEEE international conference on blockchain (blockchain)*: 447-454.
- Werner J., Frost S., Zarnekow R. 2020. Towards a taxonomy for governance mechanisms of blockchain-based platforms. In *Proceedings of the 28th European Conference on Information Systems (ECIS), An Online AIS Conference, June 15-17, 2020*. https://aisel.aisnet.org/ecis2020_rp/26
- Xiao Y., Zhang N., Lou W., Hou Y. T. 2020. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(2): 1432-1465.

References:

- Baranova O.A., Chuikin K.A. 2017. The principle of blockchain technology, and its impact on the socio-economic sphere. *Actual problems of aviation and cosmonautics*, 2(13): 329-331. (in Russian)
- Bauer V.P., Smirnov V.V. 2020. Institutional features of the development of a competitive cryptocurrency. *Finance: theory and practice*, 24 (5): 84-99. (in Russian)
- Vittikh V. A. 2000. Evolutionary management of complex systems. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2(1): 53-65. (in Russian)
- Ivashchenko N.P., Shastitko A. E., Shpakova A. A. 2019. Smart contracts in the light of a new institutional economic theory. *Journal of Institutional Studies*, 11(3): 64-83. (in Russian)
- Kobylko A.A. 2021. Management functions in business ecosystems. *Journal "ECO"*, 8 (566): 127-150. (in Russian)
- Karavaev A. P. 2003. Models and methods for controlling the composition of active systems. M.: IPU RAS, 151 p. (in Russian)
- Karpov A.V. 2011. The main types of consensus in group decision-making processes. *Bulletin of Yaroslavl State University named after PG Demidov. Humanities Series*, 3: 78-84. (in Russian)
- Kobylko A.A. 2019. Ecosystem management features on the example of infocommunication organizations. *Economics and quality of the communication system*, 4: 3-10. (in Russian)
- Kolesnikov A. A., Veselov G. E., Popov A. N. 2006. Synergetic methods of control of complex systems: theory of system synthesis. Moscow: KomKniga, 240 p. (in Russian)

- Konstantinidi H.A., Mushroom N.N., Vorobyeva M.A., Artyushkova A. Yu., Zinchenko N.V. 2020. A company as an ecosystem: current management tools. Krasnodar: Federal State Budgetary Institution "Russian Energy Agency" of the Ministry of Energy of Russia Krasnodar Central Research Institute - branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, 146 p. (in Russian)
- Teslenko I.B. 2020. Turquoise model of the organization: features of the approach to personnel management. *Modern science*, (11-3): 211-215. (in Russian)
- Alqahtani S., Demirbas M. 2021. Bottlenecks in blockchain consensus protocols. In 2021 IEEE International Conference on Omni-Layer Intelligent Systems (COINS): 1-8.
- Angelis J., Da Silva E. R. 2019. Blockchain adoption: A value driver perspective. *Business Horizons*, 62(3): 307-314.
- Arrow K. 1962. The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies*, 29: 155-173.
- Bach L. M., Mihaljevic B., Zagar M. 2018. Comparative analysis of blockchain consensus algorithms. 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO): 1545-1550.
- Baliga A. 2017. Understanding blockchain consensus models. *Persistent*, 4(1): 14.
- Bauer I., Zavolokina L., Leisibach F., Schwabe G. 2020. Value creation from a decentralized car ledger. *Frontiers in Blockchain*, 2: 30.
- Bekar C.T., Carlaw K.I., Lipsey R. 2018. General purpose technologies in theory, application and controversy: a review. *Journal of Evolutionary Economics*, 28: 1005-1033.
- Bevir M. 2011. Democratic governance. *British Journal of Sociology*, 62(3): 551-552.
- Bogers M., Afuah A., Bastian B. 2010. Users as innovators: A review, critique, and future research directions. *Journal of Management*, 36(4): 857–875.
- Castro M., Liskov B. 2002. Practical Byzantine fault tolerance and proactive recovery. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, 20(4): 398-461.
- Chaudhry N., Yousaf M. M. 2018. Consensus algorithms in blockchain: Comparative analysis, challenges and opportunities. In 2018 12th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST): 54-63).
- Chohan U.W. 2017. The Decentralized Autonomous Organization and Governance Issues. *SSRN Electronic Journal*. Available online at: <https://ssrn.com/abstract=3082055> (accessed March 15, 2023).
- Conte de Leon D., Stalick A. Q., Jillepalli A. A., Haney M. A., Sheldon F. T. 2017. Blockchain: properties and misconceptions. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 11(3): 286-300.
- Davidson S., De Filippi P., Potts J. 2018. Blockchains and the economic institutions of capitalism. *Journal of Institutional Economics*, 14 (4): 639-658.
- Dequech D. 2008. Varieties of uncertainty: a survey of the economic literature. *Anais do XXXVI Encontro Nacional de Economia*. 200807211223070
- Domínguez J. P., Roseiro P. 2020. Blockchain: a brief review of agri-food supply chain solutions and opportunities. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 9(4): 95-106.
- Dos Santos R. P. 2017. On the philosophy of Bitcoin/Blockchain technology: is it a chaotic, complex system? *Metaphilosophy*, 48 (5): 620-633.
- Faulkner P., Runde J. 2009. On the identity of technological objects and user innovations in function. *Academic Management Review*, 34(3): 442–462.
- Franke N., Von Hippel, E., Schreier M. 2006. Finding commercially attractive user innovations: A test of lead-user theory. *Journal of product innovation management*, 23(4): 301-315.
- Giancaspro M. 2017. Is a 'smart contract' really a smart idea? Insights from a legal perspective. *Computer Law & Security Review*, 33(6): 825–835.
- Jiang S., Cao J., Wu H., Yang Y., Ma M., He J. 2018. Blochie: a blockchain-based platform for healthcare information exchange. In 2018 IEEE international conference on smart computing (smartcomp): 49-56.
- Kane E. 2017. Is blockchain a general purpose technology? Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2932585>
- Khezzr S, Moniruzzaman M, Yassine A, Benlamri R. 2019. Blockchain Technology in Healthcare: A Comprehensive Review and Directions for Future Research. *Applied Sciences*, 9(9): 1736. <https://doi.org/10.3390/app9091736>



- Kline S.J., Rosenberg N. 1986. An Overview of Innovation, in R. Landau and N. Rosenberg (eds) *The Positive Sum Strategy. Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academies Press, Washington DC, 275–305.
- Lage O. 2019. Blockchain: from industry 4.0 to the machine economy. In *Blockchain and Distributed Ledger Technology (DLT)*. DOI: 10.5772/intechopen.88694
- Lundvall B-A. 1988. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation, in Dosi., G. et al., (eds), *Technical Change and Economic Theory*, London, Pinter, 349-369.
- Mitchell, M. 2011. Complexity: A Guided Tour. *Physics Today*, 63(2): 47.
- Morkunas V. J., Paschen, J., Boon, E. 2019. How blockchain technologies impact your business model. *Business Horizons*, 62(3): 295-306.
- Paardenkooper K. 2019. Creating value for small and medium enterprises with the logistic applications of blockchain. In *International conference on digital technologies in logistics and infrastructure (ICDTLI 2019)*: 269-274.
- Pilkington M. 2016. Blockchain technology: principles and applications. *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing: 225-253.
- Schlecht L., Schneider S., Buchwald, A. 2021. The prospective value creation potential of Blockchain in business models: A delphi study. *Technological Forecasting and Social Change*, 166: 120601.
- Schmeiss J., Hoelzle K., Tech R. P. 2019. Designing governance mechanisms in platform ecosystems: Addressing the paradox of openness through blockchain technology. *California Management Review*, 62(1): 121-143.
- Sterrenberg L., Andringa J., Loorbach D., Raven R., Wieczorek A. 2013. Low-carbon transition through system innovation: Theoretical notions and applications. *Industrial Engineering and Innovation Sciences*, 67 p.
- Wang Z., Yang L., Wang Q., Liu D., Xu Z., Liu S. 2019. ArtChain: Blockchain-enabled platform for art marketplace. In *2019 IEEE international conference on blockchain (blockchain)*: 447-454.
- Werner J., Frost S., Zarnekow R. 2020. Towards a taxonomy for governance mechanisms of blockchain-based platforms. In *Proceedings of the 28th European Conference on Information Systems (ECIS), An Online AIS Conference, June 15-17, 2020*. https://aisel.aisnet.org/ecis2020_rp/26
- Xiao Y., Zhang N., Lou W., Hou Y. T. 2020. A survey of distributed consensus protocols for blockchain networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(2): 1432-1465.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ярошевич Наталья Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики предприятий, Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Natalya Yu. Yaroshevich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Enterprises Economics Dept, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russian Federation

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 331.1

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-569-585

Концепция, методология и инструменты трансформации целеполагания и мотивации персонала IT-компаний

Митенков А.В.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Россия, 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1

E-mail: amit-77@mail.ru

Аннотация. В условиях экспоненциального роста востребованности сотрудников отрасли информационных технологий и цифровизации во всех сферах бизнеса, а также формирования особой системы мотивации специалистов области информационных технологий (руководителей ИТ проектов, разработчиков, архитекторов, специалистов служб поддержки и эксплуатации), актуальной становится проблема трансформации системы мотивации этих сотрудников. Представленное исследование носит эмпирический характер, где показаны результаты теоретического анализа по выделенной проблеме, а также дано описание разработанной и реализованной на базе экзотивной компании «ОМК-Информационные технологии» методологии программы целеполагания, развития и мотивации руководителей и специалистов – условное именуемой «ВЕКТОР 2020». В рамках работы также раскрыты концепция, методология и инструменты трансформации системы мотивации на базе апробированной программы. Работа обладает научной новизной, заключающейся в прозрачной системе мотивации сотрудников, понятной системе целеполагания, современном и актуальном инструментарии, а также соответствии теоретическим концепциям и подходам, отражающим основы мотивации сотрудников IT-компаний. Результатом апробации разработанной методики и инструментов стало создание нового механизма, стимулирующего работников к достижению более высоких и, главное, устойчивых показателей деятельности. Созданная методика может быть внедрена в работу других IT-компаний в качестве инструмента трансформации мотивации и процесса управления идеями, а, следовательно, и производительности, и вовлеченности персонала в долгосрочной перспективе в рост бизнес-результатов.

Ключевые слова: организационное развитие, управление по результатам, целеполагание, мотивация, цифровая трансформация, управление изменениями

Для цитирования: Митенков А.В. 2023 Концепция, методология и инструменты трансформации целеполагания и мотивации персонала IT-компаний. Экономика. Информатика, 50(3): 569-585. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-569-585

Concept, Methodology and Tools for Transformation Goal-Setting and Motivation of IT-Company Personnel

Alexey V. Mitenkov

National University of Science and Technology «MISIS»

4-1 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation

E-mail: amit-77@mail.ru

Abstract. In the context of the exponential growth in demand for employees in the information technology industry and digitalization in all areas of business, as well as the formation of a special motivation system

for information technology specialists (IT project managers, developers, architects, support and operation specialists), the problem of transforming the motivation system for these employees is becoming urgent. The presented study is of an empirical nature, which shows the results of a theoretical analysis on the selected problem, as well as a description of the methodology of the goal-setting, development and motivation program for managers and specialists, developed and implemented on the basis of the captive company OMK-Information Technologies - conditionally referred to as "VECTOR 2020". As part of the work, the concept, methodology and tools for transforming the motivation system based on a proven program are also disclosed. The result of approbation of the developed methodology and tools was the creation of a new mechanism that encourages employees to achieve higher and, most importantly, sustainable performance indicators. The created methodology can be implemented in the work of other IT companies as a tool for transforming the motivation and idea management process, and, consequently, productivity and staff engagement in the long term into the growth of business results.

Keywords: organizational development, results-based management, goal setting, motivation, digital transformation, change management

For citation: Mitenkov A.V. 2023. Concept, Methodology and Tools for Transformation Goal-Setting and Motivation of IT-Company Personnel. Economics. Information technologies, 50(3): 569-585 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-569-585

Введение

Для любой организации одним из значимых элементов функционирования является формирование успешного и долгосрочного взаимодействия с сотрудниками, так как этот фактор позволяет достичь целей организации. Соответственно, совершенствование и определение состояния человеческих ресурсов организации является важной задачей, реализация которой позволяет выстраивать отлаженную систему мотивации сотрудников и обеспечивать конкурентное преимущество компании на рынке.

В современных реалиях сформировавшийся технологический уклад всех сфер жизни общества повлиял на возрастание потребности в специалистах и профессионалах в сфере информационных технологий (ИТ). Сейчас ИТ-специалисты востребованы во всех бизнес- и государственных структурах. По данным Росстата, на сегодняшний день России дополнительно требуется больше 1 млн ИТ-специалистов, что составляет 1,8 % емкости рынка трудовых ресурсов. Есть эксперты, которые считают, что кадровый дефицит в этой сфере к концу 2023 г. может достичь 1,5 млн чел. и увеличиться до 2 млн чел. к 2027 г. Таким образом, можно сделать вывод, что проблема мотивации и управления ИТ-специалистами является актуальной и значимой в современном дискурсе.

В исследовании С.П. Грибановой отмечено, что при условии того, что мотивационная система любого сегмента должна быть направлена на привлечение и удержание специалистов путем удовлетворения их потребностей, сотрудники ИТ-компаний, ввиду их навыков, специфики деятельности и креативного мышления, имеют специфические потребности и «рычаги» мотивации, раскрытие и изучение которых является необходимым условием при построении мотивационной концепции стимуляции их деятельности. Учет этой специфики предопределяет важное правило – эффективная мотивационная концепция должна гармонизировать с ценностями и мотивами представителей ИТ-профессий [Грибанова, 2018].

Для понимания специфики мотивации ИТ-сотрудников рассмотрим теоретические аспекты данной проблемы с опорой на международный опыт и научно-исследовательские данные.

Так, Организацией экономического сотрудничества и развития в «Руководстве Канберры» было прописано, что ИТ-специалисты выступают в качестве соединительного звена между технологическим прогрессом общества и его экономическим и социальным развитием. Таким образом, в конце прошлого века уже было определено, что ИТ-сфера формирует будущее экономики и оказывает на нее непосредственное влияние [OECD AND EUROSTAT, 2019].

Это также обуславливает фактор возрастания требований, которые предъявляются к сотрудникам ИТ-сферы, так как они вынуждены работать в условиях многозадачности, высокого уровня ответственности и динамичности.

В исследовании Р. Сванборга были выделены компетенции, которым в современных реалиях должны соответствовать ИТ-специалисты:

- специалисты данной сферы должны ориентироваться в текущем состоянии своей отрасли, понимать ее специфику и перспективы;
- специалисты ИТ-сферы должны уметь работать в условиях ограниченных технологий;
- сотрудники ИТ-компаний должны стремиться к раскрытию своего креативного и творческого потенциала, самосовершенствоваться, чтобы идти «в ногу со временем»;
- ИТ-специалисты должны обладать профессиональными компетенциями своей отрасли, стремиться к лидерству и иметь навыки командной работы [Swanborg, 2011].

Наряду со всеми обязанностями и требованиями, исследователями отмечается, что сотрудники ИТ-сферы также нуждаются в эффективной, продуманной и актуальной для их деятельности и личностных особенностей системе мотивации.

Теории мотивации сотрудников ИТ-сферы

Ставя задачу определения теоретического подхода к созданию Программы мотивации, включая концепцию, методологию и инструментарий сотрудников ИТ-сферы, рассмотрим мотивационные теории, которые подходят для адаптации к ее решению. Определим понятийный аппарат.

Так, под мотивацией в общем виде понимают психологический процесс, который направляет и активизирует деятельность сотрудника. Уровень мотивации и, как следствие, вовлеченности сотрудника в деятельность организации зависит от множества факторов.

Перейдем к исследованиям. В работе Л. Воллмейера, К. Джендерека и Т. Тозмана отмечены три основных фундаментальных источника, формирующих высокий уровень мотивации – это возможность достижения целей, возможность получения признания за свою деятельность и постановка сложных, бросающих вызов профессионализму задач. Этот подход по-своему ценен и информативен, но не учитывает такие аспекты, как материальные и нематериальные ценности и потребности сотрудников [Vollmeyer, Jenderek, Tozman, 2013].

Рассмотрим связь мотивации и потребностей в рамках теории мотиваций. Так, фундаментальным является знание о том, что человек, у которого наблюдается наличие в недостаточном объеме какого-либо блага, мотивируется на улучшение своего состояния и реализации незакрытой потребности. Такая концепция была наиболее ярко отражена в иерархии потребностей Маслоу, где показано, что потребности человека разделены на уровни приоритетности, и по «закрытию» нижнего уровня у него появляется мотивация к реализации следующего уровня потребностей [Maslow, 1954].

Отдельные авторы, с опорой на теорию А. Маслоу, разбивают основные потребности человека на три группы: экзистенциальные потребности, социальные потребности и потребности роста. Вне иерархий также выделяются: потребность в достижении целей, потребность в социализации и потребность в лидерстве или власти. При этом мотивацией человека «руководит», как правило, приоритетно одна из перечисленных потребностей [McClelland, 1987].

Потребности, в зависимости от их вида и количества, также формируют определенный вид мотивации. Мотивация может быть внутренняя или внешняя. Так, в работе О.Н. Кириловой выделено три вида внутренней мотивации:

- автономия как возможность действовать в соответствии с личными установками, принципами и взглядами;
- принадлежность, выражающаяся в потребности получить признание от окружения;
- компетенция, проявляющаяся в потребности видеть конкретные результаты своей деятельности [Кирилова, 2019].

При исследовании связи мотивации и потребностей сотрудников определенных сфер, в научном сообществе рассматриваются преимущественно отдельно взятые потребности и их влияние на мотивацию работников. В контексте вышеуказанных видов внутренней мотивации важно отметить, что в рамках разработки и апробации мотивационной системы для IT-сотрудников целесообразно выделить стимулирование такого типа мотивации как компетенция, так как сформированная потребность в оценке результатов своей деятельности у сотрудника будет способствовать продуктивности и повышению эффективности деятельности организации в целом. По мнению М. Уитли, у сотрудников IT-сферы, относящихся к сегменту с высокой долей ответственности и креативными задачами, ярко выражена потребность в вовлечении в процесс принятия решений [Wheatley, 2005]. Так, Х. Бреннингер, выделяет связь между уровнем мотивации сотрудников IT-компаний и их удовлетворенностью стилем управления руководящего состава компании [Brenninger, 2015].

Важно рассмотреть также поведенческую теорию мотивации. Так, психологом К. Левиным отмечено, что на поведение человека оказывают влияние индивидуальные характеристики и внешние условия. Именно поэтому при разработке системы мотивации важно учитывать внешние и внутренние факторы мотивации для определения потребностей, мотиваторов и поощрений. Внутренние поощрения носят субъективный характер и зависят от личностных взглядов и идеалов сотрудника. Внешние поощрения носят более обобщенный характер и могут быть представлены в виде вознаграждения: премия, уважение, похвала и т.д. [Lewin, 1946].

Наряду с внешними и внутренними поощрениями, Дж. Барбуто и Р. Шоль выделяют инструментальные поощрения, которые связывают все виды поощрений. Инструментальная мотивация формируется тогда, когда сотрудник реализует и совершенствует свою деятельность; и за это получает «двойное» поощрение: достижение цели (самоуважение и внутренняя радость как следствие) в качестве внутренней мотивации и премия или продвижение по службе за закрытие цели – как внешняя мотивация, или стимул. Для достижения инструментальной мотивации важно, чтобы цели компании не противоречили целям и принципам сотрудника, а также подразумевали не только механическую реализацию задач, но и способствовали его росту и развитию [Barbuto, Scholl, 1998].

Исходя из этого, важно рассмотреть целеполагающую теорию мотивации. Так, И.В. Мишурова отмечает, что в основе целеполагающей теории мотивации лежит возможность достижения измеримых и понятных целей. Теория не является универсальной, так как она ориентирована только на закрытие потребности в достижении целей и не учитывает тех сотрудников, которые стремятся к саморазвитию и получению внутреннего удовольствия от процесса работы, а не только от его завершения [Мишурова, 2022].

Представляет интерес также и мотивационная теория В. Врума. Согласно данной теории, для сотрудника очень важно проводить сравнение «затраченные усилия – полученный результат». Другими словами, для высокого уровня мотивации сотрудника имеет большое значение то, чтобы поощрение от реализации цели было соразмерно усилиям, затраченным на достижение этой цели [Vroom, 1964]. Основным выводом, который целесообразно сделать при дополнении и расширении этой теории, является то, что мотивационные стимулы должны быть положительными и деятельность сотрудника должна привести его к поощрениям, а в дальнейшем – к ощутимым изменениям в жизни [Иличкина, 2022].

Мотивационные стимулы

Стимул представляет собой «рычаг» влияния и воздействия на поведение и работу сотрудника. Согласно исследованиям Дж. Бухмана, эффективный стимул должен формировать инициативу. Стимулы бывают двух видов: материальные и нематериальные. При этом важно учитывать тот факт, что стимулы IT-специалиста и педагога, например, будут кардинально различаться. При этом, с целью создания эффективной системы мотивации IT-специалиста важно определить «портрет» работника IT-сферы, его внутренние и внешние потребности.

Ввиду специфики деятельности ИТ-сферы, к особенностям личности сотрудников таких компаний можно отнести креативное творческое мышление, способность быстрой адаптации к изменениям, стремление к развитию, возможности быть свободным (в принятии решений, в определении рабочего графика), гибкий и подвижный склад ума и т.д.

С опорой на труды Дж. Бухмана схема, отражающая основные общие стимулы, выглядит следующим образом (рис. 1) [Buchan, Ball, O'may, 2000].



Рис. 1. Материальные и нематериальные стимулы

Fig. 1. Tangible and non-tangible incentives

Таким образом, следует учесть, что для достижения лучшего результата эффективная система мотивации должна объединять в себе материальные и нематериальные стимулы воздействия на сотрудников, а также учитывать ряд индивидуальных особенностей когорты специалистов ИТ-индустрии, часто именуемых «айтишники».

Особенности мотивации сотрудников ИТ-компаний

С каждым годом интерес к проблеме мотивации сотрудников ИТ-компаний возрастает. Так, например, в исследовании Дж. Кугер и Ф. Заваки отмечено, что для ИТ-специалистов характерна выраженная потребность в карьерном росте при параллельном снижении по-

требности в социальном взаимодействии [Couger, Zawacki, 1980]. В более современном исследовании этих авторов мотивационные стимулы сотрудников ИТ-компаний распределены следующим образом: на первом месте находятся перспектива повышения и удовлетворение работой, затем идет возможность обучения и карьерного роста, затем – социальный пакет, условия работы и стабильность. В этой работе факторы, оказывающие влияние на мотивацию ИТ-сотрудников, были разделены на факторы мотивации и гигиены, и был сделан вывод о том, что для специалистов ИТ-сферы характерна опора на факторы-мотиваторы [Burn, Couger, Ma, 1992].

Согласно исследованию Д. Макнайта, удовлетворенность и вовлеченность сотрудников ИТ-компаний зависит от взаимосвязи между характеристиками работы и характеристиками рабочего места. При этом удовлетворенность автором рассматривается как компонент текучести кадров и говорит о том, что этот фактор играет роль при отрицательной связи, то есть он становится решающим при принятии решения о смене работы [Mcknight, Phillips, Hardgrave, 2009].

Важное исследование представили Дж. Коваль и Н. Розтоки. Авторами был проведен анализ удовлетворенности сотрудников ИТ-компаний разных стран. По его результатам был сделан вывод о том, что ИТ-специалисты, работающие в странах с переходной экономикой, чувствуют неудовлетворенность при оценке оплаты труда и ее пропорциональности их навыкам и профессионализму. Соответственно, для сотрудника ИТ-сферы важны материальные стимулы в их связи с нематериальными [Kowal, Roztock, 2015].

Рассмотрим методы вознаграждения сотрудников, представленные президентом Дженерал Электрик (General Electric) Д. Уэлчем, которым были выделены три категории сотрудников:

- лидеры, которые разделяют ценности компании, горят идеей ее развития и мотивируют своим примером остальных сотрудников;
- стабильные сотрудники, которые являются компетентными профессионалами, но ориентируются на сдачу дежурных задач и реализацию поставленных целей, без мотивации к чему-то большему;
- аутсайдеры, которые не разделяют ценности компании и их деятельность не приносит положительных результатов [Революция в менеджменте...].

Д. Уэлч обозначил эти группы и дал установку топ-менеджерам на то, чтобы соотношение сотрудников по этой схеме составляло «20–70–10» %, соответственно. По его мнению, именно эта пропорция идеально подходит для развития и мотивации работников компании. Мотивационная система также была разделена в рамках выделенных групп:

- лидеров мотивировали ростом зарплаты, приобретением акций, карьерным продвижением;
- стабильных сотрудников мотивировали повышением заработной платы без карьерного роста, премированием;
- аутсайдеров увольняли.

Эта система позволила Д. Уэлчу избавиться от непродуктивных сотрудников, и привлечь на их место заинтересованных и трудоспособных работников.

Представляет интерес работа Б. Карша и Ц. Темплина. Авторами по результатам эмпирических исследований было определено, что и у отдельных сотрудников ИТ-компаний отличается отношение к работе и, соответственно, ценности и потребности. По их мнению, и среди специалистов ИТ-сферы есть разграничение на основе поколенческого фактора. Однако возраст при этом не так существенно влияет на потребности сотрудников, в отличие от специфики их вида деятельности [Karsh, Templin, 2013]. Проанализированные и сформированные в работе характеристики ИТ-специалистов были разделены на три группы и представлены в схематичном виде на рис. 2.

Активы	•Целеустремленность •Позитивный настрой •Умение общаться с новыми технологиями •Умение взаимодействовать и сотрудничать •Мультикультурализм
Пассивы	•Предпочитают не заниматься работой, требующей низкой квалификации •Ограничение навыка взаимодействия с клиентами, коллегами (предпочитают отдаваться работе, а не ее обсуждению) •Порой самоуверенность не соответствует реальным навыкам •Нетерпеливость
Предпочтения	•Гибкий график •Возможность работы вне офиса •Баланс между работой и личной жизнью •Работа в динамично растущей организации •Больше ценят возможность профессионального развития, чем финансовые поощрения

Рис. 2. Рабочие характеристики ИТ-специалистов
Fig. 2. Work characteristics of IT professionals

В исследовании также представлены результаты анализа мотивации ИТ-специалистов, которые отнесены к работникам умственного труда. По результатам проведенного опроса мотивационные факторы сотрудников ИТ-компаний ранжированы путем перемещения от приоритетного к менее значимому: интересные рабочие задачи, возможность профессионального развития, возможность карьерного роста, рабочий коллектив. Только закрытие вышеперечисленных нематериальных потребностей приводило к таким мотивирующим факторам, как финансовое поощрение и материальное стимулирование [Kubatova, Kukelkova, 2014].

Таким образом, в результате теоретического анализа было подтверждено, что потребности специалистов в области ИТ отличаются от стимулов и потребностей работников других отраслей. Так, для сотрудников ИТ-компаний важны такие факторы, как самореализация, интересные рабочие задачи, условия труда, целеполагание. Финансовое стимулирование и стремление к карьерному росту также выражены, однако эффективная система мотивации должна учитывать совокупность этих факторов, так как для сотрудников ИТ-сферы важно не только то, что они получают за свою деятельность, но и то, как они эту деятельность будут реализовывать (удовольствие от работы, удовлетворенность рабочими условиями, задачи, требующие саморазвития и повышения квалификации).

Важным исследованием представляется работа Гофман О.О., Водопьянова Н.Е., Джумагулова А.Ф., Никифоров Г.С. о понятии и составляющих «выгорания» специалистов сферы ИТ, которые приходят к выводу, что в современных исследованиях нет однозначного ответа о специфике выгорания ИТ-специалистов: по данным одних авторов, для ИТ-специалистов характерным является выгорание по субфакторам «эмоциональное истощение» и «редукция личных достижений», по другим — «деперсонализация» (цинизм). Очевидно, выявленные различия в типологии выгорания ИТ-специалистов связаны с многообразием

ИТ-профессий, которые необходимо учитывать при оценке выраженности отдельных субфакторов выгорания. Представлены три группы детерминант выгорания ИТ-специалистов: 1) профессиональные (высокие требования к обучаемости, совмещение командных и функциональных ролей, высокая неопределённость — непредсказуемость рабочих задач, иллюзии гибкого графика, дистанционная коммуникация, профессиональные заболевания); 2) организационные (виртуальная организация, специфика дистанционного управления персоналом); 3) личностные (гендерные, возрастные, образ жизни, психологическая готовность к профессиональной деятельности, отношение к профессиональной деятельности) [Гофман, Водопьянова, Джумагулова, Никифоров, 2023].

Концептуальные подходы, методология и инструменты должны быть выстроены во многом как ответ на эти факторы выгорания, таким образом, чтобы инструментарий предотвращал их корневые причины.

Программа целеполагания, развития и мотивации сотрудников ИТ-компаний «ВЕКТОР 2020»

Используя теоретические основы мотивации сотрудников ИТ, а также личный и профессиональный опыт, на базе компании «ОМК-Информационные технологии» (далее – ОМК-ИТ) была разработана и апробирована концепция, методология и набор инструментария мотивации и целеполагания, которые были сфокусированы именно на потребностях специалистов в области информационных технологий – программа «ВЕКТОР 2020».

Исходной точкой и стимулом для разработки концепции можно считать март 2013 г., когда с целью объединения сотрудников ИТ-дирекций заводов промышленного холдинга «Объединенная металлургическая компания» была образована новая кэптивная компания «ОМК-Информационные технологии» (ОМК-ИТ). Число работающих в новой компании достигло порядка 800 чел., которые перешли из заводских структур бывших дирекций по информационным технологиям различных регионов страны. И к осени 2013 г. возникла потребность поставить перед ними общие цели и задачи, на решение которых будут направлены их усилия. Обусловлена была эта потребность тем, что, во-первых, компания нуждалась в долгосрочном и крепком фундаменте развития компетенций и понимания того, кем и с каким результатом исполняются поставленные задачи. Во-вторых, компания была распределенная и ее дирекции находились в различных регионах и городах: Москва, Чусовой, Владимир, Челябинск, Альметьевск, Уфа и ряде других городов. Это в определенной мере усложняло работу в контексте организации единого профессионального механизма управления, реализации проектов развития, обмена опытом, отчетности, и т.д. И самое главное, триггером для создания новой компании стала потребность высшего руководства в полномасштабной трансформации собственно системы управления информационными технологиями, что потребовало от нового руководства ИТ функции Холдинга кардинально новых и быстрых шагов в достижении требуемых результатов. И именно сотрудники, на которых была нацелена данная программа, стали движущим механизмом трансформации.

Для решения этих проблемных вопросов; стимулирования деятельности сотрудников и выстраивания четкой системы управления между дирекциями и географически распределенными командами было решено разработать и реализовать концепцию единой программы целеполагания и оценки достижения результатов сотрудников. Программа получила название «ВЕКТОР 2020», что было обусловлено ее целями – она разрабатывалась в 2013 г., и нужно было выбрать, куда двигаться в рамках этой программы – вектор движения. Было решено ориентироваться на 2020 г. и выбирать соответствующие долгосрочные цели и соответствующую данному вектору развития систему мотивации персонала ИТ-компаний. Кроме того, само название и значок «укрупненного вектора» на уровне «символа путеводной звезды» сигнализировал руководителям и их рабочим коллективам: время пришло, стоит действовать, объединяйтесь вокруг движения вперед.

Методика и инструментарий программы

«ВЕКТОР 2020» – это многоуровневая сквозная система целеполагания и оценки, позволяющая каждому сотруднику разработать свои цели развития и соотнести их с целями компании. Для сотрудников программа стала реальной возможностью для определения направления собственного профессионального роста и улучшения деятельности в рамках должностных обязанностей. Уже было отмечено в теоретических концепциях, мотивация IT-сотрудников во многом зависит от их возможностей реализации таких потребностей, как возможность совершенствоваться, четкие и интересные для профессиональной реализации цели и задачи, понятная система роста, возможность карьерного продвижения, получение прозрачного и справедливого вознаграждения по итогам года. Все эти факторы были учтены и представлены в программе «ВЕКТОР 2020».

Методика программы выстраивалась на платформе объединения мотивационных теорий и выделения тех факторов и аспектов, которые позволят стимулировать деятельность специалистов IT-сферы, и представлена инструментами и практиками ее реализации. Остановимся на них более подробно.

Основной целью программы является то, что каждый сотрудник сможет постоянно видеть свои цели в инструменте визуализации – рабочей тетради, определять пути их реализации, соотносить эти цели с глобальными целями компании и получать за свою успешную деятельность вознаграждение: то есть быть в общем векторе.

К инструментам, которые позволили апробировать программу и успешно внедрить ее содержание в деятельность компании, были отнесены: система обучения принципам постановки целей и их последующего достижения, менторство-назначение наставников, электронная рабочая тетрадь, опрос 360 градусов, матрица финальной оценки, кадровые комитеты, закрывающее торжественное мероприятие по подведению ежегодных итогов. Эти инструменты использовались по следующему календарному годовому циклу (табл. 1)

Таблица 1

Table 1

Набор инструментария программы:

действия сотрудника и наставника-ментора в годовом цикле

A set of program tools: actions of an employee and mentor-mentor in the annual cycle

Инструмент	Период использования	Действие сотрудника	Действие наставника-ментора
Система обучения принципам постановки целей и их последующего достижения	Ноябрь	Участие в обучении	Участие в обучении
Менторство-сопровождение наставником	Полный календарный год	Получение консультаций относительно постановки целей и далее относительно хода прогресса их достижения	Выдача консультаций и сопровождение относительно прогресса достижения целей, выдача обратной связи по анкете 360 градусов, финальная оценка по итогам года
Электронная рабочая тетрадь	Старт – ноябрь, декабрь, и далее заполнение в течение года	Заполнение целями и планом работ по их достижению	Наставническая беседа и согласование целей
Опрос 360 градусов	Август	Заполнение опросника по коллегам и руководителю	Выдача обратной связи по анкете 360 градусов

Окончание табл. 1
End table 1

Инструмент	Период использования	Действие сотрудника	Действие наставника-ментора
Матрица финальной оценки	Ноябрь	Матрица формируется автоматически после внесения итогов реализации достижения целей и оценки 360 градусов	Верификация подтверждение итогов матрицы
Кадровые комитеты	Декабрь	Участие в кадровом комитете с отчетом по матрице	Участие в кадровом комитете с обратной связью по своему подопечному
Закрывающее торжественное мероприятие по подведению ежегодных итогов	20-е числа декабря	—	—

Рабочая тетрадь «ВЕКТОР» была разработана под цели и содержание программы и была тем элементом, который объединил идейную составляющую программы и ее практическую реализацию. Так, рабочая тетрадь была предоставлена для личного заполнения каждому сотруднику и имела удобный pdf-формат и понятную структуру (рис. 3):

- введение;
- описание механизма работы программы развития;
- описание деятельности ментора, помощника по развитию;
- выбор целей по развитию;
- контроль постановки целей и оценка их сложности;
- итоговый результат;
- обратная связь по итогам работы.

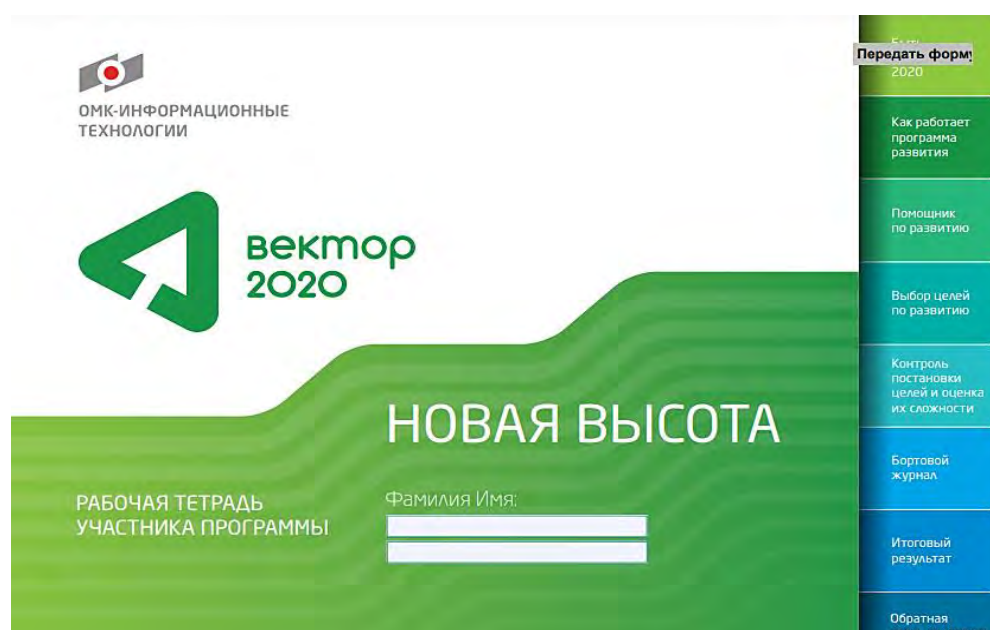


Рис. 3. Обложка рабочей тетради участника программы «Вектор 2020»
Fig. 3. Cover of the workbook of the participant of the program "Vector 2020"

По разработанному критерию БЕК, аналог SMART концепции, в тетради заполнялась категория целеполагания. Были определены вопросы для самостоятельного целеполагания и определены критерии постановки правильной цели по данной методике. Для того, чтобы цель соответствовала критерию БЕК и, соответственно, целям и задачам компании, важно было, чтобы она отражала:

«В – цель была важной, вдохновляющей и интересной для Вас лично. Недопустимо ставить цели, которые лично Вы выполнять не хотите;

Е – единой с деятельностью Компании и Вашего направления. Недопустимо ставить цели, которые не соответствуют целям Компании или Вашего направления;

К – количественной, имеющей конкретную метрику оценки результата. Недопустимо выбирать цели, результат выполнения которых невозможно измерить» (цитата из инструментария «рабочая тетрадь»).

В рабочей тетради также был раздел «Бортовой журнал», в котором осуществлялось отслеживание результатов работы за цикл и планирование работы по целям на следующее полугодие. Для каждой цели в бортовом журнале в понятной форме и в открытых ячейках прописывалось: что было сделано по цели, какие ресурсы для ее реализации были вовлечены, какие сложности возникли, и отмечался прогресс выполнения цели (рис. 4).

Вектор 2020/ Бортовой журнал

Моя цель 1

Целевая метрика Ноябрь 2015

Май

Что сделано

Вовлеченные ресурсы

Трудности

Метрика в мае

Ноябрь

Что сделано

Вовлеченные ресурсы

Трудности

Метрика в ноябре

☐ Я планирую работать по цели в следующем году

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ УЧАСТНИКА

Май:
Заполните соответствующие разделы бортового журнала: отметьте значение метрики по итогам первого полугодия, опишите, что было Вами сделано, вовлеченные ресурсы, возникшие трудности. Запланируйте и проведите встречу с Вашим Помощником, подготовьтесь к проведению промежуточного кадрового комитета.

Ноябрь:
Заполните соответствующие разделы бортового журнала: отметьте значение метрики по итогам года, что было Вами сделано, вовлеченные ресурсы, возникшие трудности. Отметьте соответствующее поле, если Вы планируете продолжить работу по цели в 2016-м году. Запланируйте и проведите встречу с Вашим Помощником, подготовьте его к проведению итогового кадрового комитета. Совместно с Помощником обсудите итог Вашего участия в ВЕКТОР.

Прогресс выполнения цели

Не выполнена 0% 25% 50% 75% 100% Выполнена частично Выполнена

Цель 1 по итогам BEKTOP 2020

Не выбрано Не выбрано

Стоимость цели 0 Степень достижения 0.0 Итог по цели 0.0

Быть в векторе 2020

Как работает программа развития

Помощник по развитию

Выбор целей по развитию

Контроль постановки целей и оценка их сложности

Бортовой журнал

Итоговый результат

Обратная связь по итогам

Рис. 4. Раздел «Бортовой журнал» рабочей тетради «BEKTOP 2020»

Fig. 4. Section "Journal" of the workbook "VECTOR 2020"

Менторство – еще один инструмент программы, внедрение которого позволило систематизировать все процессы развития и сделать программу понятной для ее участников. В рамках программы «ВЕКТОР 2020» каждому участнику был определен помощник по развитию, который прошел необходимое обучение и сопровождал по программе участников в течение всего цикла ее реализации. В тетради были прописаны условия и цели работы с помощником по развитию, а также определены сроки и алгоритм связи с ним.

Система каскадных кадровых комитетов. Кадровый комитет является инструментом для выработки коллегиального решения. В рамках реализации программы развития он проводился регулярно для отслеживания промежуточных результатов и в конце года (финальный кадровый комитет). На кадровых комитетах рассматривался каждый участник программы, давалась обратная связь по деятельности группы от верхнеуровневых руководителей, обсуждалась матрица отчетности. Руководители групп на кадровом комитете рассказывали, какие цели были достигнуты, распределяли по ячейкам в матрице результаты сотрудников, обсуждали сложности и перспективы компании на следующий год. Отчет проходил в большом зале при участии руководителей и подключении кураторов по видеосвязи.

Опрос 360 градусов. Классический инструмент 360 градусов использовался на полугодовой основе для оценки того, как сами рабочие коллективы видят поведение и ценности оцениваемого. Полученные оценки обратной связи являлись основой для оценки соответствия сотрудника требуемой модели поведения. Важным в системе целеполагания был не только результат деятельности, но и то, каким поведением, какими «методами» работы подчиненными и окружающими был достигнут этот результат.

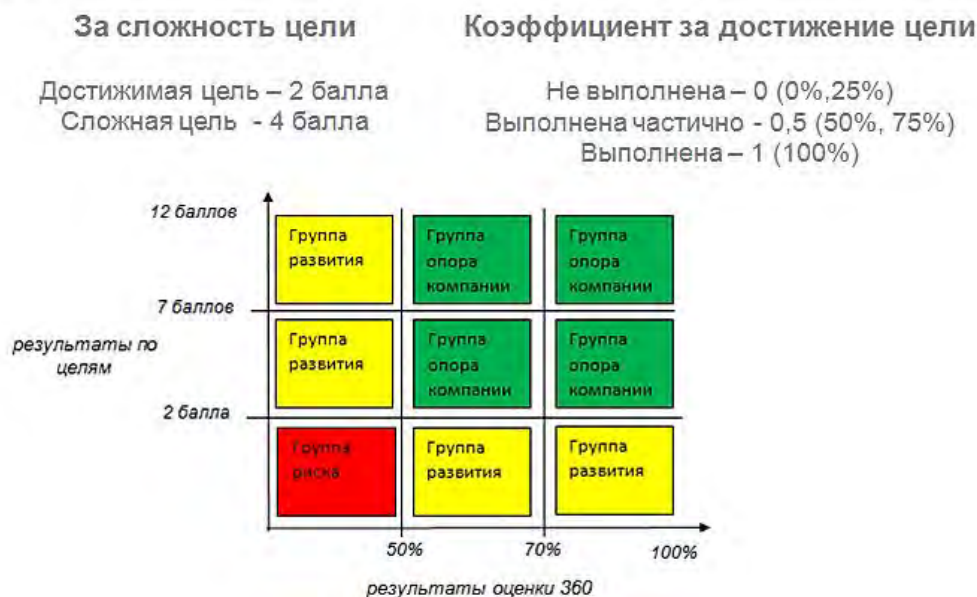
Матрица. Итоги реализации программы оценивались и распределялись при помощи девятиблочной матрицы достижений. Пример распределения баллов и ранжирования результатов участника по матрице представлен на рис. 5.

Итоговые результаты по матрице распределялись следующим образом:

- в группу риска попали те участники, которые поставили перед собой цели, но не рассчитали своих сил или ресурсов, необходимых для достижения целей. Вследствие этого цели остались невыполненными;
- в группу развития попали те участники, которые ответственно подошли к своей работе в программе «ВЕКТОР 2020», поставили себе достижимые или сложные задачи, добились их частичного или полного выполнения;
- в группу опоры компании попали те участники, которые поставили себе труднодостижимые цели и смогли их выполнить.

Финальное торжественное мероприятие по подведению ежегодных итогов проводилось на ежегодной основе с участием всех сотрудников компании. Мероприятие было сконструировано как отчет руководства компании перед сотрудниками: руководители компании раскрывали результаты их личного вклада в достижение общего вектора движения, подводились сводные итоги работы всего коллектива, демонстрировались сводные финальные матрицы результативности сотрудников, а также объявлялись объемы материальной индексации каждого квадранта. Кроме этого, проходила открытая сессия вопросов и ответов, а в конце озвучивалось новое верхнеуровневое послание по целям и задачам следующего года, тем самым открывался новый цикл программы ВЕКТОР на следующий календарный год.

ОМК-ИТ



Вектор 2020/Итоговый результат

Карта достижений. Прогноз и принцип расчета результатов

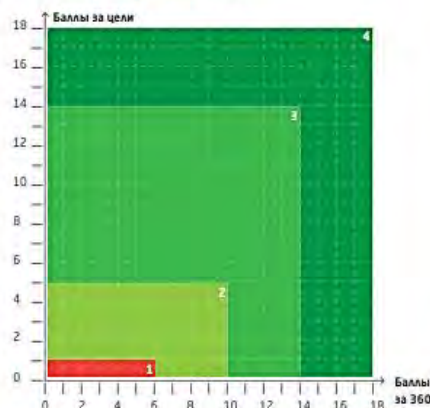
На этом слайде отражены Ваши результаты по итогам участия в программе «ВЕКТОР 2020»; итоговый балл за достижение целей и за оценку 360.

Ваш результат

Сложность цели	Достижение результата
Цель 1	
Цель 2	
Цель 3	

Результат 360: Баллы за цели:

Результат 360 в ВЕКТОРЕ 2020:



Итог

Вы поставили перед собой цели, но не рассчитали своих сил или ресурсов, необходимых для достижения целей. Вследствие этого цели остались невыполненными. Возможно этот результат связан с оценкой 360. Постарайтесь вместе с Помощником по развитию сделать выводы, которые позволят Вам в следующем году скорректировать свои действия, правильно выбрать цели по развитию и их достичь.

Вы ответственно подошли к своей работе в программе «ВЕКТОР 2020», поставили себе достижимые или сложные задачи, добились их частичного или полного выполнения. Результат достигнут, и у Вас есть потенциал для движения дальше. В следующем году смотрите шире, выбирайте более сложные цели по развитию. Возможно, Вам следует обратить внимание на результаты оценки 360, сделать правильные выводы, которые помогут Вам в следующем году добиться большего.

Поздравляем! Вы поставили себе труднодостижимые цели и смогли их выполнить. Ваши амбиции получили реальное подтверждение – Вы можете многое! Разделите свой триумф со своим Помощником по развитию, обсудите, какие задачи выбрать на следующий год.

☐ Ваш результат

☐ Ваш результат

☐ Ваш результат

Быть в векторе 2020

Как работает программа развития

Помощник по развитию

Выбор целей по развитию

Контроль постановки целей и оценка их сложности

Бортовой журнал

Итоговый результат

Обратная связь по итогам

Рис. 5. Матрица достижений
Fig. 5. Achievement Matrix

Алгоритм реализации программы «ВЕКТОР 2020»

Первый год своего существования программа была реализована в пилотном объеме для руководителей самого верхнего уровня, в ее реализации приняло участие 70 чел., среди которых были директора, начальники управлений и начальники отделов. Перед запуском

программы участники проходили обучение по функционированию в рамках этой программы. Задача участников программы заключалась в грамотном разборе процесса целеполагания и заполнения тетради вместе с помощником (обученный менторству-наставничеству руководитель верхнего уровня).

Первая задача в работе с тетрадью заключалась в грамотной постановке целей по критериям «ВЕК». Всего было определено по 2–3 цели в рамках направления по критерию «ВЕК». После реализации задачи по постановке целей был собран первый промежуточный кадровый комитет по целеполаганию, где оценивались и утверждались цели сотрудников. Далее запускалась работа участников в рамках деятельности ОМК-ИТ с отслеживанием прогресса по реализации цели (регулярные встречи с помощником, промежуточные кадровые комитеты) и заполнением промежуточного среза в рабочей тетради «ВЕКТОР». Финальный кадровый комитет, как было отмечено выше, проводился в конце года, и здесь были проанализированы результаты каждого участника по матричной системе оценки: что было реально достигнуто и, что немаловажно, как и какими способами действовал сотрудник при их достижении.

На финальном кадровом комитете собирались руководители верхнего уровня: директор ОМК-ИТ, директора трех центров (ресурсный центр компетенций, центр архитектуры и разработки, центр эксплуатации и поддержки) и начальники управлений. В ходе комитета каждый руководитель каскадно от уровня «начальник отдела» и выше презентовал итоги работы каждого сотрудника своей структурной единицы, давалась обратная связь от смежных коллег, финально определялся уровень нахождения сотрудника на матрице девяти ячеек оценки: что достигнуто и как было достигнуто. На основании полученных результатов далее выстраивалась система мотивации сотрудников.

Система мотивации по программе «ВЕКТОР 2020»

Система мотивации каждый год индексировалась исходя из того, в каком кубике матрицы по итогам работы оказался сотрудник. Стимулом и мотивационным компонентом выступали ранжированное повышение, зависящее от результатов деятельности, и угроза увольнения в случае отсутствия результатов или отрицательных показателей: как в области самого результата деятельности, так и в области поведения-алгоритма действий при его достижении:

- 15 % повышения получали те сотрудники, которые оказывались в верхнем кубе матрицы, в группе «Рост»;
- 9 % повышения получали сотрудники, которые по результатам деятельности оказывались в средних кубах матрицы, в группе «Опора»;
- 6 % получали сотрудники, которые по результатам деятельности оказывались в нижнем кубе матрицы, в группе «Развитие»;
- увольняли тех сотрудников, кто оказался в самом нижнем кубе, в группе «Особое внимание».

Также результаты выполнения программы влияли, помимо изменения оклада, на возможности участия в обучении, семинарах, тренингах, конференциях и форумах, а также зарубежных командировках. Соответственно, все условия мотивации, которые характерны для сотрудников ИТ-компаний, были реализованы в рамках программы «ВЕКТОР 2022»: открытость, вовлеченность и сопричастность в деятельность компании, возможность реально повлиять своим трудом и поведением на свое будущее вознаграждение. Выстроенная система целеполагания и мотивации программы соответствует как общим принципам мотивации, так и специфике мотивации в ИТ-сфере.

Обсуждение результатов

Программа целеполагания и развития «ВЕКТОР 2020» была разработана с целью объединения усилий каждого сотрудника компании ОМК-ИТ на пути к достижению общих

целей и задач, направленных на совершенствование, масштабирование и развитие компании. В рамках «ВЕКТОР 2020» ставились следующие цели:

- стратегические инициативы ОМК-ИТ;
- корпоративные проекты ОМК-ИТ;
- кроссфункциональные задачи;
- задачи по стандартизации работы;
- задачи по улучшению общих метрик подразделений и ОМК-ИТ в целом;
- задачи по повышению эффективности работы в конкретных направлениях и практиках.

В рамках системы «ВЕКТОР 2020» достигнуто и реализовано большинство сложных целей. Руководством компании сделан вывод о том, что программа стала реальной возможностью управления собственными ресурсами и возможностями для сотрудников, а также эффективной мотивационной управленческой системой для руководства. В этой системе «ВЕКТОР» ОМК-ИТ проработала три года до проведения последующей реформы системы целеполагания в переход в систему геймификации деятельности.

Стоит выделить научную новизну программы. Во-первых, она выражается в прозрачности всех процессов в рамках реализации программы: система прозрачна и понятна для каждого ее участника. Также понятной, доступной для самостоятельного отслеживания и справедливой является и система мотивации в рамках программы: она публичная, открытая, поддается отчетности, проверке и оценке. Успешность программы обуславливается выбором грамотной модели поощрения. Во-вторых, новизна разработанной и успешно апробированной системы целеполагания и развития «ВЕКТОР 2020» заключается в четкой систематизации и фиксации целей, что обеспечивается промежуточным кадровым комитетом, наличием помощников и понятным инструментарием. В-третьих, программа предполагает прозрачную и понятную систему материального поощрения, при которой сотрудники видят связь «затраченные ресурсы – ожидаемый результат», выбирают интересные и актуальные для них цели, созвучные с целями компании, и по результатам работы получают не только материальное поощрение, но и реализуют внутренние потребности в самоопределении, саморазвитии, достижении целей выполнении труднодостижимых или более реальных задач.

Заключение

Особенность мотивации сотрудников ИТ-компании заключается в разработке правильной системы целеполагания и развития, при которой будут учитываться внутренние нематериальные и материальные потребности, будет предоставлен понятный алгоритм работы, будет использоваться эффективный инструментарий, а сама система будет прозрачной, доступной и результативной.

Разработанная, апробированная и представленная в данной статье методология и инструментарий программы целеполагания и мотивации «ВЕКТОР 2020» может быть использована на практике ИТ-компаниями для трансформации системы мотивации сотрудников путем выстраивания единой системы целеполагания и совершенствования деятельности компании за счет постановки и реализации единых совместных целей и задач.

Направления дальнейших исследований в области мотивации сотрудников ИТ отрасли во многом будут связаны с анализом смены поколений и новых мотивационных триггеров BANI мира.

Список источников

- Революция в менеджменте от президента General Electric Джека Уэлча. Laba: бизнес и управление. URL: <https://l-a-b-a.com/blog/show/526> (дата обращения 05.04.2023)
- Buchan, J., Ball, J., & O'may, F. 2000. Determining skill mix in the health workforce: guidelines for managers and health professionals. Issues in health services delivery paper № 3. Department of Organisation of Health Services Delivery. Geneva: World Health Organization.

- Couger, J.D. And Zawacki, R.A. 1980. *Motivating and Managing Computer Personnel*, Wiley, New York, 213 p.
- Karsh, B., & Templin, C. 2013. *Manager 3.0. A Millennial's Guide to Rewriting the Rules of Management*. San Francisco: Amacom, 240 p.
- Maslow, A.H. 1954. *Motivation and personality*. New York: Harper and Row, 411 p.
- Mcclelland, D.C. 1987. *Human motivation*. New York: University of Cambridge, 676 p.
- OECD AND EUROSTAT, «Manual on the Measurement of Human Resources Devoted to S&T – Canberra Manual», OECD, Paris, 1995.
- Schien, E.H. 1980. *Organisational psychology*, 3rd, ed. New Jersey: Prentice Hall, 288 p.
- Swanborg, R. 2011. *IT's Creative Class. How to craft a new generation of It leaders who are focused on solving business problems*. Grow, October 15, 2011.
- Vollmeyer, R., Jenderek, K., & Tozman, T. 2013. *How Different Motivational Aspects Can Affect Moral Behavior. Handbook of Moral Motivation: Theories, Models, Applications*, edited by K. Heinrichs, et al., Sense Publishers.
- Vroom, V.H. 1964. *Work and motivation*. New York: Wiley, 331 p.
- Wheatley, M. 2005. *Finding our Way: Leadership for an Uncertain Time*. San Francisco: Berrett-Koehler, 151 p.

Список литературы

- Гофман О.О., Водопьянова Н.Е., Джумагулова А.Ф., Никифоров Г.С. 2023. Проблема профессионального выгорания специалистов в сфере информационных технологий: теоретический обзор. *Организационная психология*, 13 (1): 117-144.
- Грибанова С.П. 2018. Особенности мотивации специалистов в области информационных технологий в Латвии. *Информационное общество*, 4-5: 43-53.
- Иличкина Д.А. 2022. Концепции мотивации персонала: содержательные и процессуальные теории. *Россия молодая. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*: 84216.1-84216.7.
- Кирилина О.Н. 2019. Роль мотивации в управлении персоналом. *Бизнес-образование в экономике знаний*, 3 (14): 51-56.
- Мишурова И.В. 2022. Целеполагание как фактор эффективной мотивации персонала. *Научный вектор. Сборник научных трудов*. Т. 8: 236-238.
- Barbuto, J.;Scholl, R. 1998. *Motivation Sources Inventory: development and validation of new scales to measure an integrative taxonomy of motivation*. *Psychological Reports*, 82: 1011–1022.
- Brenninger, H. - J. 2015. *Employee Satisfaction and its Impact on Company Value*. Doctoral thesis. University of Latvia, 206 p.
- Burn, J., Couger, J.D. and MA, L. 1992. *Motivating IT professionals. The Hong Kong challenge*. *Information & Management*, 22: 269-280.
- Kowal, J. & Roztocki, N. 2015. *Job satisfaction of IT professionals in Poland: does business competence matter*, *Journal of Business Economics and Management*, 16(5): 995-1012.
- Kubatova, J. & Kukelkova, A. 2014. *Cultural differences in the motivation of Generation Y knowledge workers*. *Human Affairs*, 24: 511-523.
- Lewin, K. 1946. *Action research and minority problems*. *Journal of Social Issues*, 2: 4-46.
- Mcknight, D.H., Phillips, B., & Hardgrave, B. C. 2009. *Which reduces IT turnover intention the most: Workplace characteristics or job characteristics?* *Information & Management*, 46(3): 167-174.

References

- Hoffman O.O., Vodopyanova N.E., Dzhumagulova A.F., Nikiforov G.S. 2023. *The problem of professional burnout of specialists in the field of information technology: a theoretical review*. *Organizational Psychology*, 13(1): 117-144. (in Russian)
- Gribanova S.P. 2018. *Features of motivation of specialists in the field of information technology in Latvia*. *Information Society*, 4-5: 43-53. (in Russian)
- Ilichkina D.A. 2022. *Concepts of staff motivation: substantive and procedural theories. Russia is young. Collection of materials of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*: 84216.1-84216.7. (in Russian)

- Kirilina O.N. 2019. The role of motivation in personnel management. *Business Education in the Knowledge Economy*, 3 (14):51-56. (in Russian)
- Mishurova I.V. 2022. Goal setting as a factor of effective staff motivation. *Scientific vector. Collection of scientific papers*. Vol. 8: 236-238. (in Russian)
- Barbuto, J.;Scholl, R. 1998. Motivation Sources Inventory: development and validation of new scales to measure an integrative taxonomy of motivation. *Psychological Reports*, 82: 1011–1022.
- Brenninger, H. - J. 2015. Employee Satisfaction and its Impact on Company Value. Doctoral thesis. University of Latvia, 206 p.
- Burn, J., Couger, J.D. and MA, L. 1992. Motivating IT professionals. *The Hong Kong challenge. Information & Management*, 22: 269-280.
- Kowal, J. & Roztocki, N. 2015. Job satisfaction of IT professionals in Poland: does business competence matter, *Journal of Business Economics and Management*, 16(5): 995–1012.
- Kubatova, J. & Kukelkova, A. 2014. Cultural differences in the motivation of Generation Y knowledge workers. *Human Affairs*, 24: 511-523.
- Lewin, K. 1946. Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2: 4-46.
- Mcknight, D.H., Phillips, B., & Hardgrave, B. C. 2009. Which reduces IT turnover intention the most: Workplace characteristics or job characteristics? *Information & Management*, 46(3): 167-174.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Митенков Алексей Владимирович, кандидат философских наук, директор Института экономики и управления промышленными предприятиями, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexey V. Mitenkov, PhD in Philosophy, Director of the Institute of Industrial Economics, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russian Federation



УДК 332.14
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-586-596

О возможностях совершенствования управления социально ориентированными некоммерческими организациями (на примере Волгоградской области)

Морозова И.А., Дмитриев А.С.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Россия, Волгоград, 400066, пр. им. Ленина, 28

E-mail: morozovaira@list.ru, basement.dmitriev@gmail.com

Аннотация. Социально ориентированные некоммерческие организации выполняют ряд важных функций в сфере обеспечения развития социальной жизни государства. Их развитие существенно сказывается на эффективности решения многих социальных проблем. Целью данной статьи является разработка рекомендательных мер, направленных на развитие системы управления деятельностью социально ориентированных некоммерческих организаций, на основе анализа динамики показателей, характеризующих функционирование СОНКО Волгоградской области. Для достижения цели были поставлены задачи, включающие разработку комплекса относительных показателей и методики их расчета, применение данной методики для анализа деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области и дальнейшее формирование направлений совершенствования системы управления последней. Результаты исследования показали, что показатели эффективности деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций региона в большинстве случаев характеризуются нисходящей динамикой: в основном это касается деятельности волонтеров и охвата населения области услугами и помощью со стороны СОНКО. Научная новизна работы состоит в разработке и практическом применении методики оценки уровня эффективности деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций. Предлагаемая методика включает совокупность индикативных показателей, охватывающую различные аспекты функционирования СОНКО, включая добровольческую деятельность, оказание услуг и предоставление помощи в различных формах, финансовое обеспечение и т.д. Практическая значимость работы состоит в разработке комплекса рекомендательных мер, направленных на трансформацию существующей системы управления деятельностью социально ориентированных некоммерческих организаций. Таковой предполагает формирование нового социально экономического субъекта – Фонда обеспечения деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций, координация деятельности которого может осуществляться усилиями представителей органов государственной власти и местного самоуправления, общественного совета, коммерческих организаций и самих СОНКО.

Ключевые слова: некоммерческие организации, добровольчество, социальные услуги, эффективность, социальная сфера, государственно-частное партнерство

Для цитирования: Морозова И.А., Дмитриев А.С. 2023. О возможностях совершенствования управления социально ориентированными некоммерческими организациями (на примере Волгоградской области). Экономика. Информатика, 50(3): 586–596. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-586-596

On the Possibilities of Improving the Management of Socially Oriented Non-Profit Organizations (on the Example of the Volgograd Region)

Irina A. Morozova, Alexey S. Dmitriev

Volgograd State Technical University.

28 Lenin Ave., Volgograd, 400066, Russian Federation

E-mail: morozovaira@list.ru, basement.dmitriev@gmail.com

Abstract. Socially oriented non-profit organizations perform a number of important functions in the field of ensuring the development of the social life of the state. Their development significantly affects the effectiveness of solving many social problems. The purpose of the study is to develop recommendatory measures aimed at developing a management system for the activities of socially oriented non-profit organizations, based on the analysis of the dynamics of indicators characterizing the functioning of the socially oriented non-profit organizations of the Volgograd region. In order to achieve the goal, tasks were set, including the development of a set of relative indicators and methods for calculating them, the use of this methodology for analyzing the activities of socially oriented non-profit organizations in the Volgograd region and the further formation of directions for improving the management system of the latter. The results of the study showed that the performance indicators of socially oriented non-profit organizations in the region in most cases are characterized by downward dynamics: this mainly concerns the activities of volunteers and the coverage of the population of the region with services and assistance from socially oriented non-profit organizations. The scientific novelty of the work consists in the development and practical application of a methodology for assessing the level of effectiveness of socially oriented non-profit organizations. The proposed methodology includes a set of indicative indicators covering various aspects of the functioning of socially oriented non-profit organizations, including volunteering, provision of services and assistance in various forms, financial support, etc. The practical significance of the work consists in the development of a set of recommendatory measures aimed at transforming the existing management system of socially oriented non-profit organizations. This implies the formation of a new socio-economic entity - the Fund for Ensuring the Activities of Socially Oriented Non-profit Organizations, the coordination of which can be carried out by the efforts of representatives of state authorities and local self-government, the public council, commercial organizations and the socially oriented non-profit organizations themselves.

Keywords: non-profit organizations, volunteerism, social services, efficiency, social sphere, public-private partnership

For citation: Morozova I.A., Dmitriev A.S. 2023. On the Possibilities of Improving the Management of Socially Oriented Non-Profit Organizations (on the Example of the Volgograd Region). Economics. Information technologies, 50(3): 586–596 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-586-596

Введение

Многочисленные примеры стран с развитой рыночной экономикой и социальной сферой свидетельствуют о наличии значительного социального эффекта от результативно функционирующих некоммерческих организаций. Таковой выражается в быстром и эффективном разрешении проблем, возникающих в общественной среде, в снижении нагрузки на органы государственной власти в области осуществления социальной политики, формировании и развитии институтов гражданского общества. В деятельность субъектов «третьего сектора» также оказываются вовлечены бизнес-структуры, что существенно увеличивает число возможностей первых в деле позитивной трансформации общественной среды. Таким образом, эффективное управление некоммерческим сектором экономики приводит к сокращению нагрузки на государственный бюджет при росте эффективности регулирования социальной сферы.

По меркам ряда западных стран, некоммерческий сектор отечественной экономики является сравнительно молодым. Хотя многие формы социальной помощи, практикуемые нынешними социально ориентированными организациями, активно развивались в период XVII – начала XX вв. [Семионкина, 2017; Соколов, 2006], упразднение институтов рыночной экономики в советский период перенесло их в иную плоскость, а потому периодом возникновения некоммерческого сектора экономики в России следует считать 90-е годы XX века. Большинство некоммерческих институтов в тот период были напрямую трансплантированы из западной институциональной среды. В ходе формирования нового сектора экономики зачастую не уделялось должного внимания отличительным особенностям российского общества, которое по ряду признаков существенно расходилось с западным. Это привело к недостаточной эффективности процесса трансплантации, снизившей значимость деятельности некоммерческих организаций в глазах российских граждан.

Характеристика деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций

Особенности нормативно-правового регулирования деятельности некоммерческих организаций формируют ряд существенных различий между ними и бизнес-структурами. В частности, это касается вопросов финансового и имущественного обеспечения деятельности НКО. Так, некоммерческие организации имеют право на осуществление предпринимательской деятельности, но только в рамках своей миссии (т. е., например, для некоммерческой организации, действующей в сфере образования, допустимым видом предпринимательской деятельности будет оказание платных образовательных услуг). В соответствии с федеральным законом № 7 - ФЗ «О некоммерческих организациях» (далее – закон № 7-ФЗ) НКО могут получать прибыль от предпринимательской деятельности, однако она не может распределяться между учредителями организации и должна направляться на развитие последней [Федеральный закон от 12.01.1996 N 7-ФЗ...].

Социально ориентированные некоммерческие организации (СОНКО), согласно п. 2.1 ст. 2 закона № 7-ФЗ, представляют собой НКО, осуществляющие определенные виды деятельности, направленные на решение социальных проблем и развитие институтов гражданского общества в России. К числу таковых относится социальное обслуживание граждан, оказание помощи пострадавшим в результате стихийных бедствий и техногенных катастроф, охрана окружающей среды, профилактика социально опасных форм поведения, благотворительность и многие другие. Ст. 31.1 закона № 7-ФЗ предусматривает возможность поддержки социально ориентированных некоммерческих организаций со стороны органов государственной власти и местного самоуправления.

Вместе с тем, несмотря на поддержку СОНКО со стороны государства и относительно широкие возможности использования других источников ресурсов (включая прибыль от реализации товаров, работ и услуг, добровольные пожертвования со стороны частных лиц и бизнеса, а также других НКО), финансовое и имущественное положение данных организаций во многих случаях является нестабильным. Многие СОНКО оказываются фактически лишенными возможностей для расширения аудитории своей деятельности и повышения интереса граждан к таковой. Данную проблему нельзя свести к совокупности частных случаев: она носит выражено системный характер, а потому ее преодоление требует комплексного подхода.

Основная задача в области развития сектора социально ориентированных некоммерческих организаций сегодня состоит в определении оптимальной модели управления, которая будет в максимально возможной степени отвечать интересам четырех сторон социального взаимодействия: общества, государства, бизнеса и непосредственно социально ориентированных организаций. С одной стороны, она должна обеспечивать высокий уровень транспарентности отношений, возникающих между сторонами управленческой деятельности, с другой – способствовать росту уровня вовлеченности граждан в деятельность

СОНКО. Цель настоящей статьи состоит в поиске возможностей формирования подобной модели на основе данных о состоянии сектора социально ориентированных НКО в региональном разрезе.

Обзор литературы по теме исследования

Тема управления финансовым и имущественным положением российских социально ориентированных некоммерческих организаций все чаще привлекает внимание как исследователей, так и практикующих экономистов, однако данное явление еще не приобрело массового характера. Отметим, что мнения авторов работ по данной тематике зачастую сходятся в оценке основных проблем развития СОНКО, а также в возможностях преодоления таковых. Так, например, в работах А.С. Дмитриева [Дмитриев, 2020], Ж.М. Водолазовой [Водолазова, 2021], К.Е. Косыгиной [Косыгина, 2022] и др. [Колесников, 2017] подчеркивается недостаточный уровень осведомленности населения относительно деятельности как некоммерческих организаций в целом, так и конкретно СОНКО, выявленный в результате проведения социологических опросов. Несмотря на различия в географии опросов и объемах выборки, результаты таковых характеризуются схожими значениями.

В работах А.Н. Чернышова [Чернышов, 2018], А.А. Шабуновой [Шабунова, Косыгина, 2019] и К.Е. Косыгиной [Косыгина, 2022] подчеркивается недостаточность государственного финансирования СОНКО для обеспечения эффективного развития данного сектора. Таковая обуславливается не столько объемами выделяемых ресурсов, сколько низкой результативностью их расходования в отсутствие включенности в процесс развития представителей бизнеса и непосредственно общества. Сложившаяся ситуация, таким образом, требует определения новой модели управления сектором СОНКО, которая предполагает активное взаимодействие государства, общества, бизнеса и социально ориентированных некоммерческих организаций.

Методология исследования

Показатели эффективности деятельности СОНКО можно условно разделить на качественные и количественные. К группе качественных показателей следует отнести, например, осведомленность населения относительно деятельности СОНКО и одобрение таковой. Ко второй группе методов оценки можно отнести как количественные интерпретации качественных показателей (выявляемые на основе социологических опросов, официальных статистических наблюдений и др.), так и показатели, рассчитываемые непосредственно социально ориентированными НКО, например, число волонтеров, задействованных в работе (в том числе на душу населения).

В рамках настоящего исследования состояние сектора социально ориентированных некоммерческих организаций оценивается по авторской методике. Она предполагает интерпретацию динамики 8 относительных показателей. Таковые, по мнению авторов, обеспечивают объективную и детальную оценку реальной ситуации.

1. Показатель количества волонтеров на 1 000 человек населения региона может быть рассчитан по следующей формуле:

$$k_1 = \frac{B}{\text{ЧН}} * 1000, \quad (1)$$

где:

B – количество волонтеров, задействованных в работе сектора СОНКО;

ЧН – численность населения (среднегодовая).

Чем выше значение данного показателя, тем существеннее доля населения, задействованного в волонтерской деятельности на конкретной территории.

2. Вклад субъектов сектора социально ориентированных некоммерческих организаций в ВРП оценивается следующим образом:

$$k_2 = \frac{Д}{ВРП} * 100 \%, \quad (2)$$

где:

Д – совокупная величина доходов сектора социально ориентированных некоммерческих организаций;

ВРП – валовый региональный продукт.

Совокупность некоммерческих организаций образует целый сектор экономики наряду с государственным и частным секторами. В западной экономической литературе распространено понятие «третий сектор», которое и подразумевает общность НКО. В связи с высокой значимостью некоммерческого сектора для экономической и социальной жизни страны, показатель его доли в валовом продукте приобретает особую важность. Соответственно, чем выше значение показателя k_2 , тем большую роль некоммерческий сектор играет в экономике региона.

3. Оценка эффективности персонала СОНКО (выработка) может быть оценена при помощи отношения показателя выручки организации от реализации товаров, работ и услуг к совокупной численности сотрудников:

$$k_3 = \frac{ВР}{ЧП}, \quad (3)$$

где:

ВР – выручка от реализации товаров, работ и услуг (тыс. рублей);

ЧП – численность персонала (штатные сотрудники и внешние совместители).

Низкие значения данного показателя свидетельствуют об избытке кадров, задействованных в работе сектора социально ориентированных некоммерческих организаций. Чрезмерно высокие показатели, напротив, говорят о нехватке рабочей силы и высокой нагрузке на каждого сотрудника СОНКО.

4. Роль социально ориентированных НКО как работодателей может быть охарактеризована при помощи показателя доли занятых в секторе СОНКО в общем объеме рабочей силы региона:

$$k_4 = \frac{ЧП}{Ч_{зан}} * 100 \%, \quad (4)$$

где:

ЧП – численность персонала (штатные сотрудники и внешние совместители);

$Ч_{зан}$ – численность занятых в экономике в регионе.

5. Для анализа также может быть использован усредненный показатель, отражающий величину финансового обеспечения одной некоммерческой организации.

$$k_5 = \frac{СР}{К_{СОНКО}}, \quad (5)$$

где:

СР – совокупный объем финансирования СОНКО;

$К_{СОНКО}$ – количество действующих в регионе СОНКО.

6. Достаточность средств для обеспечения развития социально ориентированной НКО может быть охарактеризована отношением разности доходов и расходов организаций к числу СОНКО:

$$k_6 = \frac{Д-Р}{К_{СОНКО}}. \quad (6)$$

Согласно действующему законодательству, некоммерческие организации не распределяют прибыль между учредителями: вся она направляется на развитие организации. Таким

образом, усредненная величина разности доходов и расходов косвенно указывает на возможности социально ориентированной организации в области обеспечения своего развития.

7. Для оценки степени эффективности деятельности региональных социально ориентированных некоммерческих организаций можно использовать показатель, выражающий отношение числа лиц, получивших помощь со стороны СОНКО (а также воспользовавшихся их услугами) к численности населения региона. Чем выше значение данного показателя, тем большим является охват населения услугами и помощью со стороны социально ориентированных некоммерческих организаций.

$$k_7 = \frac{\text{Ч}_{\text{ЮП}} + \text{Ч}_{\text{БПН}} + \text{Ч}_{\text{БПД}} + \text{Ч}_{\text{УСЛ}}}{\text{ЧН}} * 100\%, \quad (7)$$

где:

$\text{Ч}_{\text{ЮП}}$ – численность получивших юридическую помощь на безвозмездной или льготной основе;

$\text{Ч}_{\text{БПН}}$ – численность получивших благотворительную помощь в натуральной форме;

$\text{Ч}_{\text{БПД}}$ – численность получивших благотворительную помощь в денежной форме;

$\text{Ч}_{\text{УСЛ}}$ – численность получателей услуг СОНКО;

ЧН – численность населения (среднегодовая).

8. Для оценки эффективности расходования финансовых ресурсов социально ориентированными некоммерческими организациями региона может использоваться показатель, выражающий отношение расходов СОНКО к численности получателей помощи и услуг:

$$k_8 = \frac{P}{\text{Ч}_{\text{ЮП}} + \text{Ч}_{\text{БПН}} + \text{Ч}_{\text{БПД}} + \text{Ч}_{\text{УСЛ}}} \quad (8)$$

Конечная величина данного показателя будет отражать среднюю сумму затрат на оказание услуг или предоставление помощи в расчете на одного человека.

Результаты исследования

Рассмотрим результаты расчета вышеуказанных показателей по Волгоградской области за период 2017-2021 гг. Таковые представлены в нижеприведенной таблице.

Таблица 1
Table 1

Результаты расчета показателей для СОНКО Волгоградской области, 2017-2021 гг.
Results of calculation of indicators for the socially oriented non-profit organizations of the Volgograd region, 2017-2021

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
k_1 , чел.	14,00	15,20	16,50	11,80	10,90
k_2 , %	0,67	0,68	0,71	0,71	0,73
k_3 , тыс. руб.	318,05	350,25	357,37	403,00	439,83
k_4 , %	0,64	0,62	0,67	0,58	0,58
k_5 , тыс. руб.	2068,74	2503,35	2508,15	2499,82	2869,24
k_6 , тыс. руб.	125,44	149,05	145,83	257,12	217,96
k_7 , %	11,87	17,08	17,47	13,11	14,26
k_8 , тыс. руб.	17,72	13,82	14,46	19,24	20,25

Источник: рассчитано авторами по материалам [Волгоградстат; Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области...]

Source: Compiled by the author based on [Volgogradstat, Activities of socially oriented non-profit organizations of the Volgograd region...]

Проанализируем отдельно динамику каждого из приведённых в таблице показателей.

Динамика показателя k_1 , отражающего число волонтеров в пересчете на 1000 человек населения, возрастало в период 2017-2019 гг. Прирост в данном периоде составил 17,9%. Следует отметить, что в 2019 году максимального в периоде значения достигла и общая численность социально ориентированных некоммерческих организаций: таковая составила 3302 единицы против 2738 единиц в 2017 году (+20,6%). Последствия начавшейся в 2020 году пандемии коронавирусной инфекции оказали деструктивное влияние на положение сектора СОНКО в Волгоградской области. Так, численность его субъектов по итогам 2020 года снизилась на 15,4%, достигнув отметки в 2794 единицы и приблизившись к показателю 2017 года. При этом показатель количества волонтеров на 1000 человек населения снизился более существенно: на 28,5%. Это связано с тем, что среди ключевых причин снижения, помимо сокращения числа СОНКО, оказался также запрет на проведение массовых мероприятий. По итогам 2020 года показатель k_1 достиг отметки в 11,80 человек на 1000 населения. В последний год исследуемого периода данный индикатор снова снизился – на 7,6% относительно 2020 года, составив в итоге 10,90 человек на 1000 населения. Таким образом, значение 2021 года стало минимальным во всем исследуемом периоде.

Динамика показателя k_2 , отражающего долю сектора социально ориентированных некоммерческих организаций в валовом региональном продукте, характеризовалась восходящей тенденцией в течение всего исследуемого периода. Несмотря на то, что все значения показателя оказывались относительно невысокими, позитивная динамика свидетельствует о некотором возрастании роли СОНКО в региональной экономике. Значение последнего периода достигло отметки в 0,73%, превысив величину 2017 года на 0,06 п.п.

Динамика показателя k_3 , отражающего среднюю величину выработки сотрудника СОНКО, на протяжении всего исследуемого периода стабильно возрастала. Так, величина 2021 года, составившая 439,83 тыс. рублей, превысила показатель 2017 года на 38,3%. Основным фактором, обеспечивавшим прирост данного показателя в период 2017-2019 гг. был существенный рост объемов выручки от реализации товаров, работ и услуг: в этом периоде он составил в относительном выражении 14,6%. Существенный рост показателя k_3 в 2020 году был обусловлен главным образом снижением численности сотрудников СОНКО на 12,2% относительно 2019, поскольку величина выручки по итогам года снизилась на 1,0% относительно прошлогоднего уровня. Прирост 2021 года был обусловлен как продолжающимся снижением количества сотрудников, так и ростом выручки от реализации товаров, работ и услуг на 10,9% относительно 2020 года.

Динамика показателя k_4 , отражающего долю занятых в секторе социально ориентированных некоммерческих организаций, схожа с таковой по показателю k_1 . Максимальным в периоде значением стал показатель 2019 года (0,67%). Подобное значение было обусловлено как достижением максимального в периоде количества сотрудников социально ориентированных некоммерческих организаций (8282 человека), так и наименьшего показателя численности рабочей силы (1242,8 тыс. человек). Ситуация в 2020-2021 гг. характеризовалась иной тенденцией: абсолютное количество работников СОНКО снижалась на фоне возрастания численности рабочей силы. В 2020 году число сотрудников снизилось на 12,2% относительно прошлого года, тогда как численность рабочей силы возросла на 0,4%. Это обусловило снижение показателя k_4 на 0,09 п.п. и сохранение его на уровне 0,58% и в 2021 году.

Динамика показателя k_5 , отражающего средний объем финансирования одной социально ориентированной некоммерческой организации, возрастала на протяжении всего исследуемого периода (за исключением 2020 года). В 2017-2019 гг. прирост обеспечивался преимущественно за счет общего возрастания объемов финансового обеспечения СОНКО. В период 2020-2021 г. возрастание показателя k_5 обуславливалось также снижением количества действующих социально ориентированных некоммерческих организаций. В целом, за период 2017-2021 гг. средний объем финансирования одной СОНКО увеличился на 38,7%.

Динамика показателя k_6 , косвенно отражающего степень достаточности средств для развития организации, характеризуется нестабильностью, в которой, однако, прослеживается тенденция к увеличению. В целом, данный показатель в исследуемом периоде возрос на 73,8%. Высвобождение большего объема финансовых ресурсов теоретически позволяет некоммерческим организациям обеспечивать развитие различных аспектов своей деятельности. Однако суммы, представленные в таблице, по-прежнему относительно невелики, вследствие чего их задействование в работе СОНКО априори не может привести к достижению значительного экономико-социального эффекта.

Динамика показателя k_7 , отражающего долю населения, воспользовавшегося услугами или получившего помощь со стороны СОНКО, также характеризовалась нестабильностью. Однако в ней заметна нисходящая тенденция. Пиковые значения показателя (от 17,08% до 17,47%) были зафиксированы в 2018-2019 гг. В 2020 году произошло заметное снижение показателя – до 13,11%. В 2021 году его величина несколько выросла относительно прошлого года, составив 14,26%. Из сказанного ранее можно сделать вывод, что к числу основных причин снижения относятся введение ограничений, связанных с пандемией коронавирусной инфекции, снижение количества действующих социально ориентированных некоммерческих организаций, и, как следствие – уменьшение количества работников и волонтеров СОНКО. Совокупность данных явлений оказала негативное воздействие на степень охвата населения региона услугами и помощью социально ориентированных организаций. Отметим, что показатель k_7 является одним из ключевых индикаторов востребованности населением деятельности СОНКО, и его снижение прямо свидетельствует о наличии кризисных явлений в некоммерческом секторе экономики Волгоградской области.

Динамика показателя k_8 , отражающего усредненную величину расходов, приходящихся на одного получателя услуг или помощи со стороны СОНКО региона, характеризуется наличием тенденции к возрастанию. Особенно это заметно на фоне показателей 2018-2019 гг. Вышеуказанный период характеризовался возрастанием численности граждан, получивших услуги или помощь со стороны социально ориентированных некоммерческих организаций, опережавшим рост совокупной величины расходов. Возрастание показателя k_8 в 2020-2021 гг., в свою очередь, обуславливается снижением числа получателей услуг и помощи на фоне неизменного роста объема расходов.

Обсуждение результатов исследования

Несмотря на наличие ряда позитивных тенденций, характеризующих трансформацию сектора социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области, общее состояние последнего можно характеризовать как слаборазвитое. Среди основных причин подобной оценки – низкий уровень вовлеченности населения в деятельность СОНКО (снижение численности волонтеров и их доли в общей структуре населения), недостаточный уровень охвата граждан помощью и услугами социально ориентированных организаций, невысокая эффективность управления финансовыми ресурсами. Доля сектора социально ориентированных некоммерческих организаций в ВРП Волгоградской области по итогам 2021 года составила всего 0,73%: подобная ситуация указывает на незначительную роль СОНКО в хозяйственной системе региона.

Вышеперечисленные проблемы взаимосвязаны, а потому механизм их преодоления должен быть комплексным. Специфика деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций такова, что без поддержки со стороны значительной части общества они практически обречены на неуспех: в конечном итоге, именно люди и социальные группы, ими образуемые, выступают объектом приложения сил СОНКО. Поддержка социально ориентированных некоммерческих организаций обществом невозможна без доверия со стороны его членов; а доверять человек склонен тому, что характеризуется надежностью, эффективностью и полезностью. Поскольку на сегодняшний день уровень доверия граждан СОНКО является очевидно невысоким, возникает необходимость привлечения в процесс

развития данного сектора экономики стороны, способной быть гарантом наличия у социально ориентированных организаций трех вышеперечисленных качеств. В качестве такого гаранта может выступить государство в лице органов власти и местного самоуправления. По мнению авторов, выход из положения невозможен в условиях задействования усилий исключительно самих СОНКО. Существует объективная необходимость построения принципиально новой системы управления, основанной на объединении сил государства, общества (в форме общественного совета), бизнес-среды и самих социально ориентированных НКО на базе особого Фонда обеспечения деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций (Фонд обеспечения).

К числу функций Фонда обеспечения можно отнести следующие:

1. Координационная – состоит в выявлении ключевых направлений деятельности СОНКО;
2. Контрольная – состоит в мониторинге соблюдения правовых норм СОНКО при осуществлении деятельности;
3. Обеспечивающая – состоит в финансовом и имущественном обеспечении текущей деятельности СОНКО и планируемых к реализации проектов;
4. Поддерживающая – состоит в отслеживании показателей эффективности деятельности СОНКО и разработке мер по их выявлению;
5. Маркетинговая – состоит в обеспечении продвижения проектов СОНКО, привлечении аудиторией пользователей услуг.

Передача полномочий по управлению финансовым и имущественным положением СОНКО, а также по отбору пригодных к реализации проектов социальной направленности Фонду обеспечения повлечет за собой некоторую утрату хозяйственной самостоятельности включенных в его состав СОНКО. Данный факт может рассматриваться как одна из отрицательных сторон реализации предложенного сценария. Вместе с тем, ожидаемый позитивный эффект как в социальном, так и в экологическом аспектах способен результативно компенсировать негативные и неоднозначные эффекты данного процесса.

Существует ряд причин, по которым создание дополнительной интегрирующей организации может являться наилучшим путём развития взаимодействия вышеуказанных субъектов:

- появление единой площадки для обмена мнениями относительно состояния социальной сферы региона и предложениями по его совершенствованию между представителями общества, государства, бизнеса и некоммерческого сектора экономики;
- широкие возможности определения приоритетных направлений деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций в соответствии с насущными потребностями общества;
- обеспечение контроля финансового и имущественного положения подотчетных Фонду обеспечения социально ориентированных НКО, сведение вероятности финансовой несостоятельности организаций к минимально возможному уровню;
- упрощение и повышение эффективности контроля за соблюдением социально ориентированными некоммерческими организациями законодательства в процессе осуществления деятельности.

Характер деятельности, осуществляемой социально ориентированными некоммерческими организациями, формируется с опорой на потребности общества, удовлетворение которых может быть рассмотрено в качестве основной цели функционирования организации. Обеспечение развития сектора социально ориентированных некоммерческих организаций как на федеральном, так и на региональном уровнях требует в числе прочего усиления контроля показателей эффективности их деятельности, в том числе достижения плановых показателей. Это затрагивает, например, сбор и обработку статистических данных. В настоящее время наиболее полные сведения о деятельности СОНКО предоставляются организациями в отчете по форме федерального статистического наблюдения N 1-СОНКО. Данная форма предоставляется с годовой периодичностью. По мнению авторов, целесообразной

является смена периодичности предоставления отчетов на квартальную. Анализ квартальной динамики изменения показателей деятельности СОНКО позволит, во-первых, добиться более эффективной оценки мер поддержки организаций, во-вторых – выявить сезонные факторы трансформации уровня спроса на услуги СОНКО, а, в-третьих – лучше понять потребности общества, удовлетворение которых лежит в основе деятельности СОНКО.

Заключение

Сегодня, в условиях внешних и внутренних вызовов, система управления социально ориентированными некоммерческими организациями России нуждается в существенном реформировании. Изменения, по мнению авторов, должны коснуться, прежде всего, вопросов финансирования СОНКО, а также оценки эффективности деятельности последних со стороны государства, бизнеса и общества. В этой связи в качестве наиболее эффективного способа кооперации можно рассматривать формирование региональных Фондов обеспечения деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций.

Список источников

- Волгоградстат: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области. Режим доступа: URL: <https://volgastat.gks.ru> (дата обращения: 01.03.2023)
- Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области в 2021 году : стат. обзор / Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. – Волгоград : Волгоградстат, 2022. – 88 с.
- Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области в 2020 году : стат. обзор / Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. - Волгоград : Волгоградстат 2021. – 83 с.
- Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области в 2019 году : стат. обзор / Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. - Волгоград : Волгоградстат 2020. – 95 с.
- Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области в 2018 году : стат. обзор / Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. - Волгоград : Волгоградстат 2019. – 84 с.
- Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций Волгоградской области в 2017 году : стат. обзор / Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. - Волгоград : Волгоградстат 2018. – 84 с.
- Федеральный закон от 12.01.1996 N 7-ФЗ (ред. от 19.12.2022) «О некоммерческих организациях». Режим доступа: URL https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8824/?ysclid=lg4or4nw3b412745314 (дата обращения: 01.04.2023)

Список литературы

- Водолазова Ж.М. 2021. Управление развитием социально ориентированных некоммерческих организаций в условиях становления гражданского общества. Теория и практика общественного развития, 7(161): 44-48.
- Дмитриев А.О. 2020. формировании институциональной базы гражданского общества в современной России. Общество и экономика, 4: 89-98.
- Колесников Е.И. 2017. Европейский опыт развития сектора социально ориентированных некоммерческих организаций. Государственное и муниципальное управление. Ученые записки, 2: 215-224.
- Косыгина К.Е. 2022. Некоммерческий сектор в экономике региона. Вологда : Вологодский научный центр Российской академии наук, 207 с. ISBN 978-5-93299-545-7.
- Семионкина Н.Г. 2017. Особенности правового регулирования общественного призрения в Российской Империи. Вестник МГПУ. Серия: Юридические науки, 4(28): 124-129.
- Соколов А.Р. 2006. Благотворительность в России как механизм взаимодействия общества и государства: Начало XVIII – конец XIX века: Диссертация на соискание ученой степени доктора исторических наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 725 с.
- Чернышов А.Н. 2018. Взаимодействие государства и НКО: возможности, механизмы, проблемы и пути их решения. Управленческое консультирование, 10(118): 89-98.

Шабунова А.А. 2019. Проблемы государственного управления развитием некоммерческого сектора на региональном уровне Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 12(4): 86-103.

References

- Vodolazova Zh. M. 2021. Upravlenie razvitiem social'no orientirovannyh nekommercheskih organizacij v usloviyah stanovleniya grazhdanskogo obshchestva [Management of the development of socially oriented non-profit organizations in the conditions of the formation of civil society]. *Theoria i praktika obshchestvennogo razvitiya*, 7(161): 44-48.
- Dmitriev A. 2020. O formirovanii institucional'noj bazy grazhdanskogo obshchestva v sovremennoj Rossii [On the formation of the institutional base of civil society in modern Russia]. *Obshchestvo i ekonomika*, 4: 89-98.
- Kolesnikov E.I. 2017. Evropejskij opyt razvitiya sektora social'no orientirovannyh nekommercheskih organizacij [European experience in the development of the sector of socially oriented non-profit organizations]. *Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie. Uchenye zapiski*, 2: 215-224.
- Kosygina K.E. 2022. Nekommercheskij sektor v ekonomike regiona [Non-profit sector in the region's economy]. Vologda, Vologodskij nauchnyj centr Rossijskoj akademii nauk, 207 p. ISBN 978-5-93299-545-7.
- Semionkina N.G. 2017. Osobennosti pravovogo regulirovaniya obshchestvennogo prizreniya v Rossijskoj Imperii [Features of legal regulation of public charity in the Russian Empire]. *Vestnik MGPU. Seriya: Yuridicheskie nauki*, 4(28): 124-129.
- Sokolov A.R. 2006. Blagotvoritel'nost' v Rossii kak mekhanizm vzaimodejstviya obshchestva i gosudarstva: Nachalo XVIII – konec XIX veka [Charity in Russia as a mechanism of interaction between society and the state: The beginning of the XVIII – the end of the XIX century]. Dissertation for the degree of Doctor of Historical Sciences. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 725 p.
- Chernyshov A.N. 2018. Vzaimodejstvie gosudarstva i NKO: vozmozhnosti, mekhanizmy, problemy i puti ih resheniya [Interaction of the state and NGOs: opportunities, mechanisms, problems and ways to solve them]. *Upravlenskoe konsul'tirovanie*, 10(118): 89-98.
- Shabunova A.A., Kosygina K.E. 2019. Problemy gosudarstvennogo upravleniya razvitiem nekommercheskogo sektora na regional'nom urovne [Problems of state management of the development of the non-profit sector at the regional level]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: facti, tendencii, prognoz*, 12(4): 86-103.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Морозова Ирина Анатольевна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономики и предпринимательства факультета экономики и управления, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Дмитриев Алексей Сергеевич, аспирант, младший научный сотрудник кафедры экономики и предпринимательства факультета экономики и управления, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina A. Morozova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Economics and Entrepreneurship, Faculty of Economics and Management, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Alexey S. Dmitriev, Post-graduate Student, Junior Researcher of the Department of Economics and Entrepreneurship, Faculty of Economics and Management, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

УДК 332.1: 346.26+338.486.41
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-597-611

Методические подходы к оценке развития молодежного предпринимательства в регионе: применимость налоговой статистики

Рабцевич А.А.

Уфимский университет науки и технологий,
Россия, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32
E-mail: cruiser333@yandex.ru

Аннотация. На современном этапе укоренения геополитических проблем экономики российских регионов все больше опираются на внутренние факторы развития, к которым, безусловно, относится предпринимательская активность населения. Общеизвестно, что экономики ведущих стран мира изначально строились на этом основании, сделавшем их в итоге быстрорастущими. Несмотря на возрастающую актуальность, в российской экономической литературе данная тематика, в первую очередь – распространение предпринимательской активности среди молодого населения, как субъекта наивысшей деловой активности на перспективу, пока проработана слабо. Отдельные работы, посвященные этой теме, используют, как правило, социологический исследовательский инструментарий. Целью данной статьи является анализ возможностей оценки предпринимательской активности молодежи как экономического феномена. Рассматриваются разнообразные точки зрения ученых на способы измерения различных характеристик молодежного предпринимательства, что позволяет автору систематизировать их совокупность и выделить наиболее подходящую для непосредственной оценки состояния исследуемого феномена на региональном уровне. Далее, на основе данных налоговой статистики по муниципальным образованиям республик Башкортостан и Татарстан, впервые в отечественной научной экономической литературе проводится анализ территориального распределения самозанятых и индивидуальных предпринимателей между возрастными группами до 35 лет включительно и 36 лет и старше. Показано, что выделение и сопоставительный анализ долей молодых людей, занятых малыми формами предпринимательской деятельности, в общей численности молодого населения позволяет выявить закономерности их распределения в зависимости от типа и особенностей территории локализации. Полученные результаты вносят вклад в развитие теории региональной экономики в части поиска, формализации и активизации факторов развития экономики региона.

Ключевые слова: молодежный бизнес, налогообложение, индивидуальное предпринимательство, самозанятость, муниципальное образование, Башкортостан, Татарстан

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-28-00444

Для цитирования: Рабцевич А.А. 2023. Методические подходы к оценке развития молодежного предпринимательства в регионе: применимость налоговой статистики. Экономика. Информатика, 50(3): 597–611. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-597-611

Methodical Approaches to Assessing the Development of Youth Entrepreneurship in the Region: the Applicability of Tax Statistics

Andrey A. Rabtsevich

Ufa University of Science and Technology
32 Zaki Validi, Ufa, Bashkortostan, 450076, Russian Federation
E-mail: cruiser333@yandex.ru

Abstract. At the present rooting of geopolitical problems, the economies of Russian regions are increasingly relying on internal development factors, which, of course, include entrepreneurial activity of the population. It is well known that the economies of the leading countries of the world were initially built on this basis, which eventually made them fast-growing. Despite the increasing relevance, in the Russian economic literature, this topic, first of all, about the spread of entrepreneurial activity among the young population, as a subject of the highest business activity in the future, is still poorly developed. Individual works devoted to this topic, as a rule, use sociological research tools. The purpose of this article is to analyze the possibilities of assessing the entrepreneurial activity of young people as an economic phenomenon. Various points of view of scientists on ways of measuring youth entrepreneurship different characteristics are considered, which allows the author to systematize their totality and identify the most suitable for direct assessment of the phenomenon state under study at the regional level. Further, on the basis of tax statistics on municipalities of the republics of Bashkortostan and Tatarstan, for the first time in the domestic scientific economic literature, an analysis of the territorial distribution of self-employed and individual entrepreneurs between the age groups up to 35 years and over 36 years is carried out. It is shown that the allocation and comparative analysis of the shares of young people engaged in small forms of entrepreneurial activity in the total number of young people allows us to identify patterns of their distribution depending on the type and characteristics of the localization territory. The obtained results contribute to the development of the theory of regional economics in terms of the search, formalization and activation of factors of regional economic development.

Keywords: youth business, taxation, individual entrepreneurship, self-employment, municipal formation, Bashkortostan, Tatarstan

Acknowledgements: The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation № 23-28-00444

For citation: Rabtsevich A.A. 2023. Methodical Approaches to Assessing the Development of Youth Entrepreneurship in the Region: the Applicability of Tax Statistics. Economics. Information technologies, 50(3): 597–611 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-597-611

Введение

Современную отечественную статистику в области измерения предпринимательской активности молодежи нельзя назвать отвечающей целям построения адекватной и достоверной картины состояния данного феномена на региональном уровне. Общественные оценки по данной тематике даны, как правило, в относительно редких и узкоспециализированных исследованиях. Так, согласно последнему Национальному отчету «Глобальный мониторинг предпринимательства», предпринимателями в России являются (по возрастным группам): 18-24 года – 12,2% от общей численности населения данной группы, 25-34 лет – 12,2%, 35-44 лет – 15,8%, 45-54 лет – 13,6%, 55-64 лет – 5,2% [Верховская и др., 2022, с. 49].

Понимание целесообразности выделения молодежного предпринимательства в особую категорию, имеющую принципиальное значение для социально-экономического развития региона, возникло в отечественных научных исследованиях лишь в середине 2000-х. При этом если в начальных работах молодыми предпринимателями считались лица до 30 лет, называвшиеся «ведущей социально-демографической группой в предпринимательстве» [Шаткевич,

2002, с. 3], организаторами «молодежного инновационного предпринимательства» [Ганин, 2004, с. 5–6] и субъектами «самостоятельной деловой и социальной активности» [Ахиярова, 2009, с. 8], то к середине 2010-х верхняя возрастная граница этой когорты поднимается до 35 лет [Иванова, 2013, с. 9]. Помимо этого, интересной является идея выделения внутри этой категории стадий собственного становления молодых предпринимателей, зависящих от возраста: «предварительные», «начинающие» и «устоявшиеся» – которые также необходимо учитывать в процессе исследования их активности [Петросян, 2012, с. 10–11].

Между тем, два основных методологических подхода, применяемых к оценке состояния молодежного предпринимательства (в т.ч. в практике зарубежных стран) – экономико-статистический и социологический – обладают разной степенью достоверности. Преимущество в объективности, безусловно принадлежит первому, поскольку анализ статистических показателей лишен ошибок внутреннего восприятия респондентами предпринимательской активности как сложной социально-психологической (мыслительной) деятельности человека. Общепринятая практика исследования данного вопроса определяет оба подхода как самостоятельные [Смирнов и др., 2020, с. 108–114; Табачникова, Винокурова, 2018, с. 60–79], но, в то же время, социологический применяется в подавляющем большинстве работ [Борис и др., 2021, с. 3–9; Ильиных, 2015, с. 381–387; Мартынова, Сазонова, 2018, с. 843–858]. Связано это, в первую очередь, с тем, что опросы позволяют более точно понять различные характеристики конкретных групп молодых предпринимателей, которые недоступны при анализе обобщенной статистики: их мотивации (финансовые, ценностные и пр.), проблемы (административные, компетентностные и пр.) и другие аспекты [Сорокин и др., 2021, с. 22–31; Астратова и др., 2022, с. 794–815].

Так, например, Ю.В. Черевко, рассматривая две возрастных группы – от 18 до 34 лет и от 35 до 64 лет, анализирует различные аспекты их отношения к бизнесу: возможности и мотивации к открытию, причины прекращения или изначального нежелания, приоритетность по сравнению с работой по найму и т.д. При этом отмечается, что молодежная группа обладает как большей предпринимательской активностью, так и более убедительными намерениями по открытию собственного дела, поскольку «молодым специалистам труднее, чем представителям старшей группы, найти хорошо оплачиваемую работу» [Черевко, 2011, с. 102].

Социологические исследования в области молодежного предпринимательства, как было указано ранее, в большей степени, чем статистический анализ, направлены на выявление факторов ее развития и причинно-следственных связей ее текущего состояния. Однако для целей качественной оценки состояния молодежного предпринимательства на уровне отдельных регионов необходимо опираться на работы экономического профиля.

В данном контексте в первую очередь стоит отметить работу С.Ю. Богдановой, предложившей осуществить такую оценку через измерение совокупных эффектов хозяйственной деятельности субъектов молодежного предпринимательства в региональной экономике. Авторская методика включает в себя годовую динамику приростов таких показателей деятельности субъектов молодежного предпринимательства как объем поступления налоговых платежей в региональный бюджет и экономия бюджетных средств за счет эффективности их деятельности, объем выпуска инновационной продукции и вклад в валовый региональный продукт, а также средний уровень доходов занятых в рассматриваемой сфере [Богданова, 2014, с. 17–18].

М.С. Соколов и соавторы оперируют понятием «молодежное инновационное предпринимательство» и указывают, что оно осуществляется «гражданами в возрасте от 14 до 35 лет, а также юридическими лицами – субъектами МСП, средний возраст штатных работников которых, а также возраст руководителя не превышает 35 лет либо в уставном (складочном) капитале которых доля вкладов лиц не старше 35 лет превышает 75%» [Соколов и др., 2022, с. 136]. Авторы предлагают систему показателей оценки развития такого вида молодежного предпринимательства, среди которых выделяются количество его субъектов (включая индивидуальных предпринимателей) в расчете на 1 тысячу человек населения,

объем средств, направленных государством на их поддержку, объем привлеченных в данный сегмент кредитных средств, доля молодежи в общем числе субъектов малого бизнеса, доля занятых в секторе молодежного предпринимательства относительно количества занятых в возрасте до 35 лет по экономике в целом; доля соответствующих образовательных программ в общем объеме образовательных программ, а также количество физических лиц в возрасте до 35 лет, завершивших обучение по образовательным программам, развивающим бизнес-компетенции, и др. [Соколов и др., 2022, с. 141]

В свою очередь, «молодежное технологическое предпринимательство», выступающее, по И.В. Корчагиной, как более узкое понятие по отношению к «инновационному» и олицетворяющее «создание (разработку), коммерциализацию и экономическую реализацию готовой технологии в той или иной сфере» [Корчагина, 2019, с. 97], может измеряться на региональном уровне посредством таких показателей как численность обученных компетенциям по технологическому предпринимательству, количество мероприятий по технологическому предпринимательству и т.д. [Корчагина, 2019, с. 100]

Е.В. Мезенцева оценивает общее развитие молодежного предпринимательства и его роль в экономике региона посредством ряда показателей: «Число занятой молодежи в индивидуальном предпринимательстве, чел.», «Доля молодых предпринимателей в общей численности молодежи, %», «Доля молодых предпринимателей в общей численности индивидуальных предпринимателей, %», «Темпы роста (снижения) числа молодых предпринимателей, в % к предыдущему году», а также «Объем произведенных товаров и оказанных услуг молодыми предпринимателями, млн. руб.» [Мезенцева, 2009, с. 10–11].

Е.В. Мезенцевой предложена методика комплексной оценки социально-экономического развития предпринимательства в молодежной среде, в совокупности показателей которых выделяются «Доля занятых в сфере молодежного бизнеса в общей численности занятой молодежи, %», «Производительность труда в сфере молодежного предпринимательства, тыс. руб./чел.», «Коэффициент участия молодых предпринимателей в производстве валового регионального продукта», «Доля товаров, работ (услуг), произведенных молодыми предпринимателями в общем объеме производства индивидуальных предпринимателей, %», «Соотношение величины дохода в сфере индивидуального предпринимательства с величиной прожиточного минимума, %» [Мезенцева, 2009, с. 18–19].

И.М. Богданова проводит оценку развития и обеспечения конкурентоспособности молодежного предпринимательства с учетом отраслевой специфики через динамику числа официально зарегистрированных организаций соответствующего профиля, в том числе функционирующих на принципах ГЧП, количества реализованных данными организациями инновационных проектов и уровня занятости в сфере молодежного предпринимательства [Богданова, 2021, с. 17–19].

Эффекты для развития молодежного предпринимательства в регионе Е.П. Ерошенко измеряет через показатели уровня безработицы, численности студентов и малых предприятий на 10 тысяч человек населения, а также реализации образовательных программ по развитию предпринимательских компетенций [Ерошенко, 2021, с. 13–15]. А.Н. Газетов акцентирует внимание на объемах начальной финансовой поддержки молодежного предпринимательства и инфраструктурной насыщенности экосистемы его дальнейшего развития в регионах как ключевых факторах активизации молодежного бизнеса [Газетов, 2018, с. 49–61].

С.В. Дорошенко и А.Г. Шеломенцев оценивают наличие положительной связи между численностью молодежи (возраст от 20 до 34 лет) и количеством субъектов малого предпринимательства на основании того, что «именно молодое население как креативное и рискоориентированное сообщество, стремящееся к финансовой независимости, вносит значимый вклад в развитие малого предпринимательства» [Дорошенко, Шеломенцев, 2019, с. 1119]. Сделан вывод о том, что численность молодого населения особенно сильно влияет на развитие индивидуального предпринимательства: при ее увеличении на 1% количество субъектов малого бизнеса также увеличивается в среднем на 1% [Дорошенко, Шеломенцев,

2019, с. 1122]. Авторы указывают, что поддержку молодежного предпринимательства в регионах необходимо переориентировать с федеральных субсидий на формирование собственных внутрирегиональных программно-целевых документов с соответствующим финансированием, что позволит предотвратить отток инициативной молодежи и закрепить ее на местах в структурах малого бизнеса [Дорошенко, Шеломенцев, 2019, с. 1123].

В отечественной практике программно-целевого управления вопросы оценки и контроля развития молодежного предпринимательства пока также не получили серьезного развития. Отдельные показатели, затрагивающие данную тематику, встречаются крайне редко, например, в Государственной программе «Экономическое развитие и инновационная экономика» присутствует «Доля субъектов малого и среднего предпринимательства, созданных физическими лицами в возрасте до 25 лет включительно, в субъекте Российской Федерации в общем количестве субъектов малого и среднего предпринимательства в субъекте Российской Федерации». Кроме того, например, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере производит учет количества инновационных проектов молодых исследователей в рамках вовлечения молодежи (в возрасте до 30 лет) в инновационное предпринимательство.

Таким образом, анализ различных точек зрения на возможности оценки развития молодежного предпринимательства в экономике региона показал, что уровень такого развития можно измерять посредством системы показателей, формирующих три «последовательные» их группы – затраты, состояние, результативность (рис. 1).

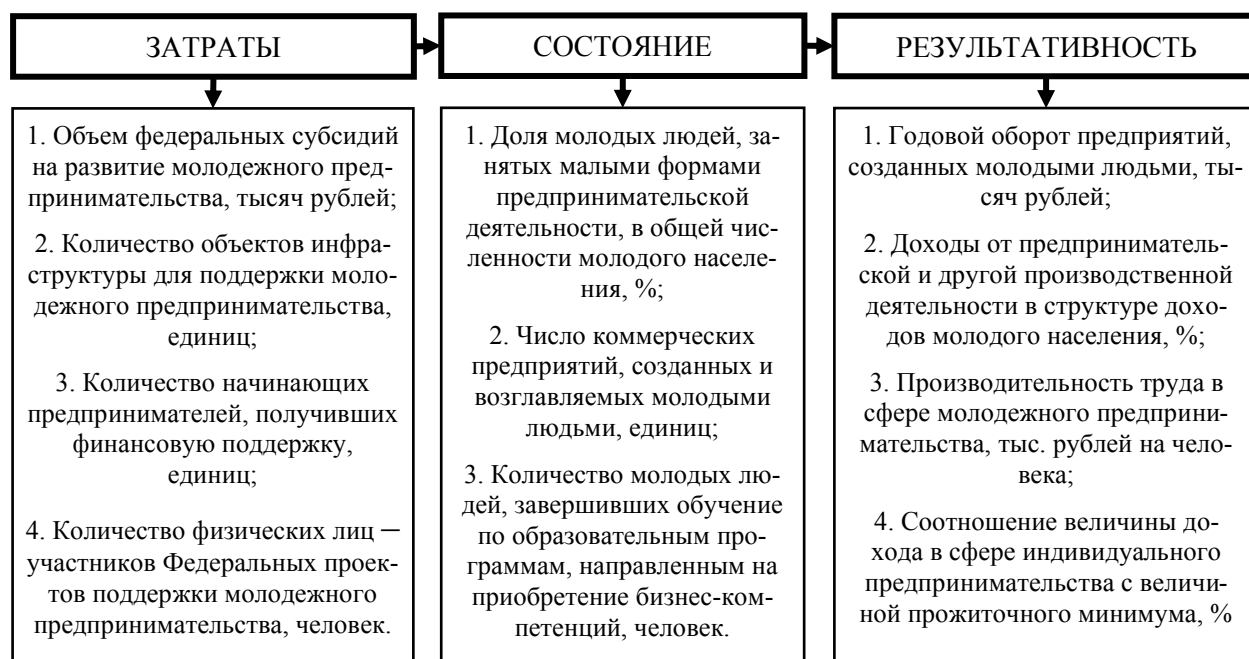


Рис. 1. Система показателей, характеризующих уровень развития молодежного предпринимательства на региональном уровне (в порядке убывания значимости)

Fig. 1. A system of indicators characterizing the level of youth entrepreneurship development at the regional level (in descending order of importance)

Объекты и методы исследования

Одним из наиболее достоверных показателей, однозначно характеризующих развитие молодежного предпринимательства в регионе, является показатель численности молодых людей, осуществляющих предпринимательскую деятельность в различных организационно-правовых формах. Для российских условий наиболее массовыми формами выступают самозанятость и индивидуальное предпринимательство, которые имеют подавляющее численное преимущество по сравнению с количеством коммерческих предприятий. В отечественной официальной статистике по данному направлению в разрезе возрастов не выделяются даже обобщенные данные. В связи с этим автором использованы внутренние ведомственные данные Управлений Федеральной налоговой службы Российской Федерации по

Республике Башкортостан и Республике Татарстан на 1 февраля 2023 года в разрезе муниципальных образований, позволяющие провести исследование территориального распределения самозанятых и индивидуальных предпринимателей между возрастными группами:

1. Количество плательщиков налога на профессиональный доход (НПД), в том числе в возрасте до 35 лет, 36 и старше;

2. Количество зарегистрированных индивидуальных предпринимателей (ИП), в том числе в возрасте до 35 лет, 36 и старше [Рабцевич, 2023, с. 79–88].

Данные по Республике Башкортостан представлены по 54 муниципальным районам и 8 городским округам (исключая ЗАТО Межгорье), по Республике Татарстан – по всем 43 муниципальным районам и 2 городским округам. Стоит отметить, что, согласно официальной статистике отделения Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации по Республике Башкортостан, на 1 января 2023 года индивидуальных предпринимателей в регионе зарегистрировано 86524 человека. В нашей же подборке общее их количество составляет 80524 человек. По Республике Татарстан тот же контингент, соответственно, 98861 и 94356 единиц. Разница обусловлена тем, что часть индивидуальных предпринимателей платят налог на профессиональный доход без смены официальной формы хозяйственной деятельности и учитываются в непосредственной статистике налоговых органов как плательщики этого налога. Кроме того, необходимо учитывать поправку на то, что налоговые органы оперируют данными о предпринимателях, реально осуществляющих хозяйственную деятельность (имеется движение денежных средств на счетах за определенный период времени), а не просто получивших регистрацию и фигурирующих в статистических сводках. Таким образом, с точки зрения достоверности выводов, получаемых на основе анализа сложившейся в республиках Башкортостан и Татарстан ситуации с предпринимательской активностью (в том числе молодежи), используемые нами данные представляются более репрезентативными.

Для дополнительной проверки используемых данных на адекватность построим график по соотношениям НПД к ИП по двум диапазонам возрастов и проранжируем их по суммарным значениям обеих групп (рис. 2).

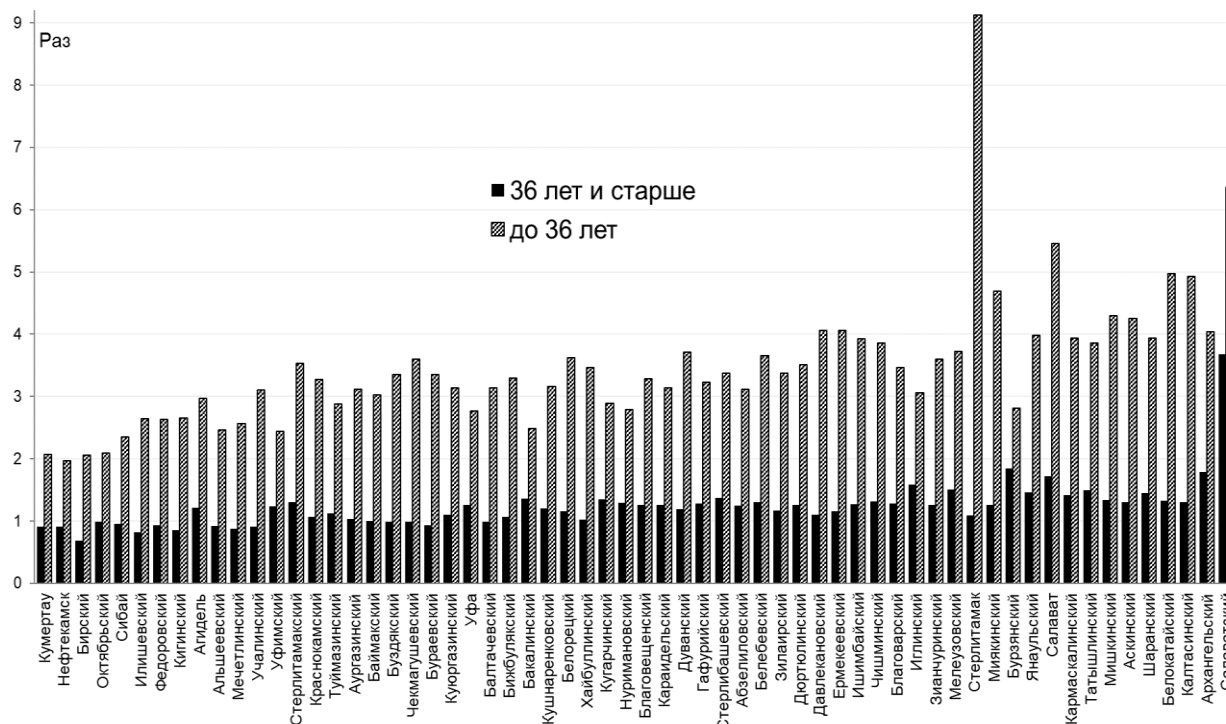


Рис. 2. Отношение количества плательщиков НПД (самозанятых) к числу ИП по соответствующим возрастным группам

в разрезе муниципальных образований Республики Башкортостан

Fig. 2. The ratio of the number of professional income tax payers (self-employed) to the number of individual entrepreneurs by corresponding age groups in the context of municipalities of Bashkortostan Republic

Исходя из рисунка можно отметить, что в Республике Башкортостан выделяются два нетипичных случая с распределением данных – по городу Стерлитамак и Салаватскому району. Первый случай можно объяснить наличием Особой экономической зоны «АЛГА», которая положительно влияет на активность самозанятых на окружающих территориях и их заинтересованность в регистрации. Второй же случай более сложный – можно предположить, что значительное превышение плательщиков НПД над ИП по обеим возрастным группам обусловлено переводом части работников местных предприятий в категорию самозанятых в целях оптимизации налоговой нагрузки. Также данные отклонения могут быть вызваны отказом от регистрации ИП в пользу НПД по каким-либо причинам, требующим отдельного анализа. Данный показатель, за исключением значений по двум обозначенным муниципальным образованиям, варьируется для молодых – от 2 (Нефтекамск) до 5,5 раз (Салават – также в непосредственной близости к ОЭЗ), для остальных – от 0,7 (Бирский район) до 1,8 раз (Бурзянский район).

В целом необходимо подчеркнуть, что наибольшей ориентацией на активность в качестве самозанятых обладают жители муниципальных районов в правой части графика – Архангельский (разница среди молодых – в 4, старших – 1,8 раз), Калтасинский (4,9 и 1,3), Белокатайский (5 и 1,3), Шаранский (3,9 и 1,4), Аскинский (4,3 и 1,3), Мишкинский (4,3 и 1,3), Татышлинский (3,9 и 1,5). В левой же части графика находятся городские округа и районы с городскими поселениями – города Кумертау (2,1 и 0,9 раз, соответственно), Нефтекамск (2,0 и 0,9), Октябрьский (2,1 и 1,0), Сибай (2,4 и 1,0), а также Бирский район с городом Бирск (2,1 и 0,7). По Республике Башкортостан среднее значение среди категории до 36 лет – 3,2 раза, 36 и старше – 1,2 раза, что характеризует большую заинтересованность регистрации молодежного бизнеса в форме самозанятости, а не индивидуального предпринимательства.

Для Республики Татарстан также характерна ситуация с выделением Особой экономической зоны, которой для Елабужского района выступает «Алабуга», со значительным превышением среднерегиональных соотношений (рис. 3).

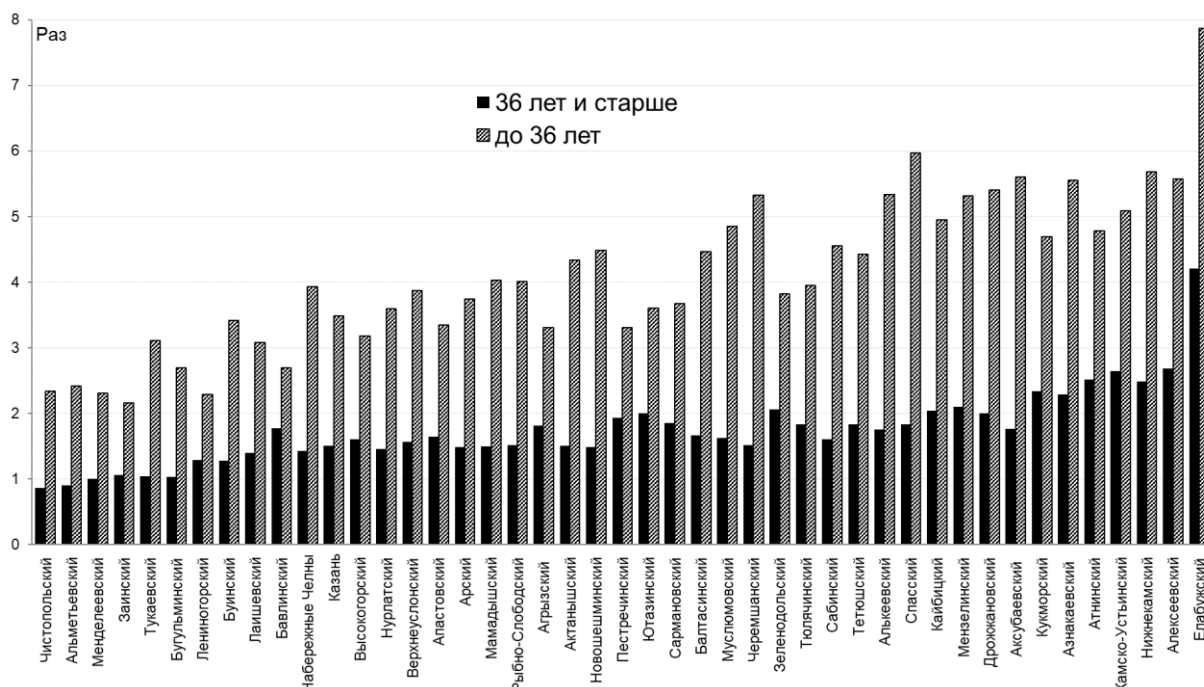


Рис. 3. Отношение количества плательщиков НПД (самозанятых) к числу ИП по соответствующим возрастным группам

в разрезе муниципальных образований Республики Татарстан

Fig. 3. The ratio of the number of professional income tax payers (self-employed) to the number of individual entrepreneurs by corresponding age groups in the context of municipalities of Tatarstan Republic

Здесь наибольшей ориентацией на самозанятость обладают муниципальные районы в правой части графика – Алексеевский (разница среди молодых – в 5,6, старших – 2,7 раз), Нижнекамский (5,7 и 2,5, в непосредственной близости от ОЭЗ), Камско-Устьинский (5,1 и 2,6), Атинский (4,8 и 2,5). В левой же части графика находятся муниципальные районы с центрами – городскими поселениями: Чистопольский (2,3 и 0,9 раз, соответственно), Альметьевский (2,4 и 0,9), Менделеевский (2,3 и 1,0), Зайнский (2,2 и 1,1), Тукаевский (3,1 и 1,0), Бугульминский (2,7 и 1,0), Лениногорский (2,3 и 1,3). По Республике Татарстан среднее значение среди категории до 36 лет – 3,7 раза, 36 и старше – 1,6 раза, таким образом предпочтения в регистрации самозанятыми выражены еще более явно, чем в Башкортостане.

Результаты и их обсуждение

Далее рассмотрим собственно различия в уровне предпринимательской активности населения, проранжировав значения численности ИП на 1000 человек населения муниципальных образований Республики Башкортостан по разнице в двух возрастных группах (рис. 4).

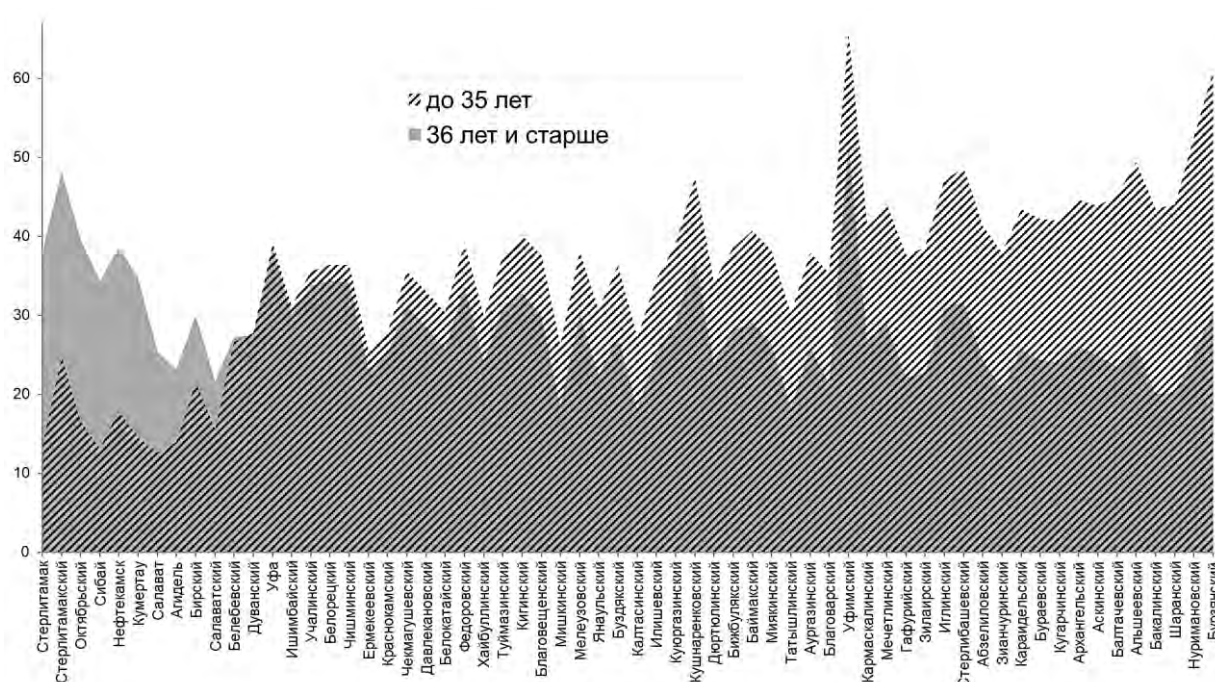


Рис. 4. Численность ИП на 1000 человек соответствующей возрастной группы в разрезе муниципальных образований Республики Башкортостан, чел.

Fig. 4. The number of individual entrepreneurs per 1000 people of the corresponding age group in the context of municipalities of Bashkortostan Republic, people

Согласно рисунку, в левой части, где предпринимательская активность в старшей возрастной группе значительно превышает ее у молодежи, сосредоточены городские округа – города Стерлитамак (среди молодых – 13,4, старших – 37,9 ИП на 1000 человек) с районом (24,7 и 48,2), Октябрьский (16,6 и 39,6), Сибай (13,1 и 34,4), Нефтекамск (17,8 и 38,6), Кумертау (14,6 и 34,8), Салават (12,7 и 25,4), Агидель (13,9 и 23,2). Низкие значения активности молодежи на территориях такого типа могут быть обусловлены наличием широких альтернативных возможностей работы по найму, даже несмотря на то, что молодежь (до 35 лет включительно), как правило, занимает большую долю в населении в сравнении со слабоурбанизированными сельскими районами, образуя более конкурентный рынок труда. С учетом присутствия тех же возможностей в Уфе (39,2 и 38,7), при прочих равных условиях, статус экономического центра региона, а значит – соответствующие возможности дохода, повышают активность в ИП, что особенно наглядно отражено в значениях по Уфимскому району (66,1 и 51,8).

Наибольшая разница в предпринимательской активности в форме ИП возрастных групп регистрируется в сельских Бурзянском (61,0 и 30,3), Нуримановском (52,5 и 25,3), Шаранском (44,0 и 20,2) районах. Среднее значение по региону – 33,3 для лиц до 35 лет включительно и 33,2 ИП на 1000 человек населения – для старшей группы.

Что касается плательщиков НПД, здесь ситуация имеет схожий характер (рис. 5). Крайне низкими значениями доли самозанятых среди молодого населения относительно средних по региону (106,9) так же обладают городские округа: Октябрьский (среди молодых – 34,8, старших – 39,1 плательщиков НПД на 1000 человек), Сибай (30,8 и 32,9), Кумертау (30,2 и 31,5), Нефтекамск (35,1 и 35,2), Агидель (41,4 и 28,2), при этом по значению показателя среди старшего населения эти территории отличаются от среднерегиональных (40,3) незначительно.

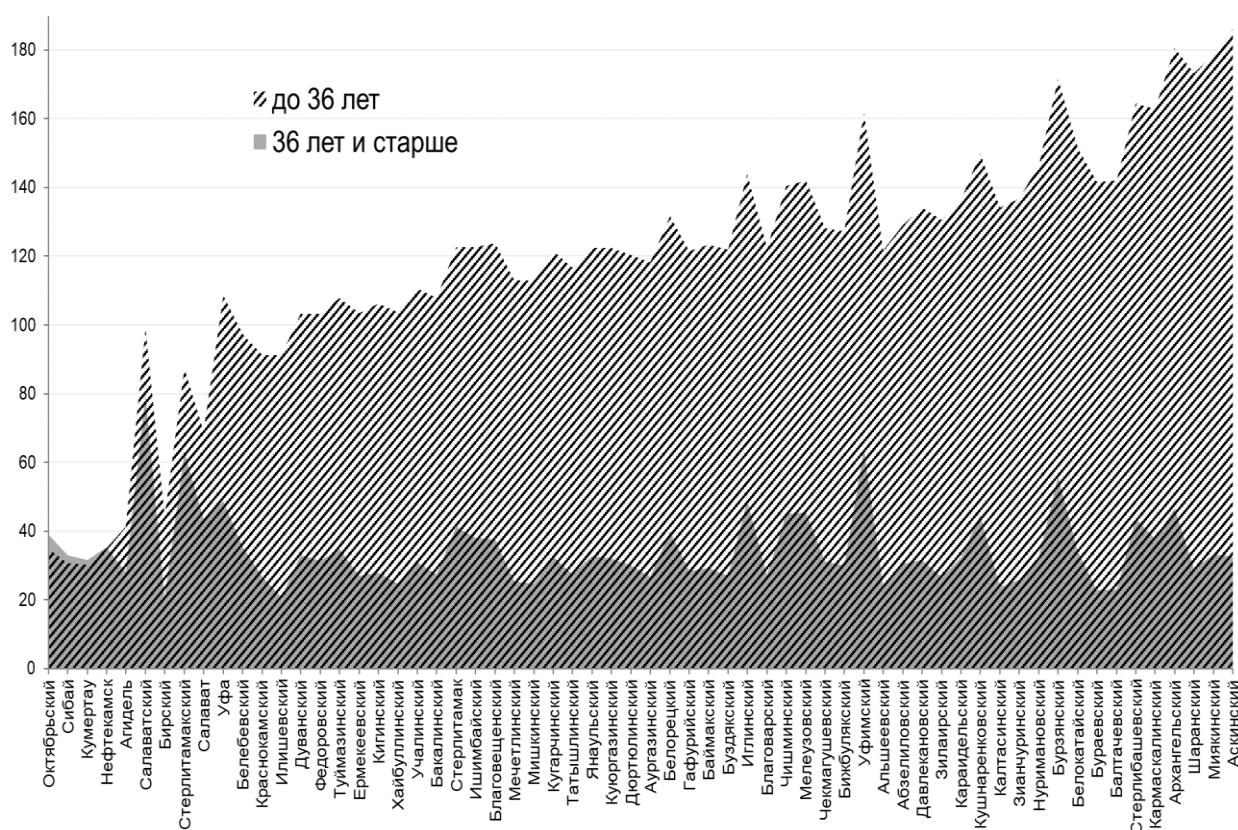


Рис. 5. Численность плательщиков НПД на 1000 человек соответствующей возрастной группы в разрезе муниципальных образований Республики Башкортостан, чел.

Fig. 5. The number of professional income tax payers per 1000 people of the corresponding age group in the context of municipalities of Bashkortostan Republic, people

Далее по возрастной разнице самозанятых находится Салаватский район с нетипичным распределением самозанятых (98,9 и 79,7), ситуация по которому рассматривалась ранее. И, наконец, Бирский (44,4 и 20,5) и Стерлитамакский (87,4 и 63,0) районы с центрами – городскими поселениями, а также городские округа Салават (69,0 и 43,7) и Уфа (108,5 и 48,8).

Наибольшую разницу демонстрируют наименее урбанизированные районы – Аскинский (186,3 и 32,5), Миякинский (178,9 и 33,1), Шаранский (173,2 и 29,1), Архангельский (180,6 и 46,6), Кармаскалинский (162,9 и 37,9), Стерлибашевский (164,5 и 43,6), Балтачевский (142,2 и 23,2) и другие, что может говорить о характере самозанятости молодежи как вынужденной мере при отсутствии рабочих мест или приемлемого уровня оплаты наемного труда.

Картина в Республике Татарстан по распространенности бизнес-активности в виде ИП среди населения старшего возраста схожая – на большинстве территорий показатель так же находится в диапазоне 20-30 единиц на 1000 человек (Рис. 6), кроме заметного превышения в Казани (53,9) и Набережных Челнах (47,6), а также примыкающих к ним районах – Тукаевском (70,7), Лаишевском (54,4), Высокогорском (47,7), Пестречинском (47,6) и Верхнеуслонском (46,5).

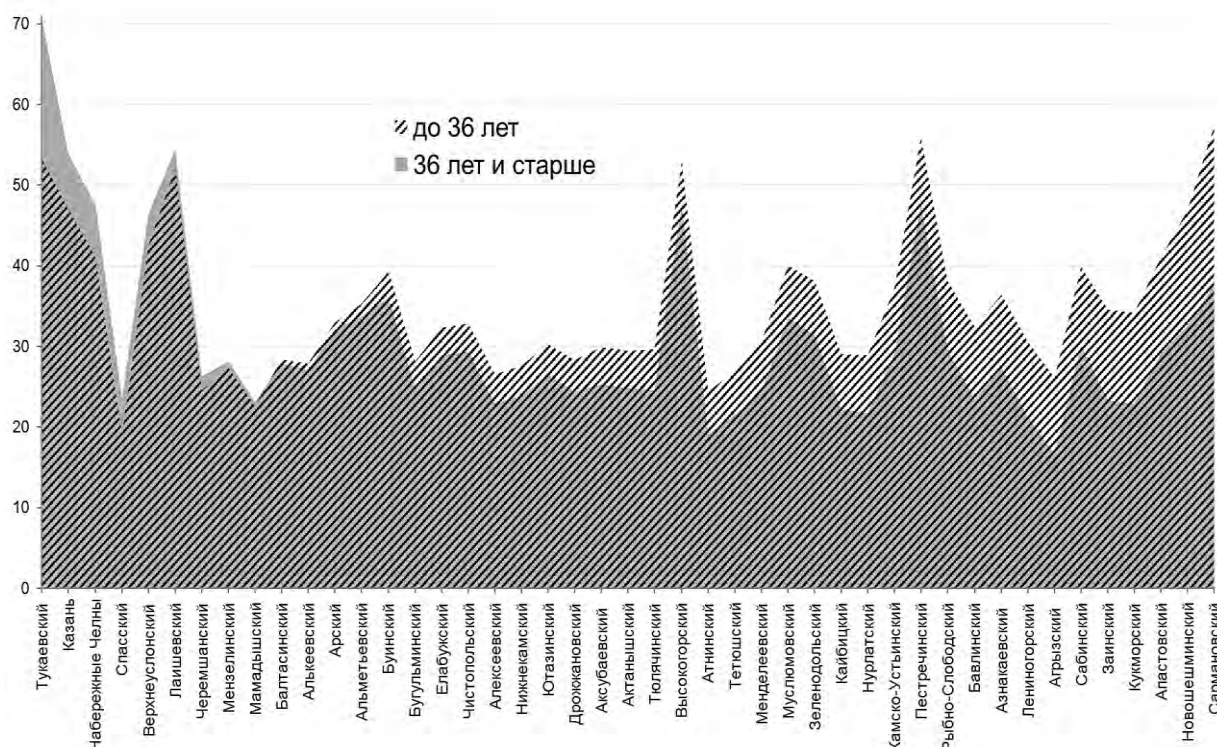


Рис. 6. Численность ИП на 1000 человек соответствующей возрастной группы в разрезе муниципальных образований Республики Татарстан, чел.

Fig. 6. The number of individual entrepreneurs per 1000 people of the corresponding age group in the context of municipalities of Tatarstan Republic, people

В Республике Башкортостан, напомним, высшими значениями обладают Уфа (38,7) и Стерлитамак (37,9) с примыкающими Уфимским (51,8) и Стерлитамакским (48,2) районами, а также крупные города Нефтекамск (38,6) и Октябрьский (39,6). Таким образом, при сохранении общей картины, в Татарстане центры деловой активности, с точки зрения рассматриваемого показателя, представляются более сконцентрированными, чем в Башкортостане. За счет данных более мощных центров в среднем по региону функционирует заметно больше ИП на 1000 человек населения: 39,8 для лиц до 36 лет и 39,9 – для старшей группы.

Явные различия между двумя регионами проявляются при сопоставлении показателей осуществления предпринимательской деятельности между возрастными группами. При сохранении тенденций более низкой активности в условиях города и высокой – в сельских районах, в Татарстане разница является не настолько существенной. Из всех муниципальных районов заметное превышение активности старшей группы присутствует только в Тукаевском районе (для категории до 36 лет – 53,4; 36 и старше – 70,7), Казани (47,1 и 53,9) и Набережных Челнах (41,1 и 47,6). Выраженной обратной ситуацией, как и в случае Башкортостана, обладают сельские территории – Апастовский (41,1 и 29,1), Новошешминский (46,9 и 32,6), Сармановский (57,3 и 37,6) районы.

При рассмотрении ситуации с плательщиками НПД в Республике Башкортостан в сопоставлении с Республикой Башкортостан выявляются как сходства, так и различия (рис. 7).

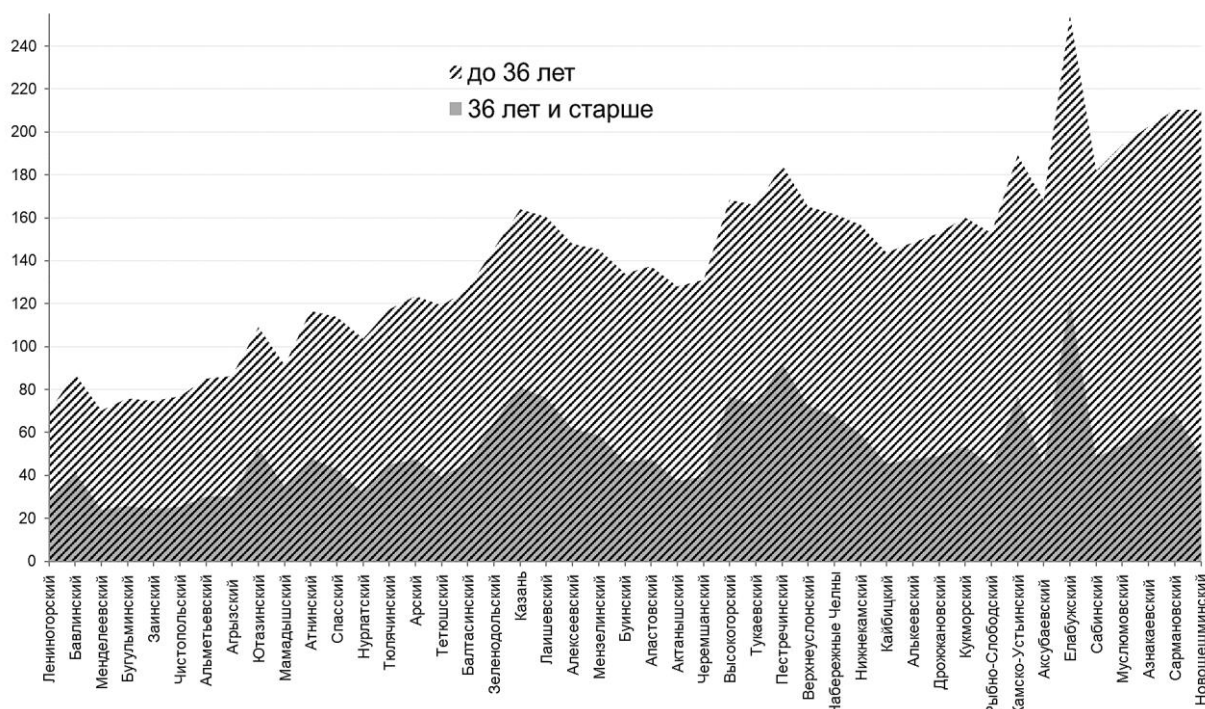


Рис. 7. Численность плательщиков НПД на 1000 человек соответствующей возрастной группы в разрезе муниципальных образований Республики Татарстан, чел.

Fig. 7. The number of professional income tax payers per 1000 people of the corresponding age group in the context of municipalities of Tatarstan Republic, people

Здесь наибольшими значениями самозанятых на 1000 населения старшего возраста ожидаемо обладают Казань (81,0) и примыкающие к ней Пестречинский (92,0), Высокогорский (76,6), Лаишевский (76,1) и Верхнеуслонский (72,6) районы, муниципальные образования, примыкающие к Набережным Челнам – Елабужский (121,9) и Тукаевский (73,4), а также слабоурбанизированный Камско-Устьинский (76,9) район, положение которого требует отдельной оценки.

Среди «аутсайдеров» по данной возрастной группе оказались муниципальные образования с городами регионального значения – Менделеевский (24,3), Зайнский (24,6), Чистопольский (25,4), Бугульминский (25,7), Лениногорский (27,4) и Альметьевский (30,2). Эти же территории, вместе со сходным Бавлинским районом, представлены в левой части графика, который характеризует наименьшую разницу в активности с группой молодых плательщиков НПД.

При сопоставлении с аналогичным графиком по Республике Башкортостан можно отметить, что для городских территорий Татарстана регионального значения нет кратного снижения предпринимательской активности среди молодежи, хотя тенденция также имеет место. Заметны также и более высокие (в 1,5 раза) значения вовлеченности жителей Татарстана в самозанятость – в среднем 148,9 на 1000 человек для молодых и 63,1 для старшего возраста.

Воздействие ОЭЗ в Татарстане выражается наивысшими для региона значениями самозанятых обеих возрастных групп в Елабужском районе – 254,3 для молодых и 121,9 для остальных. Численность же ИП на 1000 человек населения для этого района даже ниже среднерегиональных значений. В случае же Стерлитамакского района в Башкортостане влияние ОЭЗ прослеживается в виде высоких значений НПД только для старшего возраста (63,0), а для молодой группы (87,4) этот район близок к значениям городских округов. Что касается воздействия ОЭЗ на ИП, то для старшего возраста (48,2 единиц на 1000 человек), Стерлитамакский район, наряду с Уфимским (51,8), является лидером в регионе, со значительным отрывом от городских округов, однако с точки зрения активности молодых людей

(24,7) район оказывается в «аутсайдерах». Таким образом, выявленные особенности предпринимательской активности на территориях с ОЭЗ позволяют предположить о том, что они выступают драйверами трансформации муниципальных районов в городские округа с соответствующими характеристиками. Нельзя также отказываться от тезиса о существовании значительного теневого сектора среди субъектов молодежного предпринимательства в нестоличных городских округах и схожих по характеристикам муниципальных районах Республики Башкортостан.

Заключение

Выявленные особенности предпринимательской активности молодежи подтверждают определенные тренды, установленные исследователями данной тематики. Так, П.Л. Глухих и соавторы посредством полевых социологических исследований выявили, что наивысшими предпринимательскими наклонностями, обусловленными пониманием бизнеса как «неотъемлемой черты успешной жизни», обладает молодежь крупнейших городов, что было доказано нами на примере Уфы, Казани и примыкающих к ним районов (сателлитов). Однако в этих городах тотальное превосходство по удельному весу предпринимателей в контингенте молодежи сдерживается наличием на их территории «альтернатив созданию собственного бизнеса»: разнообразием работодателей, возможностями получения высшего образования и прочими способами самореализации, что «перевешивает и, в некоторой степени, нивелирует более богатую предпринимательскую экосистему большого города» [Глухих и др., 2019, с. 141–142].

В городах же меньшего размера и поселениях городского типа основной мотивацией является отсутствие иных возможностей самореализации в труде и образовании, а также ограниченность альтернативных источников дохода. При этом, согласно авторам, для города регионального значения вовлеченность молодежи в предпринимательскую деятельность в существенной мере зависит от его размера – она максимальна для городов с численностью населения от 40 до 75 тысяч человек. Тип местности в значительной степени отражается на возможностях ведения собственного бизнеса – чем меньше населенный пункт, тем больше обостряются проблемы платежеспособности населения и неразвитости инфраструктуры поддержки предпринимательства. В то же время для территорий с населением, характеризующимся низким уровнем доходов, бизнес является «попыткой выхода из сложившейся ситуации» [Глухих и др., 2019, с. 148].

Таким образом, из всей совокупности показателей, характеризующих уровень развития молодежного предпринимательства, наиболее подходящим для прямой оценки его состояния на региональном уровне выступает доля молодых людей, занятых малыми формами предпринимательской деятельности, в общей численности молодого населения. Проведенная оценка развития молодежного предпринимательства в регионе посредством количественного анализа возрастных групп индивидуальных предпринимателей и плательщиков налога на профессиональный доход позволяет выявить их территориальную локализацию, ключевые особенности распределения и отличия при выборе формы предпринимательской активности, определить системные проблемы и осуществить поиск возможностей роста в стратегической перспективе.

Список источников

- Государственная программа Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика»: Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014г. №316 (с изменениями на 28 декабря 2022 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, №18 (ч.II), 05 мая 2014 года, ст.2162
- Стратегия и бизнес-модель Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере до 2024 года и на перспективу 2030 года: Протокол Наблюдательного совета Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере от

- 30.06.2021 № 38 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: [//economy.gov.ru](http://economy.gov.ru) (дата обращения: 16 июня 2023)
- Количество индивидуальных предпринимателей по данным государственной регистрации с 2017г., (человек, всего) // Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС. Государственная статистика). URL: [//fedstat.ru](http://fedstat.ru) (дата обращения: 16 июня 2023)
- Количество хозяйствующих субъектов, учтенных в статистическом регистре (на 1 января, единиц) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан (БашкортостанСтат). URL: [//02.rosstat.gov.ru](http://02.rosstat.gov.ru) (дата обращения: 16 июня 2023)
- Численность всего населения по полу и возрасту на 1 января текущего года, человек, всего. Республика Башкортостан [Электронный ресурс] // База данных «Показатели муниципальных образований» (БД ПМО). Сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: [//rosstat.gov.ru/munstat](http://rosstat.gov.ru/munstat) (дата обращения: (дата обращения: 16 июня 2023)

Список литературы

- Ахиярова Н.В. 2009. Социально-управленческие проблемы государственной поддержки молодежного предпринимательства в Республике Башкортостан: автореферат дисс. ... канд. социол. наук. Уфа, 24 с.
- Богданова И.М. 2021. Государственное регулирование и инфраструктурное обеспечение региональной системы молодежного предпринимательства в сфере туризма: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 21 с.
- Богданова С.Ю. 2014. Организационно-экономические инструменты развития молодежного предпринимательства в регионе: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Уфа, 24 с.
- Верховская О.Р., Богатырева К.А., Дорохина М.В., Ласковая А.К., Шмелева Э.В. 2022. Национальный отчет «Глобальный мониторинг предпринимательства»: Россия 2021/2022. Санкт-Петербург, ВШМ СПбГУ, 98 с.
- Газетов А.Н. 2018. Стимулирование развития молодежного (начинающего) предпринимательства в системе поддержки малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации. Журнал российского права, 12: 49–61. DOI: 10.12737/art_2018_12_5
- Ганин А.М. 2004. Управление развитием молодежного инновационного предпринимательства в регионах Российской Федерации: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Орел, 24 с.
- Глухих П.Л., Шкурин Д.В., Воронина Л.В. 2019. Оценка социокультурных детерминант развития предпринимательской культуры молодежи. Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены, 6: 122–151. DOI: 10.14515/monitoring.2019.6.08
- Дорошенко С.В., Шеломенцев А.Г. 2019. Эконометрическая оценка численности молодежи в составе факторов развития малого предпринимательства в регионе. Экономика региона, 4: 1115–1128. DOI: 10.17059/2019-4-12
- Ерошенко Е.П. 2021. Организационно-экономический механизм развития молодежного предпринимательства на основе взаимодействия с партнерами университета: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 24 с.
- Иванова А.В. 2013. Комплексная оценка факторов развития молодежного предпринимательства в университетской среде: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 24 с.
- Корчагина И.В. 2019. Молодежное технологическое предпринимательство в экосистеме инновационного развития региона. Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета, 2: 96–103. DOI: 10.34130/2070-4992-2019-2-96-103
- Мезенцева Е.В. 2009. Социально-экономическая оценка развития предпринимательства в молодежной среде: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Ставрополь, 23 с.
- Петросян С.Г. 2012. Организационно-экономический механизм поддержки молодежного предпринимательства в России: автореферат дисс. ... канд. экон. наук. Москва, 24 с.
- Рабцевич А.А. 2023. О некоторых экономических аспектах развития молодежного предпринимательства в Республике Башкортостан. Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия «Экономика», 2: 79–88. DOI: 10.17122/2541-8904-2023-2-44-79-88
- Соколов М.С., Морозов И.В., Перегудова Е.Ю. 2022. Формирование системы индикаторов для оценки развития молодежного инновационного предпринимательства в условиях цифровизации российской экономики. Экономика, предпринимательство и право, 1: 133–148. DOI: 10.18334/epw.12.1.114136
- Черевко Ю.В. 2011. Формы и виды молодежной занятости в региональном контексте. Вестник РУДН. Серия «Социология», 4: 101–108.
- Шаткевич И.А. 2002. Нормативно-правовой механизм социального оздоровления молодежного предпринимательства: автореферат дисс. ... канд. соц. наук. Белгород, 22 с.

- Astratova G., Klimuk V., Chowdhury D., Gaikar V., Tayauova G. 2022. Innovative Youth Entrepreneurship and Growth in Market of R&D Services: a Case Study of Russian Federation and the Republic of Belarus. *YMER*, 11: 794–815.
- Boris O., Ustaev R., Nikulina A. 2021. Obstacles to the Effective Development of Russian Youth Entrepreneurship in Modern Conditions. *International Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences & Technologies*, 12: 3–9. DOI: 10.14456/ITJEMAST.2021.243
- Ilynykh S.A. 2015. Russian Youth Entrepreneurship in the Context of Three Approaches. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 4: 381–387. DOI:10.5901/mjss.2015.v6n4s4p381
- Martynova S., Sazonova P. 2018. Women as Innovative Entrepreneurs in Russia: a Sociological Research. *European Research Studies Journal*, 4: 843–858. DOI: 10.35808/ersj/1251
- Smirnov V.V., Zakharova A.N., Abramova A.G., Dulina G.S., Semenov V.L. 2020. Development of Youth Entrepreneurship in the Russian Region. *International Conference on Economics, Management and Technologies*. Paris, Atlantis Press, 108–114. DOI: 10.2991/aebmr.k.200509.021
- Sorokin P., Povalko A., Vyatskaya Y. 2021. Informal Entrepreneurship Education: Overview of the Russian Field. *Foresight and STI Governance*, 4: 22–31. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.4.22.31
- Tabachnikova O., Vinokurova N. 2018. Youth and Women Entrepreneurship in Contemporary Russia: Tendencies, Challenges and Prospects. *Youth and Women Entrepreneurship in Challenging International (Global) Business Environment. Proceedings of the Ninth International Conference*. Sophia, Bulgarian Association for Management Development and Entrepreneurship, 60–79.

References

- Akhiyarova N.V. 2009. *Sotsial'no-upravlencheskie problemy gosudarstvennoy podderzhki molodezhnogo predprinimatel'stva v Respublike Bashkortostan* [Social and managerial problems of state support for youth entrepreneurship in Bashkortostan Republic]: abstract of dissertation ... candidate sociological sciences. Ufa, 24 p.
- Bogdanova I.M. 2021. *Gosudarstvennoe regulirovanie i infrastrukturnoe obespechenie regional'noy sistemy molodezhnogo predprinimatel'stva v sfere turizma* [State regulation and infrastructure support of the regional system of youth entrepreneurship in the field of tourism]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. St. Petersburg, 21 p.
- Bogdanova S.Y. 2014. *Organizatsionno-ekonomicheskie instrumenty razvitiya molodezhnogo predprinimatel'stva v regione* [Organizational and economic tools for the development of youth entrepreneurship in the region]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. Ufa, 24 p.
- Verkhovskaya O.R., Bogatyreva K.A., Dorohina M.V., Laskovaya A.K., Shmeleva E.V. 2022. *Natsional'nyy otchet «Global'nyy monitoring predprinimatel'stva»: Rossiya 2021/2022*. [National report "Global Entrepreneurship Monitor": Russia 2021/2022]. St. Petersburg, St. Petersburg State University, 98 p.
- Gazetov A.N. 2018. Stimulating Youth (Startup) Entrepreneurship Development in the System of Support for Small and Medium-Sized Enterprises in the Russian Federation. *Journal of Russian Law*, 12: 49–61. (in Russian) DOI: 10.12737/art_2018_12_5
- Ganin A.M. 2004. *Upravlenie razvitiem molodezhnogo innovatsionnogo predprinimatel'stva v regionakh Rossiyskoy Federatsii* [Management of the development of youth innovative entrepreneurship in the regions of the Russian Federation]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. Orel, 24 p.
- Glukhikh P.L., Shkurin D.V., Voronina L.V. 2019. Assessing socio-cultural determinants of youth entrepreneurial culture. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*, 6: 122–151. (in Russian) DOI: 10.14515/monitoring.2019.6.08.
- Doroshenko S.V., Shelomentsev A.G. 2019. Econometric assessment of the number of youth as a factor of the development of small business in regions. *Economy of Region*, 4: 1115–1128. (in Russian) DOI: 10.17059/2019-4-12
- Eroshenko E.P. 2021. *Organizatsionno-ekonomicheskiy mekhanizm razvitiya molodezhnogo predprinimatel'stva na osnove vzaimodeystviya s partnerami universiteta* [Organizational and economic mechanism for the development of youth entrepreneurship based on interaction with university partners]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. Yekaterinburg, 24 p.
- Ivanova A.V. 2013. *Kompleksnaya otsenka faktorov razvitiya molodezhnogo predprinimatel'stva v universitetskoy srede* [Comprehensive assessment of the factors of youth entrepreneurship development in the university environment]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. Yekaterinburg, 24 p.
- Korchagina I.V. 2019. The youth technological entrepreneurship in the ecosystem of innovative development of the region. *Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and*

Venture Capital of Syktyvkar State University, 2: 96–103. (in Russian) DOI: 10.34130/2070-4992-2019-2-96-103

- Mezentseva E.V. 2009. Sotsial'no-ekonomicheskaya otsenka razvitiya predprinimatel'stva v molodezhnoy srede [Socio-economic assessment of entrepreneurship development in the youth environment]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. Stavropol, 23 p.
- Petrosyan S.G. 2012. Organizatsionno-ekonomicheskiy mekhanizm podderzhki molodezhnogo predprinimatel'stva v Rossii [Organizational and economic mechanism for supporting youth entrepreneurship in Russia]: abstract of dissertation ... candidate of economic sciences. Moscow, 24 p.
- Rabtsevich A.A. 2023. About some economic aspects of the development of youth entrepreneurship in Bashkortostan Republic. Bulletin USPTU. Science, education, economy. Series economy, 2: 79–88. (in Russian) DOI: 10.17122/2541-8904-2023-2-44-79-88
- Sokolov M.S., Morozov I.V., Peregodova E.Y. 2022. A system of indicators for assessing youth innovative entrepreneurship amidst digitalization in Russia. Journal of Economics, Entrepreneurship and Law, 1: 133–148. (in Russian) DOI: 10.18334/epp.12.1.114136
- Cherevko Y.V. 2011. The Forms and Types of Youth Employment in the Regional Context. RUDN Journal of Sociology, 4: 101–108. (in Russian)
- Shatkevich I.A. 2002. Normativno-pravovoy mekhanizm sotsial'nogo ozdorovleniya molodezhnogo predprinimatel'stva [Regulatory and legal mechanism of social improvement of youth entrepreneurship]: abstract of the dissertation ... candidate of sociological sciences. Belgorod, 22 p.
- Astratova G., Klimuk V., Chowdhury D., Gaikar V., Tayauova G. 2022. Innovative Youth Entrepreneurship and Growth in Market of R&D Services: a Case Study of Russian Federation and the Republic of Belarus. YMER, 11: 794–815.
- Boris O., Ustaev R., Nikulina A. 2021. Obstacles to the Effective Development of Russian Youth Entrepreneurship in Modern Conditions. International Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences & Technologies, 12: 3–9. DOI: 10.14456/ITJEMAST.2021.243
- Ilynykh S.A. 2015. Russian Youth Entrepreneurship in the Context of Three Approaches. Mediterranean Journal of Social Sciences, 4: 381–387. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n4s4p381
- Martynova S., Sazonova P. 2018. Women as Innovative Entrepreneurs in Russia: a Sociological Research. European Research Studies Journal, 4: 843–858. DOI: 10.35808/ersj/1251
- Smirnov V.V., Zakharova A.N., Abramova A.G., Dulina G.S., Semenov V.L. 2020. Development of Youth Entrepreneurship in the Russian Region. International Conference on Economics, Management and Technologies. Paris, Atlantis Press, 108–114. DOI: 10.2991/aebmr.k.200509.021
- Sorokin P., Povalko A., Vyatskaya Y. 2021. Informal Entrepreneurship Education: Overview of the Russian Field. Foresight and STI Governance, 4: 22–31. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.4.22.31
- Tabachnikova O., Vinokurova N. 2018. Youth and Women Entrepreneurship in Contemporary Russia: Tendencies, Challenges and Prospects. Youth and Women Entrepreneurship in Challenging International (Global) Business Environment. Proceedings of the Ninth International Conference. Sophia, Bulgarian Association for Management Development and Entrepreneurship, 60–79.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рабцевич Андрей Александрович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и регионального развития Института экономики, управления и бизнеса, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrey A. Rabtsevich, Ph.D. in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Regional Development, Institute of Economics, Management and Business, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 658.14; 004.942

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-612-623

Технология и модели обеспечения финансовой безопасности предприятия в условиях санкционных ограничений

Орлова Е.В.

Уфимский университет науки и технологий,
Россия, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. З. Валиди, д. 32
E-mail: ekorl@mail.ru

Аннотация. В условиях санкционных ограничений проблема управления финансовыми ресурсами промышленных предприятий, решение которой направлено на обоснованное формирование управленческих решений, обеспечивающих финансовую безопасность предприятий, является актуальной и экономически значимой. Целью исследования является разработка технологии и модели управления оборотным капиталом как части финансовых ресурсов предприятия, обеспечивающих его финансовую и экономическую безопасность. В качестве показателя эффективности управления оборотным капиталом используется рентабельность собственного капитала. Авторская технология отражает функциональные связи между функциями системы управления с учетом входной и выходной информации и позволяет обосновано формировать управленческие решения, направленные на рост рентабельности собственного капитала и обеспечить в условиях санкционных рисков его финансовую устойчивость и экономическую безопасность. Предложена имитационная модель рентабельности собственного капитала, являющаяся основой для обоснования наиболее значимых его факторов, она позволяет моделировать эффекты от предлагаемых решений, обеспечивающих требуемый уровень рентабельности и прибыли предприятия.

Ключевые слова: оборотный капитал предприятия; дебиторская задолженность; кредиторская задолженность; рентабельность собственного капитала; финансовая безопасность предприятия; имитационное моделирование; обоснование управленческих решений

Для цитирования: Орлова Е.В. 2023. Технология и модели обеспечения финансовой безопасности предприятия в условиях санкционных ограничений. Экономика. Информатика, 50(3): 612–623. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-612-623

Technology and Models for Ensuring of a Company Financial Security under Sanctions Restriction

Ekaterina V. Orlova

Ufa University of Science and Technology
32 Zaki Validi St, Ufa, Bashkortastan, 450076, Russian Federation
E-mail: ekorl@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of management decisions design in the field of financial capital of industrial companies ensuring their financial security under sanctions. We propose the technology for working capital management, which under sanctions risks, increases its financial stability and economic security of a company. Return on equity is used as an indicator of the efficiency of working capital management. The developed technology for working capital management of a company under

reducing accounts payables and accounts receivables reflects the functional relationships between the management system functions, taking into account input and output information and allows to justify management decisions aimed at improving the efficiency of a company. The designed simulation model of return on equity provides identification of the most significant factors that determine the dynamics of the working capital efficiency. The model is the basis for the management decisions development to change the elements of working capital, and also allows to model the effects of the proposed decisions with required profitability and profit. The presented set of decisions for working capital management differs from the existing ones by its complexity and providing a systemic effect from its implementation. The introduction of technology and a model for working capital management in a company would ensure its financial and economic security.

Keywords: working capital; accounts receivable; accounts payable; return on equity; financial security; simulation modeling; substantiation of management decisions

For citation: Orlova E.V. 2023. Technology and Models for Ensuring of a Company Financial Security under Sanctions Restriction. Economics. Information technologies, 50(3): 612–623 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-612-623

Введение

Финансовая безопасность предприятия, являясь одной из составляющих системы экономической безопасности, в условиях санкционных ограничений подвержена дополнительным рискам. К таким санкционным рискам можно отнести: рост стоимости кредитных ресурсов, отказ постоянных контрагентов от сотрудничества и исполнения своих финансовых обязательств, избыточный контроль за деятельностью предприятия со стороны банка (кредитора) и др. Эти специфические риски требуют особого внимания, так как негативно влияют на финансовый и оборотный капитал предприятия.

Оборотный капитал предприятия как часть его финансовых ресурсов, вовлеченных в производственную деятельность, особенно чувствителен к санкционному давлению. Оборотный капитал предприятия и политика в области его управления важны в точки зрения обеспечения непрерывности и эффективности производственной деятельности. Управление чистым оборотным капиталом предполагает оптимизацию его величины, а также определения соотношения его структурных компонент и их факторов. В качестве структурных компонентов чистого оборотного капитала традиционно выделяют производственные запасы, денежные средства, дебиторскую и кредиторскую задолженность. В данной работе будет уделено особое внимание двум последним составляющим, так как они непосредственно связаны с последствиями санкционных рисков.

Целью политики управления чистым оборотным капиталом является определение объема и структуры его компонентов, источников их покрытия и достаточного соотношения между ними для обеспечения эффективности производственной деятельности предприятия. Для решения этой задачи необходимо найти компромисс между прибылью, риском потери ликвидности и состоянием компонентов оборотного капитала и источников их покрытия. В работе используется показатель эффективности управления оборотным капиталом – рентабельность капитала.

Методы экономической оценки финансовой безопасности хорошо известны и описаны в специальной литературе [Гаджиев, 2021; Глиневич, 2022; Алимханова, 2022; Орлова, 2016]. Они могут применяться как отдельно, так и в комбинации друг с другом. Эти методы можно объединить в следующие укрупненные группы:

- методы статистической оценки динамики финансовых индикаторов, характеризующих тенденции изменения показателей. Метод не отражает в стоимостном выражении возможную величину ущерба предприятия от наступления рискованного события;

- методы сопоставления фактических уровней показателей с нормативными значениями. На основе отклонений можно идентифицировать степень финансовой безопасности предприятия;

- методы, базирующиеся на применении среднеотраслевых показателей. В эту же группу можно отнести метод Data Envelopment Analysis (DEA) как аналитический инструмент для оценки относительной эффективной деятельности группы однородных предприятий. Используется при наличии данных о состоянии рынка и конкурентов;

- методы, основанные на эмпирической и/или экспертной оценке величин возможных ущербов в результате наступления рисков событий.

Для обеспечения финансовой безопасности предприятию следует осуществлять непрерывную оценку его производственной деятельности, после чего формировать несколько сценариев антирисковых воздействий. К направлениям аналитической работы относятся: а) детальный анализ загрузки производственных мощностей, уровня технической оснащенности производства, качества производимой продукции; б) мониторинг человеческих ресурсов, в том числе на предмет выявления рисков недобросовестных и мошеннических действий; в) мониторинг финансового состояния, проводить анализ технико-экономических и финансовых показателей; г) оценку финансового левереджа (соотношения собственных и заемных ресурсов); д) оценку операционного левериджа (соотношения прибыли и выручки) и проводить мониторинг точки безубыточности реализуемой продукции; е) оценку динамики кредиторской и дебиторской задолженности.

Объекты и методы исследования

Самостоятельность предприятий в принятии финансовых решений предполагает привлечение финансовых ресурсов из различных источников и формирование приемлемой структуры капитала [Muthuraman, 2021; Барков, 2022; Surahio, 2023]. Потребность в источниках финансирования возникает у предприятия на всех стадиях жизненного цикла. Поэтому проблема выбора способов и форм мобилизации финансовых ресурсов, оценки их приемлемости, управление структурой капитала приобретает первостепенное значение.

Целью исследования является разработка технологии и модели управления оборотным капиталом предприятия, обеспечивающих его финансовую и экономическую безопасность. Апробация технологии осуществляется на крупнейшем предприятии по производству трубопроводной арматуры, входящему в состав объединенной металлургической компании – АО «Благовещенский арматурный завод» (АО «БАЗ»). Предприятие расположено в г. Благовещенск, Республика Башкортостан.

Разработана технология управления оборотным капиталом, которая отражает поэтапный процесс управления, а также функциональные взаимосвязи между функциями системы с учетом входной и выходной информации. Технология состоит из этапов:

Этап 1. На данном этапе осуществляется детальный анализ финансово-экономической деятельности предприятия, идентифицируется уровень его финансовой устойчивости и запас финансовой прочности. Источником данных является государственный информационный ресурс бухгалтерской (финансовой) отчетности, а также данные управленческой отчетности предприятия. Методами являются техники финансового и экономико-статистического анализа. Результатами этапа являются показатели финансового состояния, финансовой устойчивости, динамика технико-экономических показателей.

Этап 2. Направлен на оценку внешней и внутренней среды предприятия в рамках формирования (модификации) финансовой и конкурентной стратегии предприятия. Источ-

никами данных являются официальные сайты конкурирующих предприятий. Методами исследования являются стратегическое позиционирование и финансового планирования. Результатом является комплекс стратегических решений, направленных на обеспечение финансовой и экономической безопасности предприятия.

Этап 3. На данном этапе реализуется имитационное моделирование факторов (финансовых, экономических), влияющих на результативность функционирования предприятия – показатели прибыли, рентабельности.

Этап 4. Нацелен на разработку управленческих решений по воздействию на отдельные элементы финансовых ресурсов. Реализуется оценка экономической эффективности решений.

На этапе 5 осуществляется реализация управленческих решений.

Результаты и их обсуждение

Анализ финансовых показателей деятельности предприятия

Анализ проводится на базе метода статистической оценки динамики финансовых индикаторов, а также метода сопоставления фактических уровней показателей с нормативными значениями. Результаты финансово-экономической деятельности АО «БАЗ» за последние три года (2020-2022 гг.) характеризуются следующим.

Основная (производственная) деятельность за 2022 год является прибыльной. Эффективность основной деятельности (рентабельность продаж) составила 5,7 %. По сравнению с 2021 годом, который явился убыточным, валовая прибыль в 2022 году выросла под влиянием опережающего темпа роста выручки (на 67 %) к темпу роста стоимости реализованной продукции (27 %). Сопоставление динамики рентабельности всех операций (по чистой прибыли) и оборачиваемости активов показывает некоторое снижение этих показателей за исследуемый период, что свидетельствует о негативных изменениях в финансовом состоянии предприятия.

Рентабельность собственного капитала (эффективность вложений собственных средств) на протяжении анализируемого периода положительная, но к концу периода снизилась. Рентабельность привлеченного капитала тоже имеет тенденцию к снижению, что характеризует уменьшение прибыли с одного рубля привлеченного капитала.

Краткосрочная дебиторская задолженность в 2021 году по сравнению с 2020 годом снизилась на 20 %, а в 2022 году по отношению к 2021 году – на 1 %. Оборачиваемость дебиторской задолженности за два последних анализируемых периода времени снизилась, длительность оборота составила 65 дней, то есть у предприятия есть проблемы со своевременной оплатой заказов со стороны дебиторов (покупателей и заказчиков), доля их задолженности в общей величине составляет 70 % (по состоянию на 2022 год).

Краткосрочная кредиторская задолженность предприятия увеличилась на 77 % в 2022 году. В ее структуре 25 % составляет задолженность перед поставщиками и подрядчиками. Оборачиваемость кредиторской задолженности не превышала 180 дней. Это означает, что сроки выполнения обязательств у предприятия еще не истекли и у него достаточно ресурсов, чтобы погасить свою кредиторскую задолженность.

Применение инструментов стратегического анализа для формирования финансовой и конкурентной стратегии предприятия

Общая конкурентная стратегия предприятия определяет степень «агрессивности» поведения по отношению к основным конкурентам, а также допустимый уровень экономиче-

ского риска [Боев, 2020; Бонне, 2018]. Часто используются четыре альтернативы конкурентной стратегии [Исмагилова, Орлова, 2005]: стратегия ограниченного роста, стратегия быстрого роста, стратегия сокращения и стратегия сочетания. В данной работе используется матрица стратегического позиционирования для выбора и обоснования конкурентной стратегии предприятия чёрной металлургии по производству задвижек энергетических. Основными конкурентами по производству задвижек энергетических в РФ являются предприятия, производящие более 80 % всей продукции. Это АО «БАЗ», АО «Энергомаш» («ЧЗЭМ») и ООО «ПромАрм».

Лидером по производству задвижек энергетических является АО «БАЗ», на долю которого приходится 39 % рынка трубопроводной арматуры, вторую позицию занимает ООО «ПромАрм» – 26%, далее следует АО «ЧЗЭМ» – 21%. Оценим индекс концентрации, таблица 1.

Таблица 1

Table 1

Градация количественных осей индекса концентрации рынка задвижек
Quantitative axes gradation for the valve market concentration index

Интервал значений, %	Ось «Уровень концентрации рынка»	Ось «Рыночная доля АО «БАЗ»	Ось «Рыночная доля ООО «ПромАрм»	Ось «Рыночная доля АО «ЧЗЭМ»
0-25				Низкая
25-50		Средняя	Средняя	
50-75				
75-100	Высокий			

Последний интервал значений 75-100 % позволяет идентифицировать предприятие как лидера с высоким значением рыночной доли. Для более глубокого анализа рентабельности и темпов роста рынка сформируем таблицу 2.

Таблица 2

Table 2

Градация количественных осей темпа роста рынка
и рентабельности продаж и их качественная характеристика по предприятиям
Quantitative axes gradation for the market growth rate
and profitability and their qualitative characteristics by enterprises

Ось «Темп роста рынка»		Ось «Рентабельность активов»			
Изменение, %	Качест. хар-ка	Изменение, %	Качественная характеристика		
			АО «БАЗ»	ООО «ПромАрм»	АО «ЧЗЭМ»
Меньше 0		Нет		Отсутствует	
0-10		0-15	Низкая		Низкая
10-20		15-30			
Более 20	Высокий	Свыше 30			

В соответствии с установленными значениями четырёх осей матрица стратегического позиционирования имеет вид, рисунок 1.

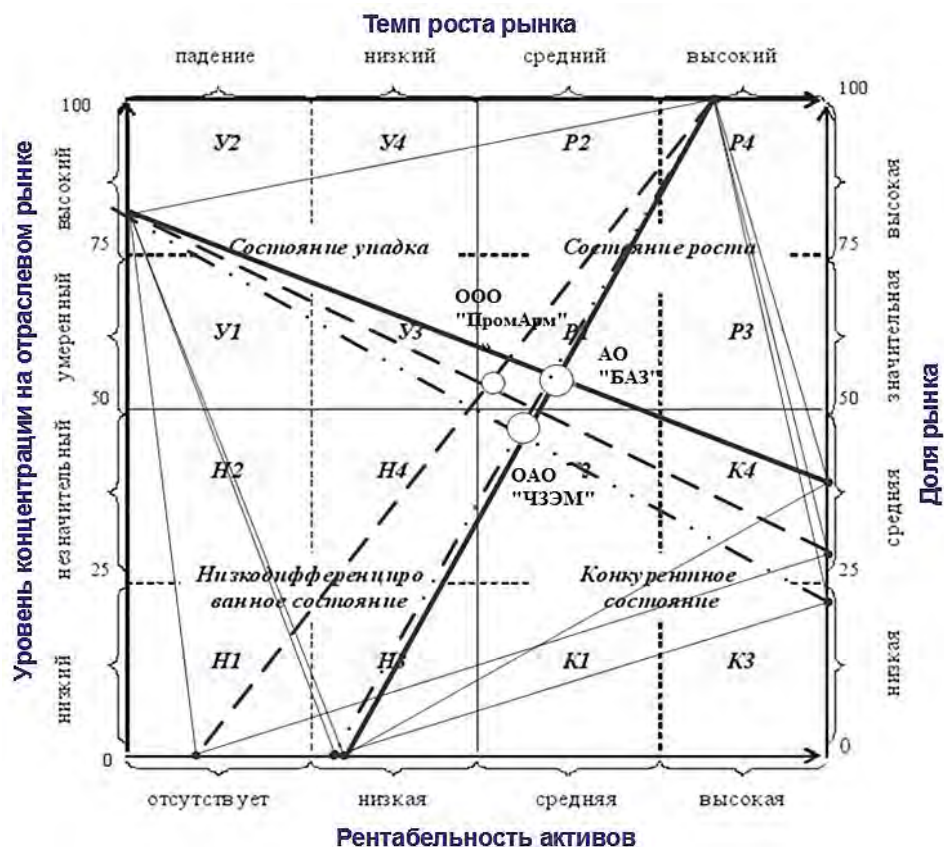


Рис. 1. Позиционирование производителей задвижек энергетических

Fig. 1. Positioning of companies manufactured of energy gate valves

Источник: составлено на основе данных финансовой отчетности предприятий

Source: compiled by the author on the basis of financial statements of enterprises

Результаты позиционирования показали, что анализируемые предприятия находятся примерно в одинаковых условиях, что усиливает конкуренцию на рынке. АО «БАЗ» находится в состоянии роста, а его стратегия может быть направлена на реализацию возможностей роста на традиционных рынках и повышение операционной эффективности, что обеспечит рост доходов.

Имитационная модель рентабельности собственного капитала

Для отражения причинно-следственных связей факторов, характеризующих финансовую и производственную деятельность предприятия, используется метод системно-динамического моделирования. Он позволяет представить зависимости параметров и характеристик системы, выражая ее структуру и функционирование [Макаров, 2013; Миксюк, 2009; Антипов, 2019]. В качестве меры прибыльности предприятия будем использовать стоимость капитала. Показателем соотношения собственного капитала и чистой прибыли является рентабельность собственного капитала предприятия (return on equity, ROE) [Орлова, 2018]. ROE является комплексным показателем эффективности функционирования, отражает, какой объем чистой прибыли предприятие получает на один рубль собственных средств.

Для оценки влияния отдельных факторов на ROE используется факторная модель Дюпона:

$$ROE = \text{рентабельность продаж} \cdot \text{оборачиваемость активов} \cdot \text{финансовый леверидж} . \quad (1)$$

Расчетные формулы для составляющих ROE:

$$\text{рентабельность продаж} = \frac{\text{чистая прибыль}}{\text{выручка}}, \quad (2)$$

$$\text{финансовый леверидж} = \frac{\text{кредиторская задолженность} + \text{заемные средства} + \text{собственные средства}}{\text{собственные средства}}, \quad (3)$$

$$\text{платежеспособность} = \frac{\text{оборотные средства}}{\text{кредиторская задолженность}}. \quad (4)$$

Имитационная модель ROE представлена на рисунке 2.

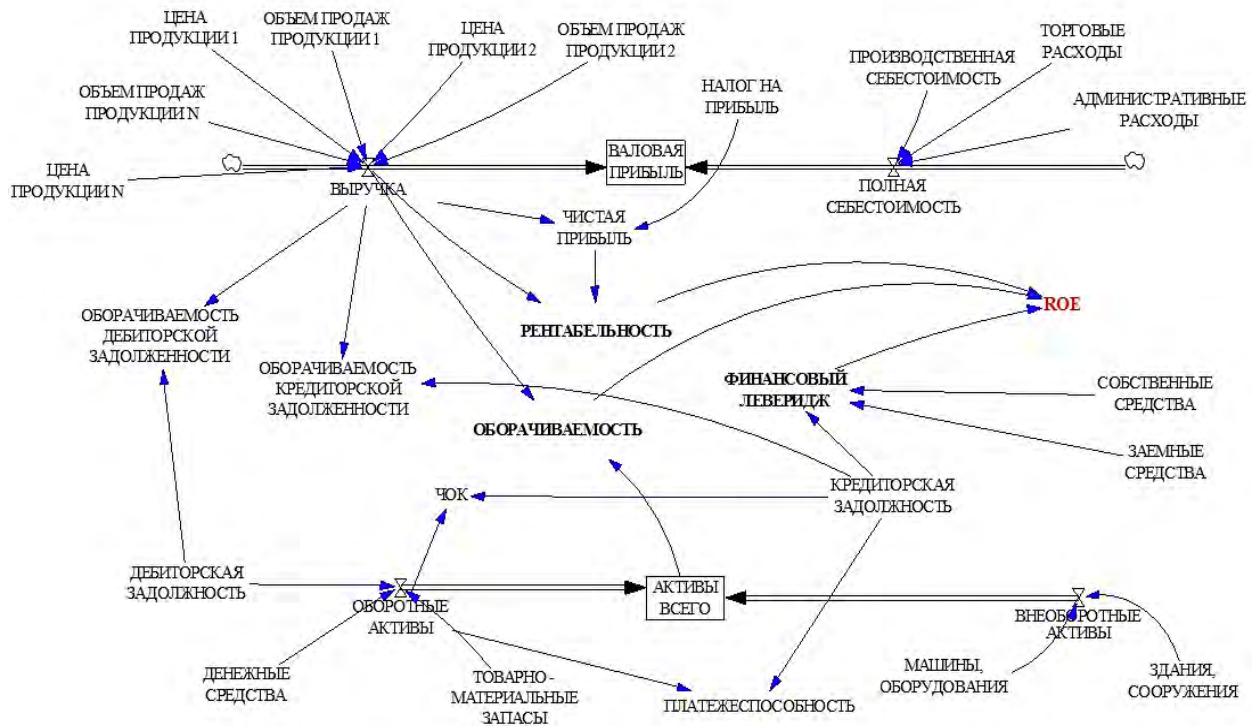


Рис. 2. Имитационная модель ROE
Fig. 2. ROE simulation model

Источник: составлено автором
Source: compiled by the author

В модели используются статистические данные о функционировании предприятия, о движении финансового капитала, рентабельности продаж, оборачиваемости активов, соотношении собственных и заёмных средств, о показателях производственно-экономической деятельности – объеме производимой продукции по видам, ценах реализации продукции, затратах на производство и реализацию продукции. Был проведен ряд имитационных экспериментов с различным сочетанием факторов и их изменением.

Выборочные результаты имитационных экспериментов по сценариям: 1) рост кредиторской задолженности на 5 %; 2) снижение кредиторской задолженности на 10 %, снижение дебиторской задолженности на 7 %; 3) рост кредиторской задолженности на 10 %; 4) снижение кредиторской задолженности на 5 %; 5) рост заемных средств на 5%; 6) рост заемных средств на 14%, снижение собственных средств 15 %, начальные значения показателей представлены в базовом сценарии (0), таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Результаты имитационных экспериментов (выборочно)
Simulation results (selection)

Моделируемый показатель	Номер модельного эксперимента (сценарий)						
	0	1	2	3	4	5	6
ROE	0,320	0,154	0,317	0,323	0,312	0,332	0,407
Рентабельность продаж	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
Оборачиваемость	3,177	3,177	3,177	3,177	3,177	3,177	3,177
Финансовый леверидж	5,995	2,883	5,946	6,044	5,972	6,220	7,619
Платежеспособность	0,037	0,035	0,041	0,034	0,039	0,037	0,037

Анализ результатов имитационных экспериментов показал, что наибольшее влияние на повышение ROE (на 0,087) оказал рост заемных средств на 14 % и снижении собственных средств на 15 % (эксперимент 6). Наибольшее влияние на снижение ROE (на 0,166) оказал рост кредиторской задолженности на 5 % (эксперимент 1). В экспериментах 2,3,4 ROE оказался менее чувствительным к изменениям факторов.

Имитационная модель ROE позволяет выявлять наиболее значимые факторы, определяющие в динамике эффективность использования капитала предприятия. Модель является основой для формирования управленческих решений по воздействию на элементы капитала, позволяет проводить оценку эффективности решений по критерию достижения требуемого уровня рентабельности и прибыли [Orlova, 2022, 2023].

Обсуждение результатов

В результате анализа связей факторов было показано, что кредиторская и дебиторская задолженность как компоненты оборотного капитала значимо влияют на снижение ROE, поэтому требуются решения по их корректировке. Большая часть дебиторской задолженности формируется за счет несвоевременной оплаты договорных обязательств потребителями. Установление с ними отношений, которые обеспечивают своевременное поступление средств для осуществления платежей кредиторам, является краеугольным камнем при управлении движением дебиторской задолженностью.

Практическое осуществление такого управления предполагает наличие информации о реальном состоянии дебиторской и кредиторской задолженности и их оборачиваемости. В качестве исходных данных для оценки должны быть приняты задолженности, относящиеся именно к данному периоду. Из балансовых остатков дебиторской и кредиторской задолженности необходимо исключать долгосрочную и просроченную, то есть те элементы, превращение которых в денежные средства относятся к другим временным периодам. Оставшаяся часть дебиторской и кредиторской задолженности является основой для оценки периодичности поступления задолженностей, достаточных для погашения кредиторской задолженности, а также балансовых остатков обоих задолженностей на конец периода при условии их оборачиваемости в соответствии с установленным порядком расчетов.

После анализа задолженностей и их оборачиваемостей сконструирован набор управленческих решений для снижения дебиторской задолженности: 1) УР(ДЗ)I – предоставление скидки 3 % при оплате через 10 дней, УР(ДЗ)II – переуступка долга факторинговой компании; УР(ДЗ)III – предоставление отсрочки платежа с надбавкой 1,5 % к цене, а также для снижения кредиторской задолженности: 1) УР(КЗ)I – оформление коммерческого кредита, 2) УР(КЗ)II – оформление банковского кредита таблицы 4,5. Совокупный эффект от внедрения решений отражен в таблице 6 (стоимостные показатели в таблицах измерены в тыс. рублей).

Таблица 4
Table 4

Управленческие решения по снижению дебиторской задолженностью
Management decisions for reduce receivables

Управленческое решение	Срок просрочки	ДЗ до УР (ДЗ ₀)	ДЗ после УР (ДЗ ₁)	ДЗ ₀ – ДЗ ₁	Затраты на УР	Доп. прибыль от УР
УР(ДЗ)I	0-30	16 240	4 872	11 368	341	473
УР(ДЗ)II	31-90	23 014	2 301	20 713	4 602	691
УР(ДЗ)III	91-180	31 093	–	31 093	–	5 286
Итого:				63 174	4 943	6 450

Таблица 5
Table 5

Управленческие решения по снижению кредиторской задолженности
Management decisions for reduce payables

УР	Срок кредита, дней	КЗ до УР	КЗ после УР	Затраты на УР
УР(КЗ)I	0-30	5 797	–	– 211
УР(КЗ)II	31-180	46 374	–	2 141
Итого:		52 171	–	1 930

Таблица 6
Table 6

Интегральная оценка эффективности внедрения управленческих решений
Assessment of the management decisions effectiveness

Управленческие решения	Затраты	Доход	Прибыль
Направление: снижение дебиторской задолженности	4 943	6 450	1 507
Направление: снижение кредиторской задолженности	1 930	6 165	4 235
Итого:	6 873	12 615	5 742

Совокупный эффект от реализации предлагаемой технологии управления оборотным капиталом на предприятии АО «БАЗ» оценивается как разница между дополнительно получаемым доходом вследствие высвобождения оборотных средств в результате исполнения предлагаемых управленческих решений по снижению дебиторской и кредиторской задолженностями и затратами на реализацию управленческих решений. Дополнительно получаемые ресурсы в виде прибыли могут быть вовлечены в процесс экономической деятельности предприятия. Эффект от реализации управленческих решений составляет 5 742 тыс. рублей, в том числе за счет применения совокупности решений по снижению дебиторской задолженности 1 507 тыс. рублей, решений по сокращению кредиторской задолженности 4 235 тыс. рублей. Управленческие решения по воздействию на другие компоненты оборотного капитала – денежные средства и производственные запасы подробно представлены в других работах [Orlova, 2019; 2020].

Заключение

На основе проведенного анализа было показано, что финансовый и оборотный капитал предприятия и его составляющие особенно чувствительны к санкционным ограничениям, которым подверглась наша страна. Сложность управления оборотным капиталом

усиливается за счет возникновения новых рисков, таких как рост стоимости кредитных ресурсов, повышенный контроль за деятельностью предприятия со стороны банка (кредитора), снижение активности или отказ постоянных контрагентов от сотрудничества и исполнения своих финансовых обязательств. При этом качество управления оборотным капиталом напрямую обеспечивает требуемую эффективность производственной деятельности предприятия, а значит и его финансовую и экономическую безопасность.

Для того, чтобы выработать обоснованные оперативные управленческие решения в части оборотного капитала предприятия, в работе предложена технология управления оборотным капиталом. Технология отражает функциональные связи между функциями системы управления с учетом входной и выходной информации и позволяет обосновано формировать управленческие решения, направленные на рост рентабельности собственного капитала и повышение эффективности функционирования предприятия в целом. Предложенная технология обеспечивает финансовую и экономическую безопасность предприятия, объединяет несколько этапов процесса принятия решений и отличается тем, что базируется на применении разнородных методов обработки экономической информации в условиях неопределенности – метода стратегического позиционирования и финансового планирования, метода имитационного моделирования, метода экономического управления финансовыми ресурсами. Технология носит универсальный характер и может быть использована на предприятиях разных видов экономической деятельности. При реализации представленной технологии на других предприятиях может изменяться состав управленческих решений в зависимости от суммы, срока оборачиваемости и срока просрочки дебиторской и кредиторской задолженностей.

Предложенная имитационная модель рентабельности собственного капитала, как показателя эффективности управления оборотным капиталом предприятия, обеспечивает выявление наиболее значимых факторов, определяющих динамику эффективности использования капитала. Модель является основой для формирования управленческих решений по изменению элементов оборотного капитала, а также позволяет моделировать эффекты от предлагаемых решений, обеспечивающих требуемый уровень рентабельности и прибыли.

Представленная совокупность решений по управлению элементами оборотного капитала предприятия (кредиторской и дебиторской задолженностями), отличается от существующих комплексностью их использования, что обеспечит системный эффект от их реализации. Внедрение технологии и модели управления оборотным капиталом на предприятии обеспечат его финансовую и экономическую безопасность.

Список источников

- Государственный информационный ресурс бухгалтерской (финансовой) отчетности. URL: <https://bo.nalog.ru/> (дата обращения 30 марта 2023 года)
Официальный сайт предприятия АО «БАЗ» URL: <https://omk.ru/factory/blog/> (дата обращения 30 марта 2023 года)
Официальный сайт предприятия АО «Энергомаш» URL: <http://zavodchzem.ru/ru/> (дата обращения 30 марта 2023 года)
Официальный сайт предприятия ООО «ПромАрм» URL: <https://www.promarm.ru/> (дата обращения 30 марта 2023 года)

Список литературы

- Алимханова А.Н., Мицель А.А. 2022. Оценка финансовой безопасности предприятий методом DEA. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 3-2: 33-38.
Антипов В.И., Митин Н.А., Пашенко Ф.Ф. 2019. Макроэкономическая имитационная модель развития мировой экономики. Препринты ИПИМ им. М.В. Келдыша, 153: 1-20.

- Барков А.В., Завьялов М. М. 2022. Концепция управления стратегическими предприятиями в условиях иностранных санкций в рамках технологического суверенитета. Правовое государство: теория и практика, 3(69): 34–40. <https://doi.org/10.33184/pravgos-2022.3.5>
- Боев А.Г. 2020. Система стратегического управления преобразованиями промышленного предприятия. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки, 1:101–113.
- Бонне Д., Маулик П. 2018. Переосмысление стратегий развития в цифровой экономике. Цифровизация. Management Review MIT Sloan. Москва, Альпина Паблишер: 23–26.
- Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Корнилович Р.А., Трофимов М.Н. 2021. Эффективность финансового сектора как важнейшее условие обеспечения экономической безопасности государства. Экономика. Информатика, 48 (2): 307–318. DOI 10.52575/2687-0932-2021- 48-2-307-318.
- Гриневич Ю.А., Ивановский С.Л. 2022. Направления устойчивого развития экономической безопасности предприятия машиностроения. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки, 1: 203–219.
- Исмагилова Л.А., Орлова Е.В. 2005. Стратегия и принятие решений. Уфа, УГАТУ, 150 с.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. 2013. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв. Москва. Экономика, 295 с.
- Миксюк С. Ф. 2009. Имитационная модель оценки влияния основных факторов на рентабельность белорусской экономики. Вестник Белорусского государственного экономического университета, 3: 29–35.
- Орлова Е.В. 2018. Модели и механизмы согласованного управления производственно-экономической системой: дис. на соискание уч. степени д-ра техн. наук. Уфа, 340 с.
- Muthuraman B., Sarhan B. 2021. Financial Performance Growth of Oman Cement Company. International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies, 2: 9–16. DOI: 10.47259/ijrebs.
- Orlova E.V. 2016. Simulation model for the firms' financial resource management. Vision 2020: Innovation Management, Development Sustainability, and Competitive Economic Growth: Proceedings of the 28th International Business Information Management Association Conference, Seville. Seville: International Business Information Management Association, 1317–1321.
- Orlova E.V. 2019. Model for operational optimal control of financial resources distribution in a company. Computer Research and Modeling, 11 (2): 343–358. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-343-358.
- Orlova E.V. 2020. Decision-Making Techniques for Credit Resource Management Using Machine Learning and Optimization. Information, 11 (3). DOI: 10.3390/info11030144
- Orlova E.V. 2022. Technique for Data Analysis and Modeling in Economics, Finance and Business Using Machine Learning Methods. IEEE Proceedings of 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), 369–374. DOI: 10.1109/SUMMA57301.2022.9973885.
- Orlova E.V. 2023. Inference of Factors for Labor Productivity Growth Used Randomized Experiment and Statistical Causality. Mathematics, 4: 863. DOI: 10.3390/math11040863
- Surahio M.K., Mahesar H.A., Baloch M.N. et al. 2023. Exploring the physical risks and security mechanisms for Chinese companies operating under the China–Pakistan Economic Corridor Project. Security Journal . <https://doi.org/10.1057/s41284-022-00363-0>

References

- Antipov V.I., Mitin N.A., Pashchenko F.F. 2019. Macroeconomic Simulation Model for the Development of the World Economy. IPM preprints im. M.V. Keldysh, 153:1–20. (in Russian)
- Alimkhanova A.N., Mitsel' A.A. 2022. Assessment of the financial security of enterprises using the DEA method. Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and technical sciences, 3–2:33–38. (in Russian)
- Barkov A.V., Zavyalov M. M. 2022. The concept of managing strategic enterprises under the conditions of foreign sanctions within the framework of technological sovereignty. Legal State: Theory and Practice, 3(69): 34–40. <https://doi.org/10.33184/pravgos-2022.3.5> (in Russian)
- Boev A.G. 2020. System of strategic management of transformations of an industrial enterprise. Scientific and technical statements of SPbSPU. Economic sciences, 1:101–113. (in Russian)
- Bonnet D., Maulik P. 2018. Rethinking Development Strategies in the Digital Economy. Digitalization. Management Review MIT Sloan. Moscow, Alpina Publisher: 23–26.

- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Kornilovich R.A., Trofimov M.N. 2021. Efficiency of the financial sector as the most important condition for ensuring the economic security of the state. *Economics. Information technologies*, 48 (2): 307–318. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-307-318.
- Grinevich Yu.A., Ivankovsky S.L. 2022. Directions for the sustainable development of the economic security of an engineering enterprise. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic sciences*, 1:203-219. (in Russian)
- Ismagilova L.A., Orlova E.V. 2005. *Strategy and decision making*. Ufa. UGATU, 150 p. (in Russian)
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R. 2013. *Social modeling - a new computer breakthrough*. Moscow. Economics, 295 p. (in Russian)
- Miksyuk S.F. 2009. Simulation model for assessing the influence of the main factors on the profitability of the Belarusian economy. *Bulletin of the Belarusian State Economic University*, 3:29-35.
- Orlova E.V. 2018. *Models and mechanisms of coordinated management of the production and economic system: dis. for an apprenticeship degree of Dr. tech. Sciences*. Ufa, 340 p. (in Russian)
- Muthuraman B., Sarhan B. 2021. Financial Performance Growth of Oman Cement Company. *International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies*, 2: 9-16. DOI: 10.47259/ijrebs.
- Orlova E. V. 2016. Simulation model for the firms' financial resource management. *Vision 2020: Innovation Management, Development Sustainability, and Competitive Economic Growth: Proceedings of the 28th International Business Information Management Association Conference*, Seville. Seville: International Business Information Management Association, 1317-1321.
- Orlova E.V. 2019. Model for operational optimal control of financial resources distribution in a company. *Computer Research and Modeling*, 11 (2): 343–358. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-343-358.
- Orlova E.V. 2020. Decision-Making Techniques for Credit Resource Management Using Machine Learning and Optimization. *Information*, 11 (3). DOI: 10.3390/info11030144
- Orlova E.V. 2022. Technique for Data Analysis and Modeling in Economics, Finance and Business Using Machine Learning Methods. *IEEE Proceedings of 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA)*, 369-374. DOI: 10.1109/SUMMA57301.2022.9973885.
- Orlova E.V. 2023. Inference of Factors for Labor Productivity Growth Used Randomized Experiment and Statistical Causality. *Mathematics*, 4:863. DOI: 10.3390/math11040863
- Surahio M.K., Mahesar H.A., Baloch M.N. et al. 2023. Exploring the physical risks and security mechanisms for Chinese companies operating under the China–Pakistan Economic Corridor Project. *Security Journal*. <https://doi.org/10.1057/s41284-022-00363-0>

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Орлова Екатерина Владимировна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры экономики предпринимательства, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

 [ORCID ID: 0000-0001-6535-6727](https://orcid.org/0000-0001-6535-6727)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ekaterina V. Orlova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Business Economics, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

 [ORCID ID: 0000-0001-6535-6727](https://orcid.org/0000-0001-6535-6727)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.932

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-624-632

Автоматизация формирования выборки изображений естественных сцен для обучения и тестирования нейронных сетей

Гусев А.В.

ООО «Техинтегратор»,
Россия, 117303, г. Москва, ул. Каховка, д. 11, стр. 1
E-mail: 9671999461@mail.ru

Аннотация. Для решения задач распознавания образов на изображениях активно применяются искусственные нейронные сети. Для их обучения необходимо подготавливать наборы размеченных данных для формирования обучающих и валидационных выборок. Формирование таких выборок «вручную» требует высокой квалификации специалистов и больших временных, а, следовательно, и материальных затрат. Данная работа посвящена формированию набора основных методов и технологий, а также созданию и апробированию архитектуры решения для автоматизированного сегментирования и аннотирования изображений естественных сцен с целью создания выборок для обучения и тестирования нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, датасет, сегментирование изображений, аннотирование изображений, обучающая выборка

Для цитирования: Гусев А.В. 2023. Автоматизация формирования выборок изображений естественных сцен для обучения и тестирования нейронных сетей. Экономика. Информатика. 50(3): 624–632 . DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-624-632

Automation of Sampling of Images of Natural Scenes for Training and Testing Neural Networks

Aleksandr V. Gusev

Limited Liability Company «Techintegrator»,
11 Kahovka St, bldg 1, Moscow, 117303, Russian Federation
E-mail: 9671999461@mail.ru

Abstract. Artificial neural networks are actively used to solve problems of pattern recognition in images. For their training, it is necessary to prepare labeled data sets for the formation of training and validation samples. The formation of such samples "manually" requires highly qualified specialists and large time and, consequently, material costs. This work is devoted to the formation of a set of basic methods and technologies, as well as the creation and testing of the solution architecture for automated segmentation and annotation of images of natural scenes in order to create samples for training and testing neural networks.

Keywords: neural networks, dataset, image segmentation, image annotation, training set

For citation: Gusev A.V. 2023. Automation of Sampling of Images of Natural Scenes for Training and Testing Neural Networks. Economics. Information technologies, 50(3): 624–632 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-624-632

Введение

Целью работы является формирование набора основных методов и технологий, а также создание и апробирование архитектуры решения для автоматизированного сегментирования и аннотирования изображений естественных сцен с целью создания выборок для обучения и тестирования нейронных сетей.

Основой для разработки автоматизированных решений по формированию указанных выборок является необходимость решать следующие проблемы:

- ручная разметка изображений (выделение элементов на изображениях, присвоение аннотации каждому элементу) является трудоемкой и высокочатной по времени процедурой. Она может занимать порядка 80% временного ресурса в рамках полного цикла разработки модели машинного обучения;

- для специализированных задач использование неподготовленных аннотаторов невозможно, потребуется нанимать специалистов в данной области, обладающих экспертными знаниями, что приведет к существенному удорожанию процедуры;

- современным подходом для осуществления разметки с необходимой точностью является перекрестная разметка [Ахметвалеев и др., 2021]. Но т.к. разметчики имеют разный уровень образования и опыта, то критерии разметки и присваиваемые метки могут быть несогласованными. Необходимость исправления возникающей несогласованности приводит к дополнительным затратам;

- «человеческий фактор» по определению обуславливает наличие ошибок при выполнении рутинных процедур с большим объемом данных.

Задача разметки образов на изображениях подразделяется на две подзадачи: выделения области интереса; классификации объекта в области интереса. Эти две подзадачи могут решаться как последовательно, так и совместно, в зависимости от применяемого метода.

На основании наших эмпирических данных, в ручном режиме пользователю требуется около 10 секунд на отрисовку ограничивающего прямоугольника вокруг объекта и выбор класса объекта из списка. В таком случае для разметки стандартного набора данных из 100 тысяч изображений с пятью объектами на каждое изображение потребуется около 1400 человеко-часов, что эквивалентно затратам равным примерно 600 тысяч рублей только на саму разметку данных. Добавление уровня контроля качества для ручной проверки каждого элемента размеченных данных увеличивает время подготовки выборки ещё примерно на 10% при условии выполнения контроля обученным пользователем, которому требуется примерно одна секунда на проверку каждой аннотации. При проведении контроля качества на основе перекрестной разметки количество потраченных ресурсов пропорционально количеству пользователей, работающих над пересекающимися задачами для достижения консенсуса.

Самыми затратными этапами разметки данных являются: разметка данных и проверка для контроля качества. Следовательно, важная задача технологии автоматической разметки – снижение времени разметки данных и проверки результатов.

Структура решения для формирования выборок изображений естественных сцен для обучения и тестирования нейронных сетей

Функционально-логическая последовательность выполнения модулей предлагаемого решения представлена на рис. 1.

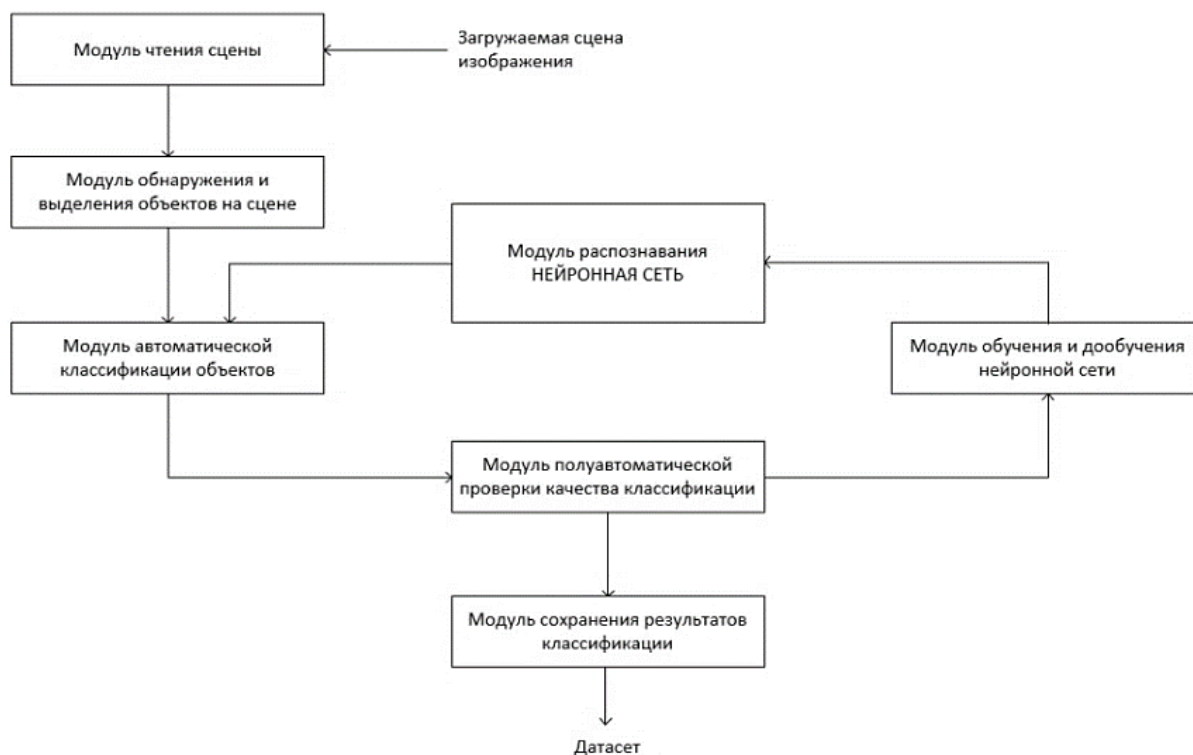


Рис. 1. Функционально-логическая последовательность выполнения модулей решения
Fig. 1. Functional-logical sequence of solution modules execution

Модуль чтения сцены отвечает за аспекты деятельности системы, не связанные непосредственно с нейронными сетями и их взаимодействием с изображениями: формальная организация изображений по проектам и датасетам, различные способы визуализации изображений и их последующая фильтрация по различным признакам, а также подготовка изображений к подаче в модули локализации и классификации.

Модуль обнаружения и выделения объектов на сцене с помощью нейронных сетей обнаруживает/сегментирует объекты на изображении и возвращает полученную информацию в модуль чтения сцены для изменения конкретного датасета изображений.

Модуль автоматической классификации объектов с помощью нейронных сетей определяет класс объекта/сущности на изображении, в случае отсутствия типов объектов, необходимых пользователю, позволяет через визуализацию результатов кластеризации присваивать классы новых типов обнаруженным объектам и возвращает полученную информацию в модуль чтения сцены для изменения конкретного датасета изображений.

Модуль полуавтоматической проверки качества классификации получает набор отдельных объектов/сущностей на изображениях вместе с классом объекта и через визуализацию позволяет скорректировать/удалить класс объекта, после чего возвращает обновленную информацию для коррекции датасета изображений.

Модуль распознавания «Нейронная сеть» создает объекты «нейронная сеть» для передачи в модули локализации и классификации, управляет реестром нейронных сетей.

Модуль обучения и дообучения нейронной сети при появлении значительного количества размеченных данных производит оптимальное (через поиск гиперпараметров) дообучение нейронных сетей на данных заказчика и возвращает полученную модель в реестр нейронных сетей.

Нейронные сети оперируют числами с плавающей точкой. Для их эффективного обучения рекомендуется использовать нормально распределенные данные, поэтому перед от-

правлением на вход нейронной сети их предварительно обрабатывают, нормализуют. Способ нормализации фактически является частью модели: при выполнении предсказаний нужно использовать тот же способ, что и при обучении.

С инженерной точки зрения при обучении нейронных сетей значительно проще не изменять размер изображений в процессе обучения: как правило, ограничивающим фактором при обучении моделей является объем памяти вычислительных устройств, поэтому уменьшение размера входных изображений ниже оптимального приводит к снижению эффективности или требует постоянного изменения размера пакета изображений на каждом шаге обучения. Широко распространенные сверточные нейронные сети испытывают значительное снижение качества предсказаний при работе с изображениями размера, сильно отличающегося от использовавшегося при обучении.

Изображения в цифровых форматах чаще всего представлены в виде трехмерной прямоугольной матрицы (два пространственных измерения и еще одно для представления трех стандартных каналов цветности RGB) целых чисел в диапазоне $[0, 255]$ (8 бит), реже в диапазоне $[0, 65536]$ (16 бит).

В результате быстрого развития технологий компьютерного зрения, изображения естественных сцен не требуют предварительной обработки. А также анализ лучших практик применения алгоритмов компьютерного зрения показал высокую эффективность решений без ручного выделения признаков, так как алгоритмы самостоятельно выделяют признаки и скрытые закономерности между ними. Поэтому было определено решение, не производить ручную отбор признаков, хранить полученные данные без изменений и проводить нормализацию прямо перед отправкой в модель.

Предварительные исследования проводились на изображениях из естественного домена, поэтому отбор признаков не производился.

В силу вышеописанных ограничений система работает без адаптации с изображениями со стороной 1200-1300 точек (пикселей) и в формате RGB 8 бит.

Новизна предлагаемого решения заключается в использовании алгоритмов компьютерного зрения не для распознавания, а для обнаружения, выделения и обработки конкретных объектов на сложных зашумленных сценах, требуемых для формирования датасетов различного назначения. Алгоритм обеспечивает автоматическое присвоение каждому распознанному объекту соответствующего тэга, используемый в дальнейшем для формирования и наполнения класса объектами со схожими признаками. В процессе обработки большого количества сцен происходит самообучение искусственного интеллекта на базе нейронной сети. В результате на выходе алгоритма формируются датасеты со структурированными и нормализованными изображениями, скомпонованными по классам, применяемых для создания обучающих и тестовых выборок, используемых для обучения нейронных сетей.

Выбор алгоритма для модуля чтения сцены и модуля обнаружения и выделения объектов на сцене

Современный уровень развития методологии применения нейронных сетей позволяет решать одновременно задачи выделения множества объектов на изображении и их классификации [Андриянов и др., 2021]. Соответственно, необходимо произвести выбор нейронной сети для построения алгоритма обнаружения объектов. Данный выбор был проведен на основе изучения сравнительных результатов испытаний различных нейронных сетей, полученных различными исследователями (например, [Сирота и др., 2019; Андриянов и др., 2021; Вожегова, 2023]), а также на собственном опыте.

Список архитектур нейронных сетей, которые были рассмотрены:

- YOLOv5 [Брехт, Коншина, 2022];
- Swin-L [Liu Z et al., 2021];
- CenterNet2 [Zhou X et al., 2021];
- YOLOv4-P7 [Wang C et al., 2021];

- Unet++ [Zhou et al., 2018];
- EfficientDet [Tan et al., 2019];
- Cascade Mask R-CNN [Liu Y et al., 2020];
- RetinaNet [Du X et al., 2020];
- Mask R-CNN [Wang J et al., 2020];
- Cascade R-CNN-FPN [Fang H et al., 2019];
- Faster R-CNN [Gao Z et al., 2019];
- Fast R-CNN [Vu T et al., 2019];
- SSD512 [Liu W et al., 2016];
- YOLO v2 + Darknet-19 [Redmon J, et al., 2017];
- Resnet-50-backbone [He et al., 2015];
- Xception-backbone [Zhang et al., 2020].

После проведения исследования и анализа различных алгоритмов для обнаружения объектов в изображениях мы пришли к выводу, что наиболее подходящим алгоритмом является YOLOv5. Этот алгоритм имеет высокую точность и скорость обнаружения объектов, а также способен работать с изображениями различных размеров и разрешений.

По результатам проведенного тестирования YOLOv5 на нашей базе данных изображений были получены следующие результаты: точность обнаружения объектов составляет около 98%, а скорость обработки одного изображения составляет менее 0,1 секунды. Это позволяет использовать YOLOv5 для обработки изображений в приложениях реального времени, в том числе таких как автономные транспортные средства, роботы и системы безопасности.

Обучение и тестирование модели на базе алгоритма YOLOv5 для модуля чтения сцены и модуля обнаружения и выделения объектов на сцене

Для модуля чтения сцены был использован датасет COCO, который содержит более 20000 изображений с аннотациями. На основе датасета была создана модель, которая способна обнаруживать объекты на изображении и классифицировать их.

В процессе обучения модели были использованы различные методы оптимизации, такие как адаптивная оценка момента (Adam) и стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD), а также различные функции потерь, такие как перекрестная энтропия (Кросс-энтропия, Cross-Entropy), байесовская сглаженная L_1 функция потерь (Bayesian Smooth L_1 Loss) и бинарная перекрестная энтропия (Binary Cross Entropy, BCE) [Shen Yi, 2005; Ханжина, 2021].

После обучения модели она была протестирована на различных изображениях, содержащих различные объекты. Результаты показали, что модель способна эффективно обнаруживать и классифицировать объекты на изображениях.

Для оценки производительности модели на валидационном наборе данных были проведены следующие шаги:

- разделение набора данных на обучающую и валидационную выборки;
- обучение модели с использованием обучающей выборки;
- оценка производительности модели на валидационной выборке с помощью метрик, таких как точность, полнота и F-мера.

Были получены следующие результаты.

Точность модели составила 95%, что является хорошим результатом. На рис. 2 отражены результаты испытаний по определению Precision.

Полнота модели составила 80%, что также является хорошим результатом, учитывая, что модель не была обучена на полном наборе данных. На рис. 3 отражены результаты испытаний по определению Recall.

F-мера модели составила 0,87, что свидетельствует о хорошей точности и полноте модели. На рис. 4 отражены результаты испытаний по F_1 .

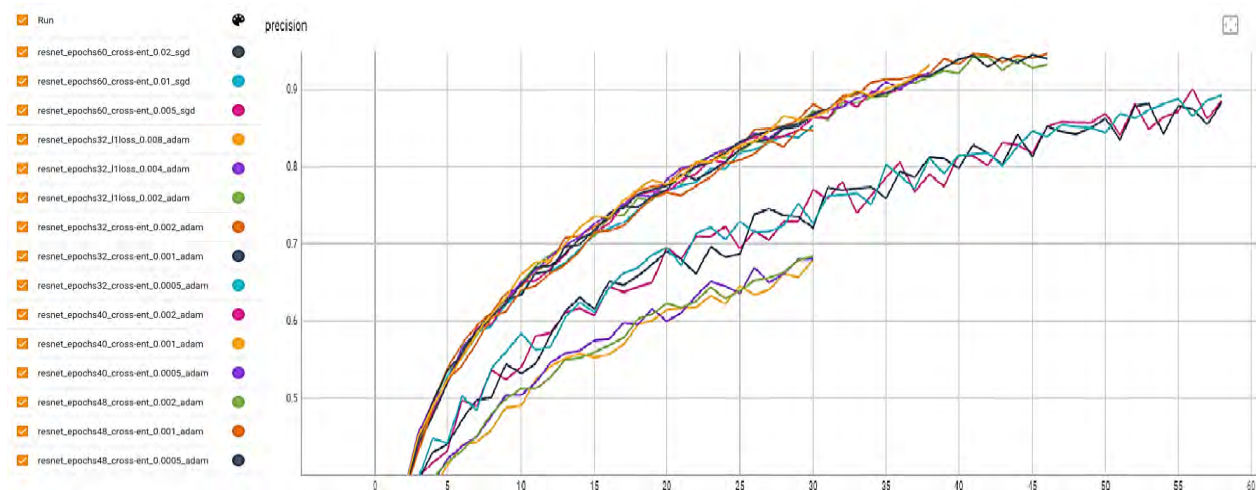


Рис. 2. Результаты испытаний: Точность
Fig. 2. Test Results: Accuracy

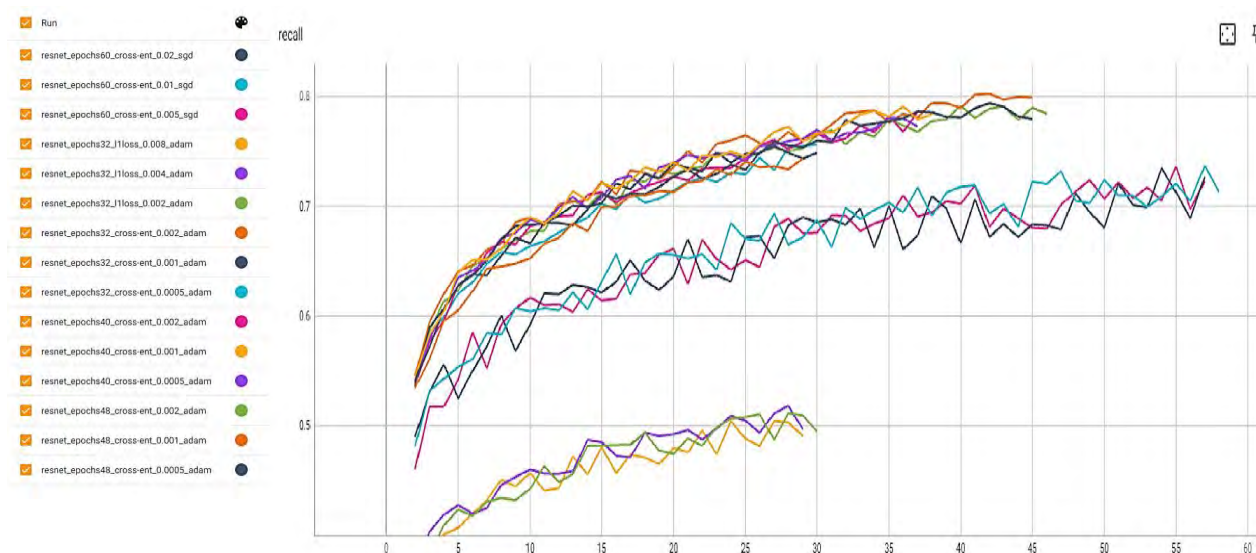


Рис. 3. Результаты испытаний: Полнота
Fig. 3. Test Results: Completeness

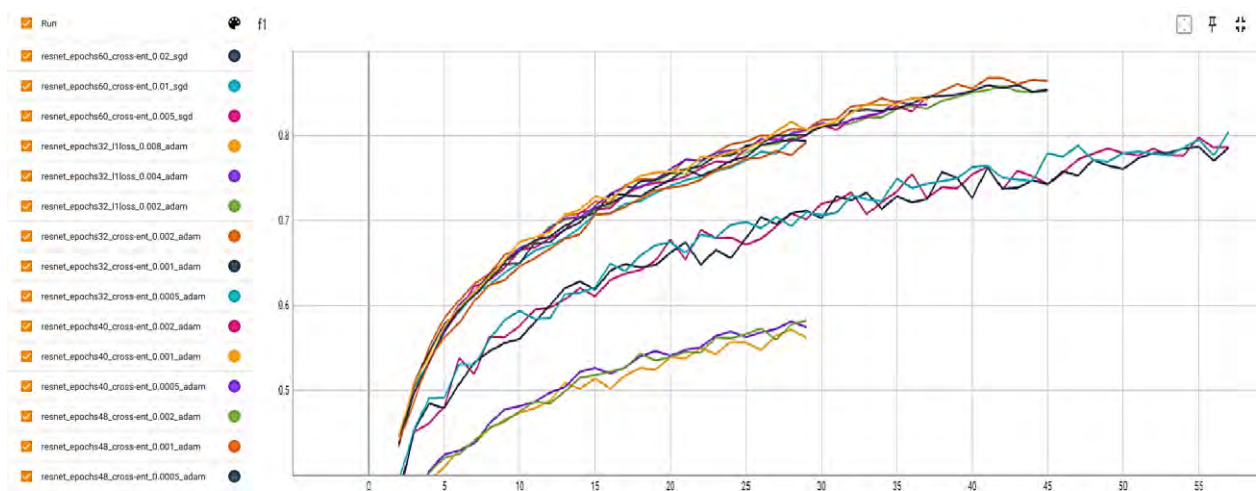


Рис. 4. Результаты испытаний: F₁-мера
Fig. 4. Test results: F₁-measure

На основе результатов оценки производительности модели можно сделать следующие выводы:

- функция потерь L_1 loss сильно уступает Cross-Entropy;
- оптимизатор SGD требует больше эпох до сходимости, но все равно заметно уступает Adam;
- сходимость происходит примерно на 40 эпохе;
- скорость обучения не влияет заметно на результат, хотя 0,001 дает немного лучшие результаты.

Таким образом, можно сделать вывод, что модель успешно справляется с задачей обнаружения и выделения объектов на сцене с высокой точностью и полнотой, а также демонстрирует хороший баланс между точностью и полнотой и может быть использована для дальнейшей работы в реальных условиях.

Заключение

В ходе выполнения работы предлагаемое решение достигает следующих параметров.

Ускорение времени разметки данных прямоугольниками (для задачи детекции) не менее чем в 50 раз по сравнению с ручной разметкой, осуществляемой квалифицированным разметчиком в условиях нормирования, хронометража рабочего времени, качества исходных данных и достаточном объеме набора данных. При оценке было принято, что в зависимости от сложности сцены среднее время разметки прямоугольниками в ручном режиме составляет 200-250 объектов в час на одного разметчика.

Снижение стоимости сегментирования и аннотирования данных в задачах сегментации не менее чем в 2 раза по сравнению с ручной сегментацией, осуществляемой квалифицированным разметчиком.

Уменьшение количества ошибочно размеченных данных не менее чем на 20% по сравнению с результатами ручной разметки в аналогичных условиях. Параметр проверялся путем верификации тестовых наборов данных, полученных в ручном режиме, и полученных с помощью предлагаемого решения, и соотношением в количественном выражении выявленных ошибочных данных в каждом использованном методе.

Улучшение качества сегментирования данных не менее чем на 10% по сравнению с ручной сегментацией в аналогичных условиях. Параметр проверяется с помощью показателей метрики IoU (Intersection-over-Union) на размеченных данных, полученных в ручном режиме и полученных с помощью предлагаемого решения.

Список литературы

- Ахметвалеев Р.Р., Шабанова К.И., Падукова А.А., Лакман И.А. 2021. Методика разметки медицинских изображений с функцией кросс-проверки и интеллектуального сегментирования. Вестник ВШОУЗ, 7, 3: 62-69.
- Андрянов Н.А. 2022. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана–Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей EfficientDet. Компьютерная оптика. 46, 1: 139-159. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-922.
- Брехт Э.А., Коншина В.Н. 2022. Применение нейронной сети YOLO для распознавания дефектов. Intellectual Technologies on Transport, 2: 41-47. DOI: 10.24412/2413-2527-2022-230-41-47.
- Вожегова М.А. 2023. Структурно-функциональная модель комплексов неразрушающего контроля с системой обработки данных на основе нейронных сетей. Экономика. Информатика. 50(2): 389–397. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-389-397.
- Сирота А.А., Митрофанова Е.Ю., Милованова А.И. 2019. Анализ алгоритмов поиска объектов на изображениях с использованием различных модификаций сверточных нейронных сетей. Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, 3: 123-137.
- Ханжина Н.Е. 2021. Байесовские функции потерь для моделирования гомоскедастичной алеаторной неопределенности в задаче детекции пылицы на изображениях. Научно-технический

- вестник информационных технологий, механики и оптики. 21, 4: 535–544. DOI: 10.17586/2226-1494-2021-21-4-535-544.
- Du X, Lin T, Jin P, Ghiasi G, Tan M, Cui Y, Le QV, Song X. 2020. SpineNet: Learning scale-permuted backbone for recognition and localization. *Proc IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1: 11593-11601. DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.01161.
- Fang H, Sun J, Wang R, Gou M, Li Y, Lu C, Tong SJ. 2019. InstaBoost: Boosting instance segmentation via probability map guided copy-pasting. *Proc 2019 IEEE/CVF Int Conf on Computer Vision (ICCV)*, 1: 682-691. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00077.
- Gao Z, Wang L, Wu G. 2019. LIP: Local importance-based pooling. *Proc 2019 IEEE/CVF Int Conf on Computer Vision (ICCV)*, 1: 3355-3364. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00345.
- Hsu G., Chen J., Chung Y. 2013. Application-oriented license plate recognition. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 62(2): 552-561.
- Liu Y, Wang S, Liang T, Zhao Q, Tang Z, Ling H. CBNNet: A novel composite backbone network architecture for object detection. *arXiv Preprint*. URL: <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/6834>.
- Liu W, Anguelov D, Erhan D, Szegedy C, Reed S, Fu C, Berg A. 2016. SSD: Single shot multibox detector. *Proc European Conf on Computer Vision (ECCV)*, 1: 1-17. DOI: 10.1007/978-3-319-46448-0_2.
- Liu Z, Lin Y, Cao Y, Hu H, Wei Y, Zhang Zh, Lin S, Guo B. Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2103.14030v1.pdf>.
- Redmon J, Farhadi A. 2017. YOLO9000: Better, faster, stronger. *Proc 2017 IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1: 7263-7271. DOI: 10.1109/CVPR.2017.690.
- Shen Yi. 2005. Loss Functions For Binary Classification and Class Probability Estimation. University of Pennsylvania. URL: <http://stat.wharton.upenn.edu/~buja/PAPERS/yi-shen-dissertation.pdf>.
- Tan M, Pang R, Le QV. EfficientDet: Scalable and efficient object detection. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.09070>.
- Vu T, Jang H, Pham T, Yoo C. 2019. Cascade RPN: Delving into high-quality region proposal network with adaptive convolution. *Proc 33rd Conf on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)*, 1: 1-11.
- Wang C, Bochkovskiy A, Liao H. Scaled-YOLOv4: Scaling cross stage partial network. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2011.08036v2.pdf>.
- Wang J, Sun K, Cheng T, Jiang B, Deng C, Zhao Y, Liu D, Mu Y, Tan M, Wang X, Liu W, Xiao B. 2020. Deep highresolution representation learning for visual recognition. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1: 1-23. DOI: 10.1109/tpami.2020.2983686.
- Zhang R, Du L, Xiao Q, Liu J. 2020. Comparison of Backbones for Semantic Segmentation Network. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1544 012196. DOI: 10.1088/1742-6596/1544/1/012196.
- Zhou X, Koltun V, Krahenbuhl P. Probabilistic two-stage detection. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2103.07461v1.pdf>.

References

- 1Ahmetvaleev R.R., Shabanova K.I., Padukova A.A., Lakman I.A. 2021. Methodology of marking medical images with the function of cross-check and intellectual segmentation. *Vestnik VSHOUZ*, 7, 3: 62-69. (in Russian)
- Andriyanov N.A., Dementiev V.E., Tashlinskii A.G. 2022. Detection of objects in the images: from likelihood relationships towards scalable and efficient neural networks. *Computer Optics*, 46(1): 139-159. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-922. (in Russian)
- Brekht E.A., Konshina V.N. 2022. Application of YOLO Neural Network for Defect Recognition. *Intellectual Technologies on Transport*, 2: 41-47. DOI: 10.24412/2413-2527-2022-230-41-47 (data access: 28 march 2023). (in Russian)
- Vozhegova M.A. 2023. Structural and Functional Model of Non-Destructive Testing Complexes with a Data Processing System Based on Neural Networks. *Economics. Information Technologies*, 50(2): 389–397. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-389-397 (in Russian)
- Sirota A.A., Mitrofanova E.Yu., Milovanova A.I. 2019. Analysis of algorithms for searching objects in images using various modifications of convolutional neural network. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*, 3: 123-137. (in Russian)



- Khanzhina N.E. 2021. Bayesian losses for homoscedastic aleatoric uncertainty modeling in pollen image detection. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 21, 4: 535–544. DOI: 10.17586/2226-1494-2021-21-4-535-544. (in Russian)
- Du X, Lin T, Jin P, Ghiasi G, Tan M, Cui Y, Le QV, Song X. 2020. SpineNet: Learning scale-permuted backbone for recognition and localization. *Proc IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1: 11593–11601. DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.01161.
- Fang H, Sun J, Wang R, Gou M, Li Y, Lu C, Tong SJ. 2019. InstaBoost: Boosting instance segmentation via probability map guided copy-pasting. *Proc 2019 IEEE/CVF Int Conf on Computer Vision (ICCV)*, 1: 682–691. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00077.
- Gao Z, Wang L, Wu G. 2019. LIP: Local importance-based pooling. *Proc 2019 IEEE/CVF Int Conf on Computer Vision (ICCV)*, 1: 3355–3364. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00345.
- Hsu G., Chen J., Chung Y. 2013. Application-oriented license plate recognition. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 62(2): 552–561.
- Liu Y, Wang S, Liang T, Zhao Q, Tang Z, Ling H. CBNet: A novel composite backbone network architecture for object detection. *arXiv Preprint*. URL: <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/6834>.
- Liu W, Anguelov D, Erhan D, Szegedy C, Reed S, Fu C, Berg A. 2016. SSD: Single shot multibox detector. *Proc European Conf on Computer Vision (ECCV)*, 1: 1–17. DOI: 10.1007/978-3-319-46448-0_2.
- Liu Z, Lin Y, Cao Y, Hu H, Wei Y, Zhang Zh, Lin S, Guo B. Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2103.14030v1.pdf>.
- Redmon J, Farhadi A. 2017. YOLO9000: Better, faster, stronger. *Proc 2017 IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1: 7263–7271. DOI: 10.1109/CVPR.2017.690.
- Shen Yi. 2005. Loss Functions For Binary Classification and Class Probability Estimation. University of Pennsylvania. URL: <http://stat.wharton.upenn.edu/~buja/PAPERS/yi-shen-dissertation.pdf>.
- Tan M, Pang R, Le QV. EfficientDet: Scalable and efficient object detection. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.09070>.
- Vu T, Jang H, Pham T, Yoo C. 2019. Cascade RPN: Delving into high-quality region proposal network with adaptive convolution. *Proc 33rd Conf on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)*, 1: 1–11.
- Wang C, Bochkovskiy A, Liao H. Scaled-YOLOv4: Scaling cross stage partial network. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2011.08036v2.pdf>.
- Wang J, Sun K, Cheng T, Jiang B, Deng C, Zhao Y, Liu D, Mu Y, Tan M, Wang X, Liu W, Xiao B. 2020. Deep highresolution representation learning for visual recognition. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 1: 1–23. DOI: 10.1109/tpami.2020.2983686.
- Zhang R, Du L, Xiao Q, Liu J. 2020. Comparison of Backbones for Semantic Segmentation Network. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1544 012196. DOI: 10.1088/1742-6596/1544/1/012196.
- Zhou X, Koltun V, Krahenbuhl P. Probabilistic two-stage detection. *arXiv Preprint*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2103.07461v1.pdf>.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гусев Александр Валерьевич, Научный руководитель проектов. ООО «Техинтегратор», г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Aleksandr V. Gusev, Scientific Project Manager. Limited Liability Company «Techintegrator», Moscow, Russian Federation



УДК 004.75
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-633-644

Численный метод расчета оптимального размещения датчиков на местности при ограничении пропускной способности

Старцев Д.Ю., Логинов И.В., Родительский О.А.

ФГКВОУ ВО «Академия ФСО России»,

Россия, 302020, Орловская область, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 35

E-mail: loginov_iv@bk.ru

Аннотация. В работе рассмотрена проблема размещения датчиков мониторинга на местности в условиях наличия значительного количества препятствий и ограничений на пропускную способность каналов передачи данных. Цель исследования – снижение количества технических средств мониторинга для покрытия заданной области наблюдения. Достижение цели обеспечивается за счет применения метода итеративной генерации нового размещения датчиков, минимизирующих величину непокрытых участков зоны наблюдения. Результатом исследования является новый метод расчета оптимального размещения датчиков на местности при ограничении пропускной способности каналов передачи данных, реализующий оптимизацию при наличии двух одновременных критериев: количество технических средств (с учетом ограничений на их характеристики) и пропускная способность каналов связи. Метод позволяет рассчитать места размещения датчиков мониторинга с учетом заданных характеристик беспроводной сети передачи данных. Программная реализация алгоритмов численного расчета позволяет автоматизировать расчет мест установки и подготавливать исходные данные для расстановки датчиков на местности. Результаты применения предложенного подхода к типовым задачам покрытия объекта зонами наблюдения показали возможность обеспечения заданных характеристик системы мониторинга минимальным количеством технических средств.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, оптимизация размещения, детектор, метод построения сети, стохастическая оптимизация, сплошное покрытие с препятствиями, модель сенсора, численный метод

Для цитирования: Старцев Д.Ю., Логинов И.В., Родительский О.А. 2023. Численный метод расчета оптимального размещения датчиков на местности при ограничении пропускной способности. Экономика. Информатика. 50(3): 633–644. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-633-644

Numerical Method for Calculating the Optimal Placement of Sensors on the Ground with Limited Bandwidth

Dmitry U. Startsev, Ilya V. Loginov, Oleg A. Roditelskiy

The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation

35 Priborostroitel'naya St, Orel, 302020, Russian Federation

E-mail: loginov_iv@bk.ru

Abstract. The paper considers the problem of placing monitoring sensors on the ground in the presence of a significant number of obstacles and restrictions on the bandwidth of data transmission channels. The purpose of the study is to reduce the number of technical monitoring tools to cover a given observation area. The goal is achieved by applying the method of iterative generation of a new placement of sensors that minimize the amount of uncovered areas of the observation zone. The result of the study is a new method for calculating the optimal placement of sensors on the ground with limited bandwidth of data transmission channels, which implements optimization in the presence of two simultaneous criteria – the number of technical means (taking into account restrictions on their characteristics) and the bandwidth of communication channels. The method allows you to calculate the locations of monitoring sensors taking into account the specified characteristics of

the wireless data transmission network. The software implementation of numerical calculation algorithms allows you to automate the calculation of installation sites and prepare the initial data for the placement of sensors on the ground. The results of applying the proposed approach to typical tasks of covering an object with observation zones showed the possibility of providing the specified characteristics of the monitoring system with a minimum amount of technical means.

Keywords: wireless sensor networks, placement optimization, detector, network construction method, stochastic optimization, continuous coverage with obstacles, sensor model, numerical method

For citation: Startsev D.U., Loginov I.V., Roditelskiy O.A. 2023. Numerical Method for Calculating the Optimal Placement of Sensors on the Ground with Limited Bandwidth. Economics. Information technologies, 50(3): 633–644 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-633-644

Введение

Развитие технологий построения сенсорных сетей приводит к возможности развертывания на местности (на объектах, сооружениях) крупномасштабных сетей мониторинга и наблюдения, включающих тысячи датчиков различного назначения и принципов работы (локация, измерение температуры, давления, влажности, видеонаблюдение, местная связь, контроль присутствия и т.п.) [Муравьев и др., 2020; Старцев, Нехаев, 2022]. Например, предлагается использовать сенсорные сети для мониторинга окружающей среды, отслеживания транспорта, построения интеллектуальных зданий, организации охраны и наблюдения, мониторинга и отслеживания животных [Когельман, 2020]. Такая возможность позволяет развертывать распределенные сети сбора данных и мониторинга, удаленного управления и контроля, распределенного наблюдения за опасными факторами и условиями внешней среды. Развертывание катастрофоустойчивых сетей позволяет обеспечить надежность функционирования при наличии опасных внешних воздействий за счет децентрализованного, либо смешанного режима работы, что позволяет использовать их для решения задач, связанных с обеспечением безопасности.

Каждый принцип работы датчика сбора данных и наблюдения накладывает ограничение на особенности его применения и соответственно размещения на местности (объектах). С другой стороны, отдельные виды датчиков генерируют высоких трафик (10-100 мбит/с и более) и тем самым предъявляют повышенные требования к организации сети передачи данных [Старцев, Логинов, 2022].

При организации временно развертываемых сетей наблюдения (при чрезвычайных ситуациях техногенного характера или, например, борьбе с лесными пожарами) возникает задача оптимального покрытия площади объекта, имеющего различные препятствия (строения) и запретные зоны (места где не могут быть размещены технические средства), зоной наблюдения датчиков, имеющими различные характеристики (дальность действия, вероятность обнаружения опасного события, скорость передачи информации, геометрические размеры сектора наблюдения), в условиях ограниченной пропускной способности канала связи. Известные алгоритмы организации беспроводных сетей мониторинга ориентированы на обеспечение стационарного развертывания, и в условиях мобильного развертывания на местности с препятствиями не обеспечивают необходимую площадь наблюдения для высокоскоростных средств. Все это обуславливает необходимость разработки численных методов размещения датчиков на местности, с учетом величины пропускной способности канала связи.

Обзор подходов к размещению датчиков на местности

Для решения задач размещения датчиков (в том числе беспроводных) на местности могут применяться методы покрытия двумерного пространства нерегулярными объектами с ограничениями, относящаяся к классу NP-полных задач. Примеры применения методов

оптимизационного геометрического покрытия / размещения рассматриваются в целом ряде работ. Так в [Картак, Фабарисова, 2018] рассматривается проблема оптимизации нерегулярного двумерного размещения объектов в форме полимино на прямоугольных структурах. Предлагается размещение тримино L-формы и тетрамино L-формы. Подход основывается на методе целочисленного линейного программирования. Предложенная в работе математическая модель может быть применена для задачи оптимизации нерегулярного размещения. Для задач большей размерности предложен подход на основе посегментной оптимизации. У Кузнецова В.Ю. в [Кузнецов, Филиппова, 2006] решается задача покрытия многосвязных ортогональных многоугольников с запретными зонами для оптимального размещения сенсоров в области мониторинга. В [Забелин, Фроловский, 2013] рассматривается возможность применения алгоритмов первого подходящего, вероятностного, экстремального, муравьиного и генетического алгоритмов для решения задачи «раскроя и упаковки» и предлагает адаптировать данные метаэвристические алгоритмы для решения задач в различных системах: освещения, агротехнических, охранных, беспроводной связи, воздушного наблюдения. Решение минимаксной задачи размещения точечного объекта на плоскости с прямоугольной (манхэттенской) метрикой с ограничениями на допустимую область размещения и ее прямое аналитическое решение при помощи методов тропической (идемпотентной) математики предлагается в работе [Плотников, Кривулин, 2018]. Решение данной задачи предлагается осуществлять с учетом дополнительных ограничений на область размещения, которая задана в форме прямоугольника. Приведены графические примеры решения задачи для разных вариантов расположения допустимой области размещения на плоскости. Задача размещения геометрических объектов в многосвязный ортогональный полигон рассматривается в [Хасанов, Дямина, 2020]. В качестве решения задачи предлагается использовать метод на базе матричной технологии. Описаны основные этапы конструирования плана размещения. Продемонстрирован интерфейс и функциональные возможности программного модуля, реализующего предложенный метод.

Применительно непосредственно к сенсорным сетям рассматриваются задачи оптимизации технических средств при заданной площади мониторинга [Муравьев и др., 2020]: в работе [Кучеров, Мигов, 2018] рассматривают показатели площади мониторинга и вероятность обеспечения мониторинга не менее заданного значения; в работе [Гарафутдинов, 2018] рассматривается решение задачи многократного мониторинга заданной области покрытия кругами известного радиуса; приводится пример беспроводной сенсорной сети для мониторинга микроклимата (температуры, влажности, концентрации углекислого газа) на фермах крупного рогатого скота, обеспечивающего работоспособность при выходе из строя отдельных датчиков [Ильин, Второй, 2020]. Также рассматривают объектно-ориентированные особенности применения: отличительные черты построения беспроводных аудиосенсорных сетей [Куракевич, Серегин, 2020], проблема размещения подводных, устойчивых к ошибкам детекторов и механизмы локализации датчиков гидроакустики [Das, Thampi 2017] и [Jouhari et al, 2019]; беспроводные системы мониторинга и видеонаблюдения [Старцев, Логинов, 2021].

Значительное количество работ посвящено оптимизации размещения беспроводных датчиков на местности, в том числе пересеченной и с наличием препятствий: используются критерии минимизации энергопотребления [Ouchitachen, 2015]; рассматривается применение машинного обучения для перепроектирования сетей [Alsheikh, 2014]; рассмотрено применение модифицированных коммуникационных протоколов для подвижных датчиков об-

наружения [Wu et al, 2009], рассмотрена задача мониторинга беспроводных объектов [Виноградов, 2022]. При этом ограничения пропускной способности в совокупности в высокой неопределенностью радиоэлектронной обстановки выносятся в общем случае в ограничения. Высокоскоростные сети наблюдения, такие как видеонаблюдения и радиолокационного наблюдения требуют прямого учета ограничений, что обосновывает актуальность проведения исследований.

Задача размещения высокоскоростных датчиков на местности

Исходными данными для задачи размещения высокоскоростных датчиков технических средств охраны выступает план временно охраняемой местности (рис. 1). План местности должен быть заранее построен на основе схемы, снимка или ортофотоплана с точностью указания координат не менее 0,1 м. На плане местности должны быть указаны зоны наблюдения, запретные зоны для размещения датчиков, препятствия, характеристики освещенности, влияющие на детектирование. Для каждой зоны наблюдения (обнаружения) устанавливают список типовых целей для обнаружения: транспортные средства, люди, предметы.

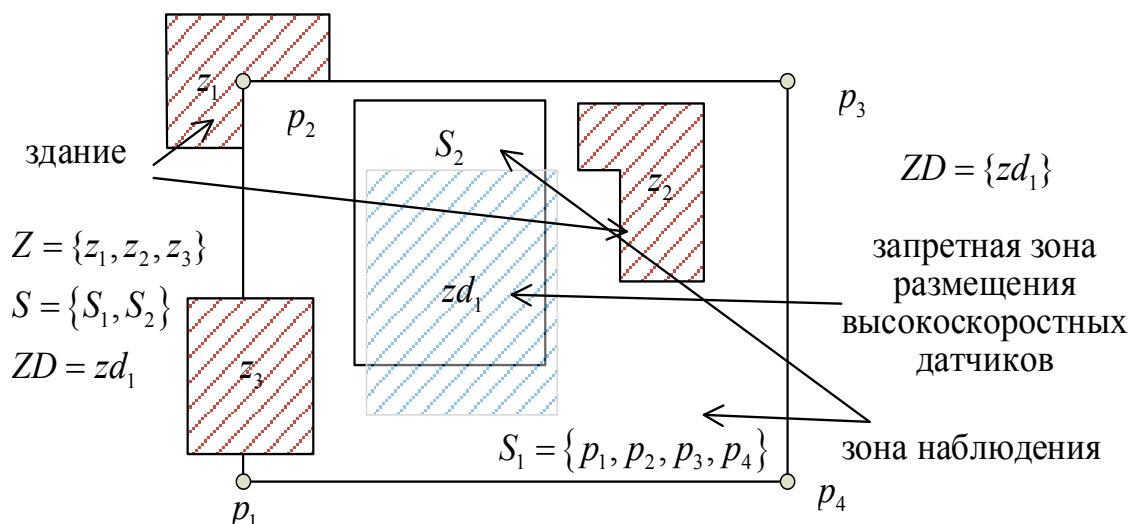


Рис. 1. Исходные данные для задачи размещения датчиков на местности

Fig. 1. Initial data for the task of placing sensors on the ground

Задача размещения высокоскоростных датчиков на местности состоит в нахождении подмножества высокоскоростных датчиков ND^* из множества доступных $ND^* \in ND$, а также мест их размещения P_{ND^*} (включая азимуты диаграмм направленности), минимизирующих количество датчиков технических средств охраны N_D :

$$\langle ND^*, P_{ND^*} \rangle = \arg \min_{ND} (N_D(ND) + N_R(ND)), ND \subseteq NDT, \quad (1)$$

N_R – количество ретрансляторов (точек доступа беспроводной связи) $NR^* \in NR$; места размещения ретрансляторов P_{ND^*} ;

при выполнении требований полного покрытия зоны наблюдения и функционирования рубежей детектирования, опознавания и идентификации объектов:

$$S^{\text{набл}, z \in \mathbb{Z}} = \bigcup_i S_i^{\text{набл}, z \in \mathbb{Z}} \subseteq S^{\text{набл}, z \in \mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} S_j^{\text{набл}, z \in \mathbb{Z}}(d_j), \quad (2)$$

$$L^{\text{детек}, z \in \mathbb{Z}} = \bigcup_i L_i^{\text{детек}, z \in \mathbb{Z}} \subseteq L^{\text{детек}, z \in \mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{детек}, z \in \mathbb{Z}}(d_j), \quad (3)$$

$$L^{\text{опозн}, z \in \mathbb{Z}} = \bigcup_i L_i^{\text{опозн}, z \in \mathbb{Z}} \subseteq L^{\text{опозн}, z \in \mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{опозн}, z \in \mathbb{Z}}(d_j), \quad (4)$$

$$L^{\text{идентиф}, z \in \mathbb{Z}} = \bigcup_i L_i^{\text{идентиф}, z \in \mathbb{Z}} \subseteq L^{\text{идентиф}, z \in \mathbb{Z}}(ND^*) = \bigcup_{j=1}^{N_D} L_j^{\text{идентиф}, z \in \mathbb{Z}}(d_j), \quad (5)$$

и выполнении требований передачи высокоскоростных потоков данных по каналам беспроводной связи:

$$C_{km}^R(RSSI = \min RSSI_{kjm}) \geq C_{km}^{ND}, \quad (6)$$

$$\forall k, k = 1..N_R, \sum_{j=1}^{N_D} C_j(ND^*, rs = k) \leq C(rs_k) = C_{km}^R, \quad (7)$$

где $C(rs_k)$ – пропускная способность беспроводного k -го ретранслятора (точки доступа).

Результатом решения задачи размещения датчиков технических систем охраны являются список высокоскоростных датчиков с места расположения (привязанных к карте или схеме объекта), а также азимута диаграммы направленности:

$$\langle ND^*, P_{ND^*}, Az \rangle. \quad (8)$$

Численный метод размещения высокоскоростных датчиков на местности с препятствиями

Для решения задачи размещения высокоскоростных датчиков мониторинга на местности при ограничении пропускной способности каналов связи предложен численный метод, заключающийся в выполнении последовательности операций (рис. 2):

1. Генерация зоны сплошного покрытия и его наложение на зону наблюдения, выполняется на основе эвристики сплошного покрытия заданными фигурами: кругами, секторами, треугольниками [Старцев, Логинов, 2021].

2. Перенос высокоскоростных датчиков из запретных зон и строений на их границы, выполняется методом кратчайшего перпендикуляра.

3. Итеративная генерация нового размещения датчиков, минимизирующих величину непокрытых участков зоны наблюдения.

4. Итеративная генерация нового размещения датчиков, обеспечивающую расстановку датчиков при ограничении на пропускную способность ретрансляторов.



Рис. 2. Алгоритм размещения высокоскоростных датчиков на местности
Fig. 2. Algorithm for placing high-speed sensors on the ground

В рамках итеративной генерации новых размещений ищется новое подмножество датчиков ND_i . Операция выполняется в соответствии с алгоритмом на рисунке 3.



Рис. 3. Алгоритм генерации нового размещения высокоскоростных датчиков на местности
Fig. 3. Algorithm for generating a new placement of high-payload sensors on the ground

Переразмещение датчиков выполняется по диагонали слева направо, сверху вниз. Операция нахождения оптимального места (координат) размещения j -го датчика поясняется рисунком 4. Формируется зона покрытия (видимости) для всех датчиков (сверху и слева непокрытого участка) $j < J$ (рис. 4, шаг 1):

$$S_{iJ} = \bigcup_{j=1}^J S_{ij} . \quad (9)$$

Рассчитывается совокупная зона наблюдения (2). Определяется потенциальная линия L_{iJ} размещения датчика (3) – наиболее удаленная точка установки датчика мониторинга от совокупной зоны наблюдения S_{iJ} . Осуществляется расчет величины площади перекрытия для i -го датчика $\Delta S_{iJ} = S_{iJ} \cap S_{ij}$ в зависимости от точки на потенциальной линии размещения L_{iJ} (вариант площади перекрытия представлен на графике – 5).

Определение того, что датчик попадает в запретную зону (строение или формальное заданную зону, где невозможна установка датчика) реализуется с использованием алгоритма на рисунке 5. Смысл в том, что датчики наблюдения, попадающие в запретную зону, переносятся на ее границу в соответствии с методом минимального перпендикуляра.

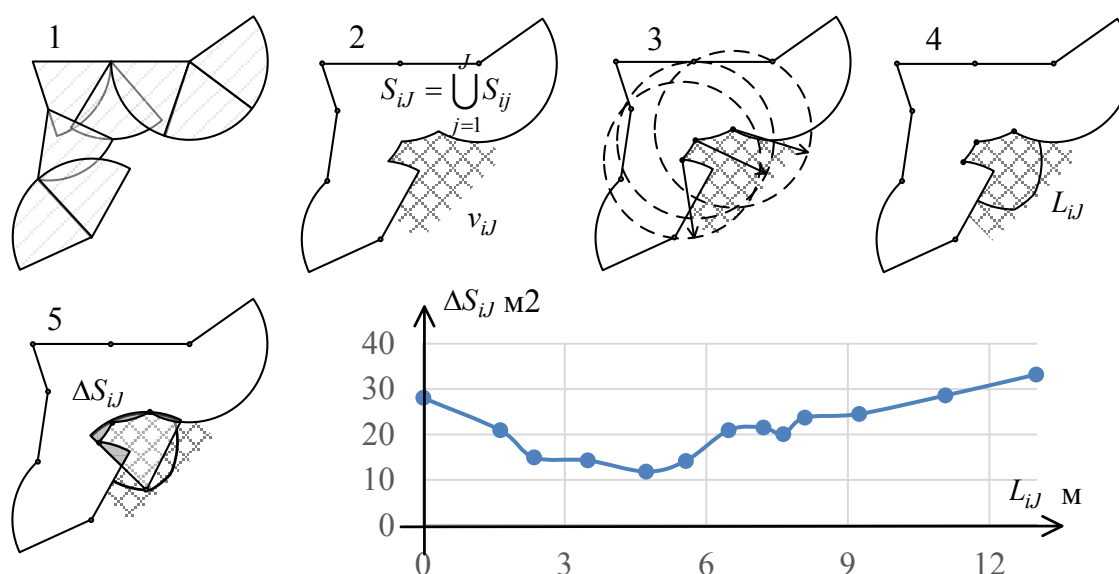


Рис. 4. Схема нахождения нового размещения высокоскоростного датчика на местности
Fig. 4. The scheme of finding the new location of the high-speed sensor on the ground

Алгоритм нахождения того, что точка размещения датчика находится в запретной зоне реализуется следующим образом:

- 1) Каждый многоугольник всех запретных зон разбивается на треугольники методов с использованием модифицированного жадного алгоритма для невыпуклых многоугольников.
- 2) Для каждой точки размещения датчика проверяется ее нахождение внутри всех запрещенных треугольников.

Перенос точки установки датчика на границу запретной зоны – точка передвигается по минимальному перпендикуляру, азимут диаграммы направленности сохраняется без изменений.

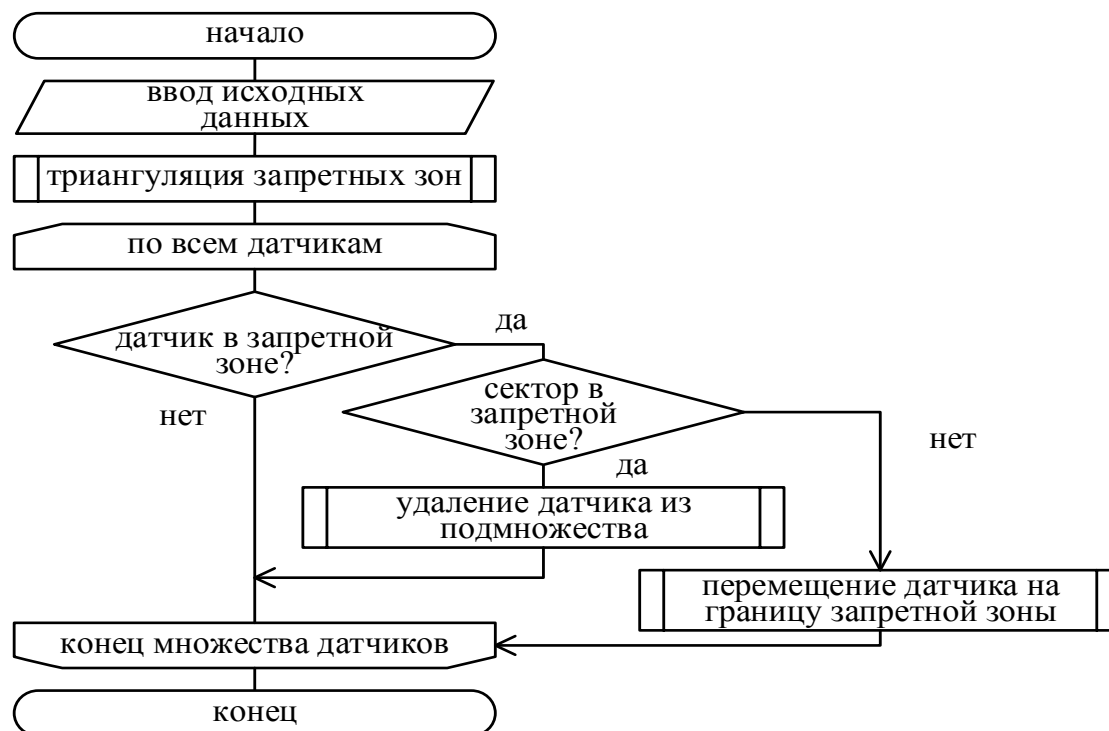


Рис. 5. Алгоритм определения запретного места установки датчика
Fig. 5. Algorithm for determining the forbidden location of the sensor

Расчет размещений датчиков в программном средстве TriangleM

В рамках исследования для практической реализации алгоритма размещения высокоскоростных датчиков на местности разработано программное средство. Программное средство TriangleM по расчету мест размещения датчиков на местности в условиях высокого уровня закрытия препятствиями представляет собой приложение со следующими основными функциями: визуализации – создание проекта, подготовка исходных данных с построением схемы объекта (зон и рубежей наблюдения), расчетной – проведение расчета предположительных мест размещения высокоскоростных датчиков и ретрансляторов на основе установленных требований к зонам и рубежам наблюдения). Предполагаемое направление использования программного средства это ее применение в интересах проектирования и анализа систем безопасности и жизнеобеспечения различных объектов (рис. 6,7).



Рис. 6. Пример построения схемы объекта в программном средстве TriangleM
Fig. 6. Example of building an object schema in the TriangleM software

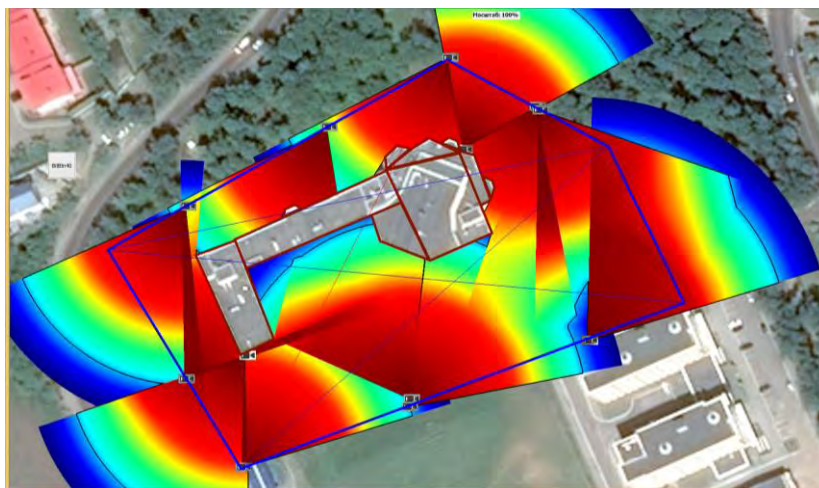


Рис. 7. Пример построения схемы зоны покрытия и размещения датчиков в программном средстве TriangleM

Fig. 7. An example of constructing a coverage area diagram and placing sensors in the Triangle software

Территория объекта представляет собой участок местности с расположенными на нем препятствиями (строениями). Основной объект представляет собой Г-образное строение. Определены границы объекта, в пределах которых должно обеспечиваться полное покрытие площади датчиками наблюдения. Граница зоны действия датчика составляет 90 метров. Граница зоны идентификации объектов датчиком с вероятностью 95% составляет 45 метров. Сектор действия датчика составляет 72° .

Программа позволяет задать параметры датчиков (дальность действия, вероятность обнаружения, зону обнаружения при заданной вероятности), произвести размещение датчиков в пределах границы объекта, после чего произвести перемещение датчиков, попавших в запретные зоны, в разрешенные места и провести переустановку датчиков до полного покрытия требуемой площади, при этом лишние датчики могут удаляться, а недостающие наоборот добавляться. После полного покрытия площади датчиками программное средство строит схему покрытия объекта с указанием количества и мест размещения датчиков.

В представленном примере площадь объекта полностью покрыта 11 датчиками, 4 из которых попали в запретную зону. Произведено смещение данных датчиков на границу запретной зоны по кратчайшему расстоянию и произведена перестановка остальных датчиков в пределах разрешенной зоны. В результате перестановки выяснилось, что данного количества недостаточно для полного покрытия требуемой площади, поэтому произведено добавление дополнительного датчика.

Заключение

В статье рассмотрены проблемы развертывания беспроводных быстроустанавливаемых датчиков. Показана необходимость оптимизации мест размещения датчиков в условиях ограничения пропускной способности канала связи.

Предложен численный метод расчета оптимального размещения датчиков на местности с учетом ограничений пропускной способности канала связи, отличающийся от существующих совместным применением эвристики на основе замощения территории объекта секторами и стохастической оптимизацией мест размещения датчиков на основе метода условного спуска, который позволяет численно решать задачу выбора подмножества высокоскоростных датчиков и мест их размещения. Описана реализация предложенного метода

в программном средстве проектирования и построения систем безопасности и жизнеобеспечения объектов. Приведен пример расстановки датчиков на местности в программном средстве, реализующем приведенные в статье алгоритмы на примере сети беспроводных видеокамер.

Список литературы

- Виноградов Г.П. 2022. Отслеживание мобильных объектов средствами беспроводных сенсорных сетей. Информационные и математические технологии в науке и управлении. 1(25): 58-69.
- Гарафутдинов Д.И. 2018. Беспроводная сенсорная сеть многократного мониторинга заданной области. Аллея науки. Т. 2. № 5 (21): 1066-1072.
- Забелин С.Л., Фроловский В.Д. Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов для синтеза и анализа решений задач геометрического покрытия. Вестник СибГУТИ, г. Новосибирск, 2013. № 2: 42-53.
- Ильин Р.М., Вторый С.В. 2020. Беспроводные сенсорные сети для мониторинга параметров микроклимата на фермах КРС. Техника и оборудование для села. 11(281): 32-34.
- Картак В.М., Фабарисова А.И. 2018. Методы целочисленного линейного программирования в задаче нерегулярного размещения плоских геометрических объектов в форме полимино. Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. Т. 22. № 2 (80): 131-137.
- Когельман Л.Г. 2020. Обзор применения беспроводных сенсорных сетей. Современные информационные технологии. 31(31): 65-75.
- Кузнецов В.Ю., Филиппова А.С. 2006. Задача размещения газоанализаторов при условиях покрытия зонами их действия территорий с запрещенными участками. Проблемы оптимизации и экономические приложения: 3-я Всероссийская конференция. Материалы конференции (Омск, 11 – 15 июля 2006), 182.
- Куракевич М.А., Серегин Ю.Н. 2020. Алгоритм взаимодействия аудиодатчиков в беспроводной сенсорной сети. Аллея науки. Т. 2. № 4 (43): 691-698.
- Кучеров А.В., Мигов Д.А. 2018. Расчет ожидаемой площади покрытия беспроводной сенсорной сети с ненадежными узлами. Проблемы информатики. 3(40): 21-33.
- Муравьев К.А., Алябьев И.О., Синютин Д.С., Шушуев А.И. 2020. Алгоритмическое проектирование беспроводных сенсорных сетей. Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Т. 2: 322-327.
- Плотников П.В., Кривулин Н.К. 2018. Прямое решение минимаксной задачи размещения в прямоугольной области на плоскости с прямоугольной метрикой. Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 14(2): 116–130.
- Старцев Д.Ю., Логинов И.В. 2022. Проблема увеличения интенсивности информационных потоков в системах физической безопасности. Охрана, безопасность, связь — 2022: сборник статей.
- Старцев Д.Ю., Логинов И.В. 2021. Алгоритм оптимального размещения беспроводных видеосенсоров в быстроовозводимых системах мониторинга и охраны объектов. Информационные системы и технологии. 5(127): 39-49.
- Старцев Д.Ю., Нехаев С.В. 2022. Основные задачи и типовые нарушители быстроразворачиваемых комплексов технических средств охраны для транспортной безопасности. Образование — наука — производство: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). 2022. — С. 224-227.
- Хасанов Р.И., Дямина Э.И. 2019. Математическое и программное обеспечение размещения ортогональных объектов в многоугольной области на базе матричной технологии. Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 1(20): 183-186.
- Alsheikh M. A., Lin Sh., Niyato D., Tan H.-P. 2014. Machine Learning in Wireless Sensor Networks: Algorithms, Strategies, and Applications. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 16(4), 1996-2018. Research Collection School Of Computing and Information Systems.
- Das Anjana P, Thampi Sabu M. 2017. Fault-resilient localization for underwater sensor networks. Ad Hoc Networks, vol. 55, 132-142.

- Jouhari M., Ibrahim Kh., Tembine H., Ben-Othman J. 2019. Underwater Wireless Sensor Networks: A Survey on Enabling Technologies, Localization Protocols, and Internet of Underwater Things. IEEE Access, vol. 7, pp. 96879-96899.
- Ouchitachen H., Hair A., Idrissi N. 2015. Optimal Placement of Sensors in Mission-specific Mobile Sensor Networks. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering Vol. 16, No. 1, October 2015, pp. 191 – 199.
- Wu Di, Bao L., Li R. UWB-Based Localization in Wireless Sensor Networks (2009). Communications, Network and System Sciences, August 2009.

References

- Vinogradov G.P. 2022. Otslezhivanie mobil'nyh ob'ektov sredstvami besprovodnyh sensornyh setej [Tracking of mobile objects by means of wireless sensor networks]. Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii. 1(25): 58-69.
- Garafutdinov D.I. 2018. Besprovodnaja sensornaja set' mnogokratnogo monitoringa zadannoj oblasti [Wireless sensor network for multiple monitoring of a given area]. Alleja nauki. T. 2. № 5 (21): 1066-1072.
- Zabelin S.L., Frolovskij V.D. 2013. Razrabotka i issledovanie modelej, metodov i algoritmov dlja sinteza i analiza reshenij zadach geometricheskogo pokrytija [Development and research of models, methods and algorithms for synthesis and analysis of solutions to geometric coating problems]. Vestnik SibGUTI, g. Novosibirsk, 2: 42-53. (in Russian)
- Il'in R.M., Vtoryj S.V. 2020. Besprovodnye sensornye seti dlja monitoringa parametrov mikroklimata na fermah KRS [Wireless sensor networks for monitoring microclimate parameters on cattle farms]. Tehnika i oborudovanie dlja sela. 11 (281): 32-34.
- Kartak V.M., Fabarisova A.I. 2018. Metody celochislennogo linejnogo programmirovaniya v zadache nereguljarnogo razmeshhenija ploskih geometricheskikh ob'ektov v forme polimino [Methods of integer linear programming in the problem of irregular placement of planar geometric objects in the form of polyominoes]. Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta. T. 22. № 2 (80): 131-137.
- Kogel'man L.G. 2020. Obzor primenenija besprovodnyh sensornyh setej [Overview of the application of wireless sensor networks]. Sovremennye in-formacionnye tehnologii. 31(31): 65-75.
- Kuznecov V.Ju., Filippova A.S. 2006. Zadacha razmeshhenija gazoanalizatorov pri uslovijah po-krytija zonami ih dejstvija territorij s zapreshhennymi uchastkami [The task of placing gas analyzers under conditions of covering territories with prohibited areas by their zones of operation]. Problemy optimizacii i jekonomicheskie prilozhenija: 3-ja Vserossijskaja konferencija. Materialy konferencii (Omsk, 11 – 15 ijulja 2006). P. 182.
- Kurakevich M.A., Seregin Ju.N. 2020. Algoritm vzaimodejstvija audiodatchikov v besprovodnoj sensornoj seti [Algorithm of interaction of audio sensors in a wireless sensor network]. Alleja nauki. T. 2. № 4 (43): 691-698.
- Kuchеров A.V., Migov D.A. 2018. Raschet ozhidaemoj ploshhadi pokrytija besprovodnoj sensornoj seti s nenadezhnymi uzlami [Calculation of the expected coverage area of a wireless sensor network with unreliable nodes]. Problemy informatiki. 3(40): 21-33.
- Murav'ev K.A., Aljab'ev I.O., Sinjutina D.S., Shushuev A.I. 2020. Algoritmicheskoe proektirovanie besprovodnyh sensornyh setej [Algorithmic design of wireless sensor networks]. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo". T. 2: 322-327.
- Plotnikov P.V., Krivulin N.K. 2018. Prjamoe reshenie minimaksnoj zadachi razmeshhenija v prjamougol'noj oblasti na ploskosti s prjamougol'noj metrikoi [Direct solution of the minimax problem of placement in a rectangular area on a plane with a rectangular metric]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaja matematika. Informatika. Processy upravlenija. 14(2): 116–130.
- Starcev D.Ju., Loginov I.V. 2022. Problema uvelichenija intensivnosti informacionnyh potokov v sistemah fizicheskoj bezopasnosti [The problem of increasing the intensity of information flows in physical security systems]. Ohrana, bezopasnost', svjaz' — 2022: sbornik statej.
- Starcev D.Ju., Loginov I.V. 2021. Algoritm optimal'nogo razmeshhenija besprovodnyh video-sensorov v bystrovozvodimyh sistemah monitoringa i ohrany ob'ektov [Algorithm of optimal placement of

- wireless video sensors in pre-fabricated systems of monitoring and protection of objects]. *Informacionnye sistemy i tehnologii*. 5(127): 39-49.
- Starcev D.Ju., Nehaev S.V. 2022. Osnovnye zadachi i tipovye narushiteli bystrorazvorachiva-emyh kompleksov tehniceskikh sredstv ohrany dlja transportnoj bezopasnosti [The main tasks and typical violators of rapidly developing complexes of technical security equipment for transport security]. *Obrazovanie - nauka - proizvodstvo: Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii (s mezh-dunarodnym uchastiem).* – P. 224-227.
- Hasanov R.I., Djaminova Je.I. 2019. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie razmeshhenija ortogonal'nyh ob'ektov v mnogougol'noj oblasti na baze matrichnoj tehnologii [Mathematical and software support for the placement of orthogonal objects in a polygonal area based on matrix technology]. *Molodezhnyj vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehniceskogo universiteta*. 1(20): 183-186.
- Alsheikh M. A., Lin Sh., Niyato D., Tan H.-P. 2014. Machine Learning in Wireless Sensor Networks: Algorithms, Strategies, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(4), 1996-2018. Research Collection School Of Computing and Information Systems.
- Das Anjana P, Thampi Sabu M. 2017. Fault-resilient localization for underwater sensor networks. *Ad Hoc Networks*, vol. 55, 132-142.
- Jouhari M., Ibrahimi Kh., Tembine H., Ben-Othman J. 2019. Underwater Wireless Sensor Networks: A Survey on Enabling Technologies, Localization Protocols, and Internet of Underwater Things. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 96879-96899.
- Ouchitachen H, Hair A., Idrissi N. 2015. Optimal Placement of Sensors in Mission-specific Mobile Sensor Networks. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering* Vol. 16, No. 1, October 2015, pp. 191 – 199.
- Wu Di, Bao L., Li R. UWB-Based Localization in Wireless Sensor Networks (2009). *Communications, Network and System Sciences*, August 2009.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Старцев Дмитрий Юрьевич, сотрудник Академии ФСО России, г. Орел, Россия

Логинов Илья Валентинович, кандидат технических наук, сотрудник Академии ФСО России, г. Орел, Россия

Родительский Олег Анатольевич, сотрудник Академии ФСО России, г. Орел, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry U. Startsev, The Academy of the Guard Service Russian Federation, Orel, Russian Federation

Ilya V. Loginov, candidate of information science, The Academy of the Guard Service Russian Federation, Orel, Russian Federation

Oleg A. Roditskiy, The Academy of the Guard Service Russian Federation, Orel, Russian Federation

УДК 621.391
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-645-654

Имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением

¹ Ясир М.Д.Я., ² Польщиков К.А., ² Маматов Е.М.

¹ Южный технический университет

Ирак, 61001, г. Басра, ул. Шоссе Зубаир

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: muhaned.yaser@stu.edu.iq, polshchikov@bsu.edu.ru, mamatov@bsu.edu.ru

Аннотация. Представлена имитационная модель функционирования беспроводной сети, предназначенной для сбора данных, поступающих из многочисленных датчиков. Подразумевается, что оконечные устройства сети снабжены источниками батарейного питания, обеспечивающими автономную работу узлов в течение длительного времени. Показаны схемы и особенности моделирования работы оконечных устройств и шлюза, а также оценивания величины энергопотребления в процессе передачи данных сетевыми узлами. Минимизация энергопотребления на выходе передающих модулей оконечных устройств достигается за счет установки рекомендуемых значений выходной мощности и коэффициента расширения спектра, зависящих от текущего уровня затухания сигналов при передаче информационных кадров. Эти рекомендуемые значения предложено вычислять в сервере сети и передавать оконечным устройствам в кадрах-подтверждениях. В результате применения разработанной имитационной модели есть возможность оценить суммарное энергопотребление оконечных устройств при передаче сообщений в течение заданного интервала времени.

Ключевые слова: Интернет вещей, беспроводная сеть, LoRaWAN, имитационная модель, Matlab, Simulink, энергопотребление, оконечные устройства

Для цитирования: 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. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-645-654

Simulation Model of Functioning of a Low-Power Wireless Network

¹Yaser M.J. Yaser, ²Konstantin A. Polshchikov, ²Evgeny M. Mamatov

¹Southern Technical University

Zubair Highway St, Basra, 61001, Iraq

²Belgorod National Research University

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russian Federation

E-mail: muhaned.yaser@stu.edu.iq, polshchikov@bsu.edu.ru, mamatov@bsu.edu.ru

Abstract. A simulation model of the operation of a wireless network designed to collect data from multiple sensors is presented. It is assumed that the terminal devices of the network are equipped with battery power supplies that provide autonomous operation of the nodes for a long time. The schemes and features of modeling the operation of terminal devices and the gateway, as well as estimating the amount of energy consumption in the process of data transmission by network nodes are shown. Minimization of power consumption at the output of the transmitting modules of terminal devices is achieved by setting the recommended values of the output power and the spectrum spreading factor, depending on the current level of signal attenuation during the transmission of information frames. These recommended values are proposed to be calculated in the network server and transmitted to end devices in acknowledgment frames.



As a result of applying the developed simulation model, it is possible to estimate the total power consumption of terminal devices when transmitting messages during a given time interval.

Keywords: IoT, wireless network, LoRaWAN, simulation model, Matlab, Simulink, power consumption, end devices

For citation: 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

Введение

Беспроводные сети передачи данных широко используются для решения задач связи, мониторинга и управления. На основе беспроводных технологий обеспечивается функционирование различных распределенных систем, осуществляется взаимодействие многочисленных устройств в рамках Интернета вещей (Internet of Things, IoT) [Wang et al., 2021; Jameel et al., 2022; Jouhari et al., 2023]. Не случайно совершенствованию беспроводных сетей уделяется большое внимание ученых и разработчиков [Polschykov, Olexij, Rvachova, 2010; Rvachova et al., 2015; Konstantinov et al., 2017a, б; Polshchykov, Lazarev, Kiseleva, 2018; Джамил, Лихошерстов, Польщиков, 2022].

На практике востребовано внедрение энергоэффективных сетей, обеспечивающих сбор информации с удаленных датчиков. Такие IoT-системы разрабатываются для сельского хозяйства, промышленности, строительства и многих других отраслей [Arshad et al., 2022; Ragnoli et al., 2022; Safi et al., 2022]. Одним из стандартов, в соответствии с которым осуществляется обмен данными в таких системах, является протокол LoRaWAN [Loh, Mehling, Hoffeld, 2022], ориентированный на выполнение требований длительной автономной работы сетевых узлов за счет экономии их энергопотребления. В целях снижения энергетических затрат в процессе обмена данными протоколом LoRaWAN предусмотрено выполнение алгоритма адаптивной скорости передачи (Adaptive Data Rate, ADR) [Benkahla et al., 2021; Yang et al., 2022; Swathika, Kumar, 2023]. Несовершенство этого эвристического алгоритма обуславливает необходимость создания новых решений, обеспечивающих минимизацию энергии, потребляемой узлами сети. В связи с этим актуальной является разработка средств оценивания энергопотребления сетевых устройств, функционирующих в беспроводной сети.

Целью данной статьи является создание имитационной модели функционирования беспроводной сети для оценивания величины энергопотребления в процессе передачи данных сетевыми узлами.

Схема модели

В программной среде Matlab-Simulink разработана имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением, схема которой представлена на рисунке 1. Данный вариант схемы моделирует работу сети, в состав которой входят 12 оконечных устройств (элементы *Node1* – *Node12*) и шлюз (элемент *Gateway Node*). Оконечные устройства периодически передают шлюзу сообщения о значениях параметров, измеренных соответствующими датчиками. Эти сообщения передаются по беспроводной сети с помощью кадров – информационных блоков канального уровня. В ответ на принятые информационные кадры шлюз отправляет оконечным устройствам служебные кадры-подтверждения. Полученные из оконечных устройств сообщения шлюз ретранслирует в сервер сети.

При получении информационного кадра из оконечного устройства на входе приемного модуля шлюза измеряется мощность принимаемого сигнала RP . С учетом измеренного значения RP и хранящихся в сервере данных о значении мощности сигнала TP , установленном на выходе оконечного устройства, вычисляется текущий уровень затухания сигнала A :

$$A = RP - TP. \quad (1)$$

Уровень A характеризует помеховые условия, в которых осуществляется обмен данными между конкретным оконечным устройством и шлюзом. Изменение уровня A свидетельствует об изменении помеховых условий и необходимости корректировки характеристик физического уровня оконечного устройства. К таким характеристикам относятся коэффициент расширения спектра SF и мощность TP на выходе передающего модуля.

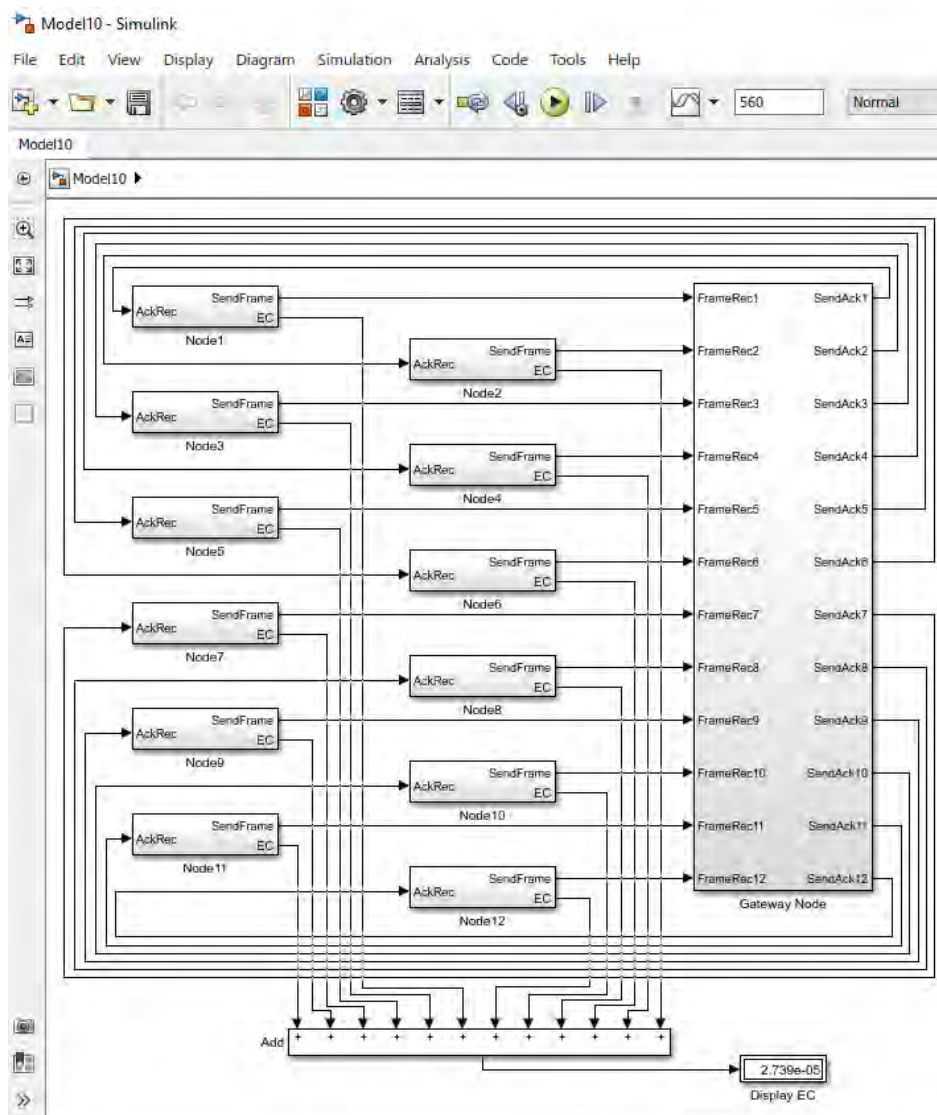


Рис. 1. Схема имитационной модели
Fig. 1. Schematic of the simulation model

На рисунке 2 представлены элементы, моделирующие обработку кадров, поступивших в шлюз из оконечного устройства. С помощью элемента *Calc_A* моделируется вычисление текущего уровня затухания сигнала. Текущие значения A , вычисленные при поступлении кадров из оконечного устройства, можно наблюдать с помощью виртуального регистратора *Score_A* (отображены на рисунке 3). С помощью элементов $A = -131$ – $A = -140$ моделируется выбор из сформированной базы данных « $A - TP - SF$ » значений коэффициента расширения спектра и мощности на выходе передающего модуля, которые соответствуют текущему уровню затухания сигнала и рекомендуются для установки в оконечном устройстве. Вышеуказанная база данных формируется на основе использования результатов вычислительных экспериментов, представленных в работах [Седунов, Жунусова, Зырянова, 2021; Леушин,

2022; Ясир, 2023; Ясир, Польщиков, Федоров, 2023]. Данные о рекомендуемых значениях TP и SF передаются на оконечное устройство в составе кадров-подтверждений.

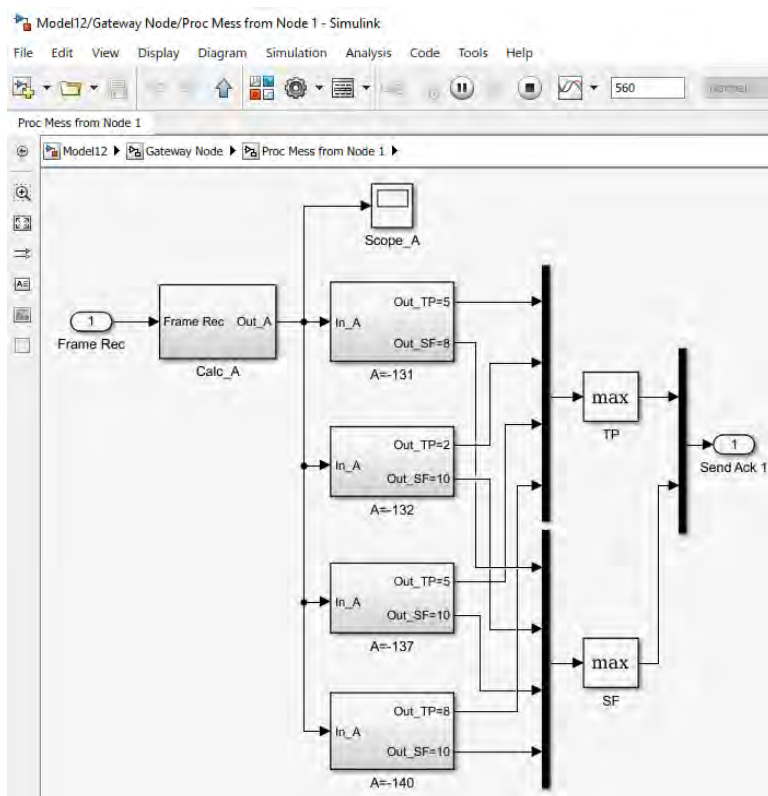


Рис. 2. Элементы, моделирующие обработку кадров, поступивших в шлюз
Fig. 2. Elements modeling the processing of frames received by the gateway

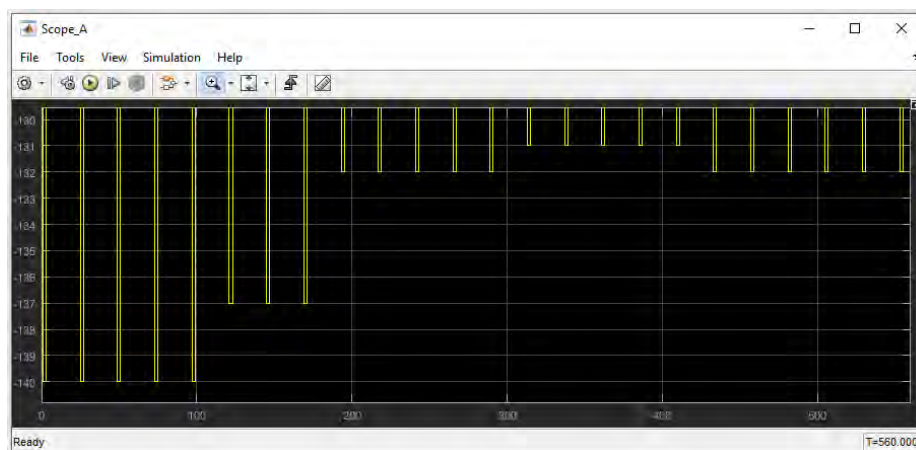


Рис. 3. Результаты моделирования, отображаемые виртуальным регистратором $Scope_A$
Fig. 3. Simulation results displayed by virtual recorder $Scope_A$

Моделирование работы оконечного устройства

Сформированные вышеуказанным образом кадры-подтверждения передаются из шлюза в оконечное устройство, функционирование которого моделируется с помощью элементов, представленных на рисунке 4. На рисунках 5 и 6 показаны рекомендуемые значения характеристик TP и SF , данные о которых содержались в полученных оконечным устройством кадрах-подтверждениях и отобразились с помощью виртуальных регистраторов $Scope_TP$ и $Scope_SF$ соответственно.

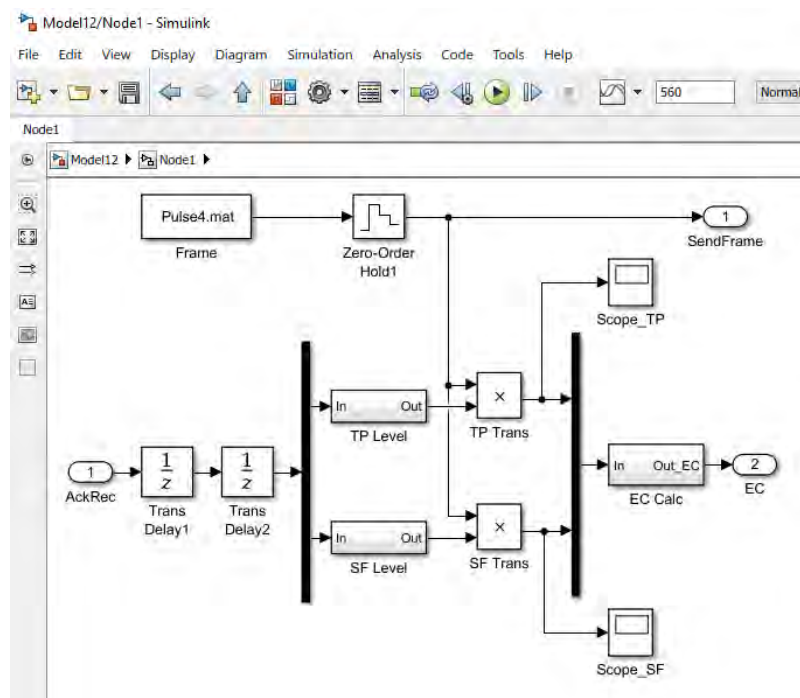


Рис. 4. Элементы, моделирующие работу оконечного устройства
Fig. 4. Elements modeling the operation of the terminal device

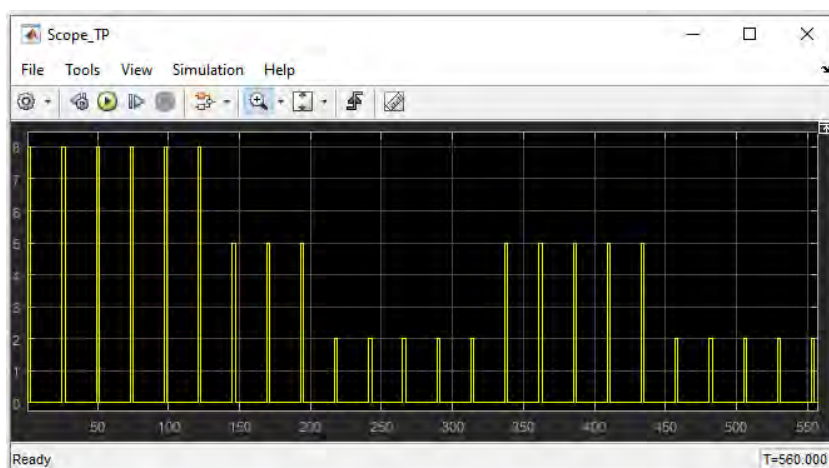


Рис. 5. Результаты моделирования, отображаемые виртуальным регистратором *Scope_TP*
Fig. 5. Simulation results displayed by virtual recorder *Scope_TP*

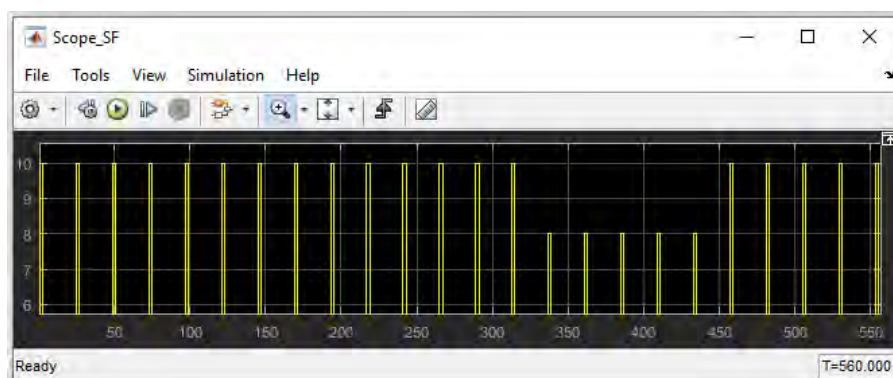


Рис. 6. Результаты моделирования, отображаемые виртуальным регистратором *Scope_SF*
Fig. 6. Simulation results displayed by virtual recorder *Scope_SF*

Вычисление энергопотребления

The screenshot shows a Simulink model titled 'Model12' with a hierarchical structure. The main model contains several sub-models: 'TP', 'SF', 'EC', '1-3', and 'Calc_EC'. The 'TP' block (labeled '1') outputs to 'f(u)' blocks. The 'SF' block (labeled '2') outputs to 'SF' blocks with parameters 'Tms_SF=8' and 'Tms_SF=10'. These outputs are combined in a 'Max' block, followed by an 'f(u)' block labeled 'TFRM'. The 'EC' block (labeled '1') outputs to an 'If' block with condition 'if (u1 > 0)'. The '1-3' block outputs to a 'Product' block. The 'Calc_EC' block outputs to an 'In1' block with condition 'if {}'. The 'A4.mat' block (labeled 'A') outputs to a 'Scope_A' block and a 'Zero-Order Hold' block. The 'Zero-Order Hold' block outputs to an 'RP' block, followed by an 'f(u)' block labeled 'RP1' and an 'SNR' block. The 'SNR' block outputs to an 'f(u)' block labeled 'x1'. The 'x1' block outputs to an 'X1 BER' block, followed by a '200' block labeled 'LFRM'. The 'LFRM' block outputs to an 'f(u)' block labeled 'p'. The 'p' block outputs to an 'ANF' block, followed by an 'f(u)' block labeled 'a'. The 'a' block outputs to the final output 'Out_EC'.

На вход TP подсистемы поступают значения мощности на выходе передающего модуля, измеряемые в дБм. С помощью элемента $TP1$ осуществляется пересчет этих значений в мВт в соответствии с формулой:

С помощью элементов $Tms_SF=8$, $Tms_SF=10$, мультиплексора, а также элементов Max и $TFRM$ вычисляется значение длительности передачи кадра в часах в соответствии с выражением:

650

где T_{ms} – измеренная в мс длительность передачи кадра.

Благодаря элементам A , RP , $Zero-Order Hold$ и RPI осуществляется вычисление мощности принимаемых шлюзом сигналов в соответствии с выражением:

$$RP = 10^{\frac{TP+A}{10}}. \quad (4)$$

Элемент SNR служит для вычисления уровня «сигнал-шум» на входе приемного модуля шлюза по формуле:

$$SNR = \frac{RP \cdot 10^{-3}}{k \cdot TEMP \cdot W \cdot NF}, \quad (5)$$

где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К; $TEMP$ – температура; W – ширина полосы пропускания канала; NF – коэффициент шума приемника.

С помощью элементов XI и BER вычисляется вероятность битовой ошибки при передаче данных по формуле, в которой используется Q-функция:

$$BER = 0,5 \cdot Q \left[\sqrt{SNR \cdot 2^{SF+1}} - \sqrt{1,386 \cdot SF + 1,154} \right]. \quad (6)$$

Элементы p , a , $LFRM$ и $LACK$ предназначены для вычисления вероятности доставки кадров, передаваемых шлюзу, и вероятности доставки подтверждений оконечному устройству в соответствии с формулами:

$$p = (1 - BER)^{LFRM}, \quad (7)$$

$$a = (1 - BER)^{LACK}, \quad (8)$$

где $LFRM$ – битовая длина кадра; $LACK$ – битовая длина подтверждения.

С помощью элемента ANF вычисляется среднее количество кадров, необходимое для доставки шлюзу одного сообщения в соответствии с формулой:

$$ANF = p \cdot a \cdot [1 + 2 \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]]]. \quad (9)$$

Наконец, с помощью элементов $*0.001$, $Product$, if и EC вычисляются значения энергопотребления оконечного устройства при передаче одного сообщения в соответствии с выражением:

$$EC = ANF \cdot TFRM \cdot TP_{mW} \cdot 10^{-3}. \quad (10)$$

Аналогично вычисляются значения EC каждого оконечного устройства, которые затем суммируются с помощью элемента Add , представленного на рисунке 1. На этом же рисунке показан виртуальный регистратор $Display EC$, на котором отображаются значения суммарного энергопотребления оконечных узлов сети в течение заданного интервала времени моделирования. Представленные на рисунке 1 результаты моделирования соответ-



ствуют эксперименту по оцениванию энергопотребления оконечных устройств сети в течение суток. В этом случае на виртуальном регистраторе *Display EC* отображено значение $2,739 \cdot 10^{-5}$ (Вт×час). С помощью установки значений интервала моделирования есть возможность оценить величину энергопотребления сетевых оконечных устройств в течение заданного количества месяцев или лет. Количество моделируемых сетевых устройств может быть расширено до десятков, сотен и нескольких тысяч узлов в зависимости от размеров и емкости исследуемой беспроводной сети.

Заключение

Таким образом, в программной среде Matlab-Simulink разработана оригинальная имитационная модель функционирования беспроводной сети с низким энергопотреблением. Элементы представленной модели служат для моделирования работы оконечных устройств и шлюза, а также оценивания величины энергопотребления в процессе передачи данных сетевыми узлами. Моделируемые оконечные устройства сети снабжены источниками батарейного питания, обеспечивающими автономную работу узлов в течение длительного времени. В целях минимизации энергопотребления на выходе передающих модулей оконечных устройств устанавливаются рекомендуемые значения характеристик физического уровня (выходной мощности и коэффициента расширения спектра), зависящие от текущего уровня затухания сигналов при передаче информационных кадров. С использованием соответствующей базы данных, сформированной по результатам вычислительных экспериментов, эти рекомендуемые значения определяются в сервере сети и передаются оконечным устройствам с помощью шлюза в составе данных, содержащихся в кадрах-подтверждениях.

Применение разработанной имитационной модели позволяет оценить суммарное энергопотребление оконечных устройств при передаче сообщений в течение заданного интервала времени. Дальнейшие исследования планируется посвятить модификации представленной разработки для моделирования различных алгоритмов, позволяющих снизить энергопотребление беспроводной сенсорной сети.

Список литературы

- Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А. 2022. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети. Экономика. Информатика, 49(2): 403–415. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Леушин А.В. 2022. LORA как новый вид модуляции. Принцип работы, основные параметры, помехоустойчивость. Техника радиосвязи, 2(53): 28–42.
- Седунов Д.П., Жунусова А.С., Зырянова Ю.О. 2021. Расчет параметров системы беспроводного сбора данных сети LoRawan. Техника радиосвязи, 2(49): 31–41.
- Ясир М.Д.Я. 2023. К вопросу снижения энергопотребления беспроводных сенсорных узлов. Инженерный вестник Дона, 7. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/p7y2023/8526> (дата обращения: 24.08.2023).
- 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.
- Arshad J., Aziz M., Al-Huqail A.A., Zaman M.Hu., Husnain M., Rehman A.U., Shafiq M. 2022. Implementation of a LoRaWAN Based Smart Agriculture Decision Support System for Optimum Crop Yield. Sustainability, 14(2): 827.
- Benkahla N., Tounsi H., Song Y.Q., Frikha M. 2021. Review and experimental evaluation of ADR enhancements for LoRaWAN networks. Telecommunication Systems, 77: 1–22.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Likhosherstov 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.
- Jouhari M., Saeed N., Alouini M.-S., Amhoud E.M. 2023. A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 25(3): 1841–1876.

- 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.
- Loh F., Mehling N., Hoßfeld T. 2022. Towards LoRaWAN without Data Loss: Studying the Performance of Different Channel Access Approaches. Sensors, 22(2): 691.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. International Journal of Computer Science and Network Security, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Olexij S., Rvachova N. 2010. The Methodology of Modeling Available for Data Traffic Bandwidth Telecommunications Network. Proceedings of the X International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET’2010): 158.
- Ragnoli M., Colaiuda D., Leoni A., Ferri G., Barile G., Rotilio M., Laurini E., De Berardinis P., Stornelli V. 2022. A LoRaWAN Multi-Technological Architecture for Construction Site Monitoring. Sensors, 22(22): 8685.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchikov K., Davies J.N. 2015. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomm networks using fuzzy inference system. Proceedings of the 6th International Conference “Internet Technologies and Applications” (ITA): 256–260.
- Safi A., Ahmad Z., Jehangiri A.I., Latip R., Zaman S.Ku., Khan M.A., Ghoniem R.M. 2022. A Fault Tolerant Surveillance System for Fire Detection and Prevention Using LoRaWAN in Smart Buildings. Sensors, 22(21): 8411.
- Swathika R., Kumar S.M.D. 2023. Optimizing Throughput Using Effective Contention Aware Adaptive Data Rate in LoRaWAN. Lecture Notes in Networks and Systems, 690. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2680-0_26 (дата обращения: 24.08.2023).
- Wang J., Lim M.K., Wang C., Tseng M.-L. 2021. The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. Computers & Industrial Engineering, 155: 107174.
- Yang L., Cui H., Zhang M., Wang Y., Wang R., Wu Y. 2022. Research of ADR mechanism in low mobility scenario. 2022 IEEE 5th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT): 460–463.

References

- Jameel K.J.Q., Likhoshesterov R.V., Polshchikov K.A. 2022. Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network. Economics. Information technologies, 49(2): 403–415 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Leushin A.V. 2022. LORA kak novyy vid moduljatsii. Princip raboty, osnovnye parametry, pomehoustojchivost'. Tehnika radiosvjazi, 2(53): 28–42. (in Russian).
- Sedunov D.P., Zhunusova A.S., Zyrjanova Ju.O. 2021. Raschet parametrov sistemy besprovodnogo sbora dannyh seti Lorawan. Tehnika radiosvjazi, 2(49): 31–41. (in Russian).
- Yaser M.J.Y. 2023. K voprosu snizhenija jenergotreblenija besprovodnyh sensornyh uzlov. Inzhenernyj vestnik Dona, 7. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8526>. (in Russian).
- 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.
- Arshad J., Aziz M., Al-Huqail A.A., Zaman M.Hu., Husnain M., Rehman A.U., Shafiq M. 2022. Implementation of a LoRaWAN Based Smart Agriculture Decision Support System for Optimum Crop Yield. Sustainability, 14(2): 827.
- Benkahla N., Tounsi H., Song Y.Q., Frikha M. 2021. Review and experimental evaluation of ADR enhancements for LoRaWAN networks. Telecommunication Systems, 77: 1–22.
- 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.
- Jouhari M., Saeed N., Alouini M.-S., Amhoud E.M. 2023. A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 25(3): 1841–1876.
- 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.
- Loh F., Mehling N., Hoßfeld T. 2022. Towards LoRaWAN without Data Loss: Studying the Performance of Different Channel Access Approaches. Sensors, 22(2): 691.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. International Journal of Computer Science and Network Security, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Olexij S., Rvachova N. 2010. The Methodology of Modeling Available for Data Traffic Bandwidth Telecommunications Network. Proceedings of the X International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” (TCSET’2010): 158.
- Ragnoli M., Colaiuda D., Leoni A., Ferri G., Barile G., Rotilio M., Laurini E., De Berardinis P., Stornelli V. 2022. A LoRaWAN Multi-Technological Architecture for Construction Site Monitoring. Sensors, 22(22): 8685.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchikov K., Davies J.N. 2015. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system. Proceedings of the 6th International Conference “Internet Technologies and Applications” (ITA): 256–260.
- Safi A., Ahmad Z., Jehangiri A.I., Latip R., Zaman S.Ku., Khan M.A., Ghoniem R.M. 2022. A Fault Tolerant Surveillance System for Fire Detection and Prevention Using LoRaWAN in Smart Buildings. Sensors, 22(21): 8411.
- Swathika R., Kumar S.M.D. 2023. Optimizing Throughput Using Effective Contention Aware Adaptive Data Rate in LoRaWAN. Lecture Notes in Networks and Systems, 690. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2680-0_26 (дата обращения: 24.08.2023).
- Wang J., Lim M.K., Wang C., Tseng M.-L. 2021. The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. Computers & Industrial Engineering, 155: 107174.
- Yang L., Cui H., Zhang M., Wang Y., Wang R., Wu Y. 2022. Research of ADR mechanism in low mobility scenario. 2022 IEEE 5th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT): 460–463.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ясир Муханад Джаббар Ясир, магистр наук, ассистент преподавателя Южного технического университета, г. Басра, Ирак.

Польщикова Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Маматов Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yaser Muhanad Jabar Yaser, MSc, Assistant lecturer of Southern Technical University, Basra, Iraq.

Konstantin A. Polshchikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

Evgeny M. Mamatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russian Federation

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 303.732.4

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-655-668

Иерархическая кластеризация на языке R для производственно-экономических показателей пенитенциарной системы

^{1,2}Пономарев Д.С.

¹Филиал (г. Ижевск) федерального казенного учреждения
«Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний»
Россия, 426004, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Коммунаров, 216

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»
Россия, 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

Аннотация. Согласно официальным данным из открытых источников, структура производственного сектора уголовно-исполнительной системы Российской Федерации включает в себя 652 учреждения. В 2021 году общий объем производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг составил 36,8 млрд рублей. На сегодняшний день в учреждениях пенитенциарной системы трудоустроено более 131 тысячи осужденных. Подразделениями ФСИН России ведется активная организационная работа по получению заказов на изготовление продукции. Таким образом, проведение исследований для производственного сектора с использованием современных научных методов является актуальным не только для уголовно-исполнительной системы, но и в целом для Российской Федерации. В свете трендов современной науки, одним из таких методов является машинное обучение без учителя, в частности – иерархический кластерный анализ. Его преимущества для поставленного вопроса являются очевидными: возможность вне зависимости от территориального уровня (что очень часто допускается в исследованиях) рассмотреть интересные производственно-экономические показатели и возможность провести сегментацию объемов продукции с построением иерархий. Целью работы явилось проведение исследований в области машинного обучения без учителя (иерархической кластеризации) для сегментации производственно-экономических показателей пенитенциарной системы. Основным инструментом для реализации иерархической кластеризации явился язык программирования и статистической обработки — R (обработка данных проводилась в интегрированной среде разработки R-Studio). Новизной работы является: во-первых, исследование производственно-экономических показателей пенитенциарной системы с отрывом от территориального уровня (другими словами – производственно-экономические показатели были рассмотрены как часть глобальной системы, а не часть федеральных округов или территориальных органов уголовно-исполнительной системы), во-вторых, применение актуальных методов машинного обучения для сегментации и разделения на группы значений объема производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг, связанный с привлечением осужденных к труду. Основными научными результатами в ходе проведенной работы явились: разработанный алгоритм для проведения иерархической кластеризации именно для пенитенциарной системы; сформированный ряд правил и норм по: выбору параметров, обработке данных, выбору гиперпараметров иерархической кластеризации. Кроме того, были выявлены новые зависимости для более глобального рассмотрения производственно-экономических показателей.



Ключевые слова: иерархическая кластеризация, производственно-экономические показатели, пенитенциарная система, язык R, системный анализ, разведочный анализ данных, машинное обучение

Для цитирования: Пономарев Д.С. 2023. Иерархическая кластеризация на языке R для производственно-экономических показателей пенитенциарной системы. Экономика. Информатика, 50(3): 655–668. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-655-668

Hierarchical Cluster Analysis in R for Production and Economic Indicators of the Penitentiary System

^{1,2} Dmitry S. Ponomarev

¹ Branch (Izhevsk) Federal State Institution Research Institute of the Federal Penitentiary Service
216 st. Kommunarov, Izhevsk, Udmurt Republic, 426004, Russian Federation

² Kalashnikov Izhevsk State Technical University
7 Studencheskaya St, Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation

Abstract. According to official information from the penitentiary system of the Russian Federation, the structure of the production sector of the penitentiary system of the Russian Federation includes 652 institutions. In 2021, the volume of production of goods and services amounted to 36.8 billion rubles. More than 131 thousand convicts are employed in the institutions of the penitentiary system. The divisions of the Federal Penitentiary Service of Russia are actively organizing work to receive orders for the manufacture of products. Thus, conducting research for the manufacturing sector using modern scientific methods is relevant not only for the penitentiary system, but also for the Russian Federation as a whole. One of these methods is machine learning hierarchical cluster analysis. Its advantages: the ability, regardless of the territories, to consider production and economic indicators of interest and the ability to segment the market with the construction of hierarchies. The purpose of this scientific study is to conduct research in the field of machine learning (hierarchical clustering) for segmenting the production and economic indicators of the penitentiary system. The main tool for implementing hierarchical clustering is the programming language and statistical processing - R (data processing was carried out in the R-Studio environment). The novelty of the work is: the study of production and economic indicators of the penitentiary system, regardless of the territories and the use of relevant machine learning methods for segmentation and division into groups of values of the volume of production of goods. The main scientific results were: the developed algorithm for carrying out hierarchical clustering for the penitentiary system; formed a number of rules and norms for the choice of parameters, data processing, the choice of hyperparameters for hierarchical clustering. In addition, new dependencies were identified for a more global consideration of production and economic indicators.

Keywords: hierarchical cluster analysis, production and economic indicators, penitentiary system, R, systems analysis, exploratory data analysis, machine learning

For citation: Ponomarev D.S. 2023. Hierarchical Cluster Analysis in R for Production and Economic Indicators of the Penitentiary System. Economics. Information technologies. 50(3): 655–668 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-655-668

Введение

Иерархическая кластеризация — популярный алгоритм группировки данных, который часто может давать очень разные значения. Данный метод позволяет пользователю визуализировать эффект от разбиения разного количества кластеров. Он более чувствителен при

обнаружении отдаленных или аберрантных групп или записей. Иерархическая кластеризация также обеспечивает интуитивно понятное графическое отображение, что облегчает интерпретацию результатов [Stekh, 2006]. На сегодняшний день в исследованиях существует два основных алгоритма иерархической кластеризации: агломеративный алгоритм – кластеры образуются при помощи объединения данных т.е. «дерево» иерархической кластеризации создается от «листьев» к основанию; дивизионный алгоритм (в некоторой литературе дивизионный) – здесь кластеры образуются при помощи разделения данных (т.е. крупные кластеры разделяются на более малые), соответственно – «дерево» создается от основания к «листьям». В проведенной работе для поставленной задачи был использован агломеративный алгоритм – то есть рассматривались возможности и особенности укрупнения исследуемых массива данных [Everitt et al., 2011].

Эффективность иерархической кластеризации связана с мощностью вычислительных ресурсов, которые необходимы для нее. Поэтому, большинство методов иерархической кластеризации сосредоточены на относительно небольших наборах данных [Bruce et al., 2020]. При этом эффективность кластеризации зависит от качества данных, которые используются в ней.

Для исследования производственно-экономических показателей применение кластерного анализа поможет лучше оценить распределение ресурсов, объемы производства, сформировать правила и нормы для минимальных и максимальных показателей производственных и экономических процессов [Murtagh, Contreras, 2017]. Рассмотрение временных рядов для значений параметров позволит лучше оценить динамику изменения объемов производства, выполненных работ и оказанных услуг; оценить улучшение или ухудшение того или иного показателя. Если рассматривать кластеризацию для регионов, то построение иерархий позволит определить более доминирующие регионы по рассматриваемым показателям, оценить приоритетность. Построение иерархических структур также позволит разработать ряд правил и норм для экономических и производственных показателей.

Сбор данных по вышеуказанным вопросам в некоторых случаях может представлять определенные проблемы: учет показателей на различных друг от друга производствах может отличаться; могут отличаться интервалы времени учета параметров; кроме того, следует учитывать различный род деятельности разных производств и объемы выпускаемой продукции.

Поэтому, в целях сбора данных для проведения иерархического кластерного анализа следует рассматривать ведение производственно-экономической деятельности как глобальный процесс, который подвержен единому глобальному плану и единым стандартам отчетности (как в плане учета параметров, так и в плане интервалов их мониторинга). Здесь, производства уголовно-исполнительной системы могут явиться достаточно хорошим примером для рассмотрения применения иерархического кластерного анализа. Целостность и глобальный охват отчетных форм является одним из ключевых моментов успешного сбора данных для исследования иерархического кластерного анализа, как раз эти условия и присутствуют для деятельности производств, которые находятся в ведении уголовно-исполнительной системы.

В первую очередь был разработан алгоритм для проведения иерархического кластерного анализа (рисунок 1).



Рис. 1. Алгоритм проведения иерархического кластерного анализа
Fig. 1. Algorithm for implementing hierarchical cluster analysis

В работе были рассмотрены параметры, которые связаны с одной стороны с объемом производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг, а с другой стороны рассмотрены параметры, которые связаны с численностью осужденных, привлеченных к труду. Выборка была сформирована на основе данных отчетных форм по федеральным округам в период с 2019 по 2021 годы.

Нормализация данных

При проведении кластерного анализа следует учитывать различность масштабов значения данных у каждого из них. Параметры с большим масштабом данных практически всегда будут доминировать не только при кластеризации данных, но и в применении методов машинного обучения без учителя в целом. Именно поэтому применение стандартизации и нормализации данных является практически всегда важным шагом. Рассмотрим процедуру более подробно (1) [Bruce et al., 2020].

$$z = \frac{x - x_{\text{cp}}}{s}, \quad (1)$$

где s – стандартное отклонение, x_{cp} – среднее значение, x – фактическое значение. Как видно из представленной формулы, провести нормализацию значений не составляет большого труда: из фактического значения нужно вычесть среднее арифметическое и разделить на дисперсию. В результате проведения данной процедуры для каждого значения выборки будет получен новый массив данных со стандартизированными значениями. Именно данный «стандартизированный» массив и будет использоваться в дальнейшем для проведения иерархического кластерного анализа.

Агломеративный алгоритм. Выбор расстояний между координатами

Основной алгоритм иерархической кластеризации – это агломеративный алгоритм, который итеративно объединяет похожие кластеры. Алгоритм агломерации начинается с того, что каждая запись создает свой собственный кластер из одной записи, а затем растет все

больше и больше кластеров. Первым шагом является вычисление расстояний между всеми парами записей. В работе были рассмотрены наиболее популярные и применяемые на сегодняшний день расстояния между координатами: Евклидово расстояние (2), квадрат Евклидова расстояния (3), Манхэттенское расстояние (4) [Everitt et al., 2011].

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \quad (2)$$

$$d(x, y) = (x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2 \quad (3)$$

$$d(x, y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2| + \dots + |x_k - y_k| \quad (4)$$

Проблема применения Евклидова расстояния в том, что если есть большая разница в координатах, то при возведении в квадрат эта разница будет увеличиваться. Таким образом, следует для начала оценить распределение исследуемых точек и при большом разбросе координат рациональнее будет использовать Манхэттенское расстояние. В нашем же случае наблюдается равномерное распределение точек, а значит применение Евклидова расстояния будет корректным.

Выбор расстояния между кластерами

Выбор расстояния между кластерами является достаточно важным параметром. В зависимости от выбранного межкластерного расстояния может зависеть конечный исход кластеризации. В некоторых случаях неправильно выбранное расстояние может привести к неправильно интерпретируемым выводам. Пожалуй, одним из самых «беспроблемных» тактик в проведении кластерного анализа является попробовать все наиболее известные и используемые межкластерные расстояния на исследуемом наборе данных, а затем выбрать наиболее подходящее решение.

При использовании команды *hclust* в *R* [Kabacoff, 2011] можно выбирать и расстояние между кластерами (используется выбор параметров при помощи «*method*»). Наиболее популярные и применяемые расстояния между кластерами, которые рассматривались при проведении расчетов, обозначены далее.

Среднее невзвешенное расстояние (в некоторой литературе метод средней связи). Рассматривался только невзвешенный метод, где расстояние между кластерами приравнивается среднему расстоянию между их элементами (5):

$$\frac{1}{|X||Y|} \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} d(x, y) \quad (5)$$

где: $d(x, y)$ – расстояние между элементами x и y , которые принадлежат кластерам X и Y ; $|X|$ и $|Y|$ – мощности кластеров. На языке *R* реализуется следующим образом (где *data* – исследуемое нормализованное поле значений): `Clust <- hclust(d=data, method = "average")`.

Центроидный метод, расстояние между кластерами приравнивается расстоянию между их центрами масс (6):

$$\|C_X - C_Y\|, \quad (6)$$

где C_X и C_Y – центроиды кластеров X и Y . Невзвешенный центроидный метод в *R* обозначен как «*centroid*», реализуется следующей командой: `Clust <- hclust(d=data, method = "centroid")`.

Метод «дальнего соседа» или метод полной связи, расстояние между кластерами приравнивается максимальному расстоянию между двумя точками этих кластеров (7):



$$\max\{d(x, y): x \in X, y \in Y\}, \quad (7)$$

в *R* обозначен как «complete», реализация: `Clust <- hclust(d=data, method = "complete")`.

Метод «ближайшего соседа» или метод одиночной связи, в котором расстояние между кластерами приравнивается к минимальному расстоянию между двумя элементами из данных кластеров (8):

$$\min\{d(x, y): x \in X, y \in Y\}, \quad (8)$$

в *R* реализуется как «single»: `Clust <- hclust(d=data, method = "single")`.

Ward's method (в некоторой литературе «Метод Варда», «Метод Уорда», далее – метод Уорда), суть метода заключается в объединении данных, при котором различие между двумя группами (кластерами) измеряется значением, на которое слияние этих двух кластеров увеличило бы среднее квадратическое расстояние от точки до ее центроида (9) [Ward, 1969].

$$d(X, Y) = \sum_{x \in X, y \in Y} \frac{d^2(x, y)}{|X| + |Y|} - \sum_{x, y \in X} \frac{d^2(x, y)}{|X|} - \sum_{x, y \in Y} \frac{d^2(x, y)}{|Y|}, \quad (9)$$

Остановимся на данном методе более подробно. На сегодняшний день существует два основных алгоритма реализации данного метода. В первом случае на *R* метод реализуется при помощи команды «*ward.D*» и соответствует алгоритму, представленному в работах Wishart D. [Wishart, 1969] и Murtagh F. [Murtagh, 1983], во втором случае метод осуществляется при помощи команды «*ward.D2*» и реализует алгоритм, который представлен в более новых работах, а именно: Kaufman L., Rousseeuw P. [Kaufman, Rousseeuw, 1990] и Legendre P. [Legendre, 2012].

На сегодняшний день не существует оптимального метода для проведения кластерного анализа и даже результативность вышеуказанных методов может очень сильно зависеть от исследуемых данных, поэтому в работе были рассмотрены и использованы все из перечисленных методов (5-9) и расстояний (2-4), проведена различная группировка из пар «метод-расстояние», при этом были получены достаточно разные результаты. Количество кластеров также рассматривалось разное: от двух до восьми. Восемь (максимальное число кластеров) было выбрано по количеству рассмотренных федеральных округов, а один кластер не рассматривался из-за бессмысленности в этом случае проведения кластерного анализа).

Построение дендрограмм

Дендрограмма при проведении кластерного анализа обычно используется для представления структуры дерева. Она представляет иерархическую структуру данных, используя вертикальную или горизонтальную диаграмму [Everitt et al., 2011]. В *R* построение дендрограммы возможно при помощи команды `plot`, например: `plot(hcl)` [Kabacoff, 2011]. При этом так называемые «листья» будут соответствовать исследуемым параметрам, а по длине «ветви» можно визуальным образом определить степень различия между кластерами. Другими словами, чем длиннее линии иерархий в дендрограмме, тем большее различие между кластеризованными параметрами. Основное преимущество данного подхода заключается в простой интерпретируемости полученных результатов, возможности быстрого определения корректировки параметров иерархической кластеризации.

Проведение кластеризации

Реализация иерархической кластеризации проводилась при помощи языка *R* [Bruce et al., 2020; Metloff, 2019], для исследования данных, как упоминалось ранее, были применены все рассмотренные в данной статье гиперпараметры: расстояние между координатами (2,4) и расстояние между кластерами (5-9); была рассмотрена возможность разбиения данных от 2 до 8 кластеров. Наиболее удачным вариантом оказалась реализация применения Манхэттенского расстояния и метода Уорда с разбиением на 4 кластера (при этом стоит отметить, что разбиение на 2 кластера также является актуальным решением).

Пример кода с применением нормализации, разбиением на кластеры и построением дендрограммы представлен на рисунке 2 (разделение на четыре кластера, применение Манхэттенского расстояния и метода Уорда (причем метод Уорда рассматривался согласно алгоритмам, представленным в работах Wishart D. [Wishart, 1969] и Murtagh F. [Murtagh, 1983], а не Kaufman L., Rousseeuw P. [Kaufman, Rousseeuw, 1990] и Legendre P. [Legendre, 2012])).

```
df.scaled <- scale(df[,c(3,5)])  
rownames(df.scaled) <- c(data$X1)  
res.dist <- dist(x=df.scaled, method = "manhattan")  
x <- as.matrix(res.dist)  
round(x,digits = 3)  
res.hc <- hclust(d=res.dist, method = "ward.D")  
fviz_dend(res.hc, cex=0.8, lwd=0.8, k=4, rect = TRUE,  
           k_colors = c("red", "blue", "grey"),  
           rect_border = "jco",  
           type = "rectangle",  
           repel=TRUE,  
           rect_fill = TRUE, horiz=TRUE)
```

Рис. 2. Реализация иерархической кластеризации и разработка дендрограммы при помощи языка *R* (выбрано: Манхэттенское расстояние между координатами и метод Уорда для межкластерного расстояния)

Fig. 2. Implementing hierarchical clustering and designing a dendrogram with *R* (used: Manhattan distance and Ward's method)

Исходя из правил иерархической кластеризации, которые были упомянуты ранее, было рассмотрено разбиение на 2 и 4 кластера. В рамках проведенного исследования более подробно рассмотрено распределение данных на 4 кластера (построение диаграмм методом «boxplot», оценка средних значений и их отклонения от медианы, оценка размаха основного массива данных, который был принят соответственно 25-му и 75-му процентиллю). При этом одно из основных правил при проведении кластеризации было сформулировано так: федеральные округа при первоначальном объединении не должны перемешиваться друг с другом, т.е. первые итерации объединения в кластеры проходили бы только в рамках временного ряда только одного федерального округа. Таким образом, можно было бы достичь более целостной и интерпретируемой структуры иерархического «дерева». В результате была разработана дендрограмма (рисунок 3), которая отражает иерархическое объединение в кластеры (была рассмотрена кластеризация по всем исследуемым параметрам одновременно с учетом проведенной нормализации каждого из них).

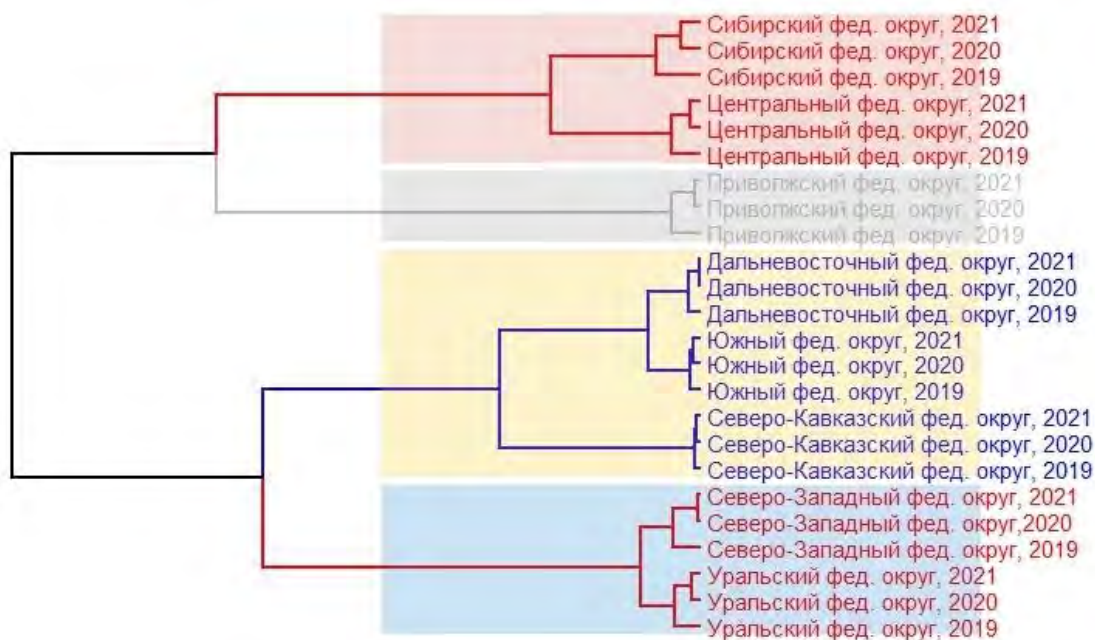


Рис. 3. Результат проведения иерархического кластерного анализа
для совокупности исследуемых параметров в виде дендрограммы

Fig. 3. The result of the hierarchical cluster analysis, the development of the dendrogram

Собранные данные в период с 2019 по 2021 годы в первой итерации были кластеризованы по федеральным округам. Причем была выделена интересная закономерность: поначалу происходила кластеризация данных за 2020 и 2021 годы и только затем «присоединялись» данные за 2019 год. Данная закономерность была выделена для всех федеральных округов. Здесь можно сделать вывод, что значения данных, которые отражают производственно-экономические показатели за 2019 год, могли достаточно заметно отличаться от данных в 2020 и 2021 году. Рассмотренная закономерность представляет достаточно большой интерес и является хорошим вопросом для проведения дальнейших исследований.

В последующих итерациях происходило объединение федеральных округов в все большие и большие кластеры. Наиболее значимыми при этом явилось разбиение на 2 и 4 кластера. Установленное ранее правило о том, что на начальных стадиях кластерного анализа федеральные округа не должны были «перемешиваться» между собой также было соблюдено.

Для интерпретации результатов проведенного кластерного анализа хорошим инструментом могут также явиться методы разведочного анализа данных. Проведение разведочного анализа данных (*exploratory data analysis*, далее – *EDA*) [Tukey, 1962] с учетом полученных кластеров поможет лучше сформировать выводы проведенной работы, определить ряд возможных правил и зависимостей между параметрами.

Интерпретация результатов кластерного анализа при помощи методов разведочного анализа данных

В проводимой работе были применены следующие методы *EDA* [Tukey, 1977]: оценка центральных положений, распределение данных по процентиллям, определение основного массива данных. Причем *EDA* проводился исходя из учета сформированных четырех кластеров. Одним из наиболее подходящих графических представлений получен-

ных результатов может явиться диаграмма, построенная методом «*boxplot*» (или коробчатая диаграмма) [Hintze, 1998]. На рисунке 4 представлена разработка графика методом «*boxplot*» на языке R.

```
BOXPLOT_X3 <- ggplot(data=data_boxplot)+
  geom_boxplot(aes(x=X1, y=X3),
    fill="grey",
    colour="black",
    alpha=0.3,
    notch = TRUE,
    outlier.color = "red",
    outlier.size = "10") +
  stat_summary(aes(x=X1, y=X3),
    fun=mean,
    geom="point",
    shape=3,
    size=8,
    color="black",
    alpha=1)
```

Рис. 4. Пример разработки графика методом «*boxplot*» на языке R

Fig. 4. An example of developing a boxplot in R

На примере параметра, который отражает объемы производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг, была получена диаграмма для исследования распределений и интерпретации иерархического кластерного анализа при помощи метода «*boxplot*» (рисунок 5). Цветом представлено разделение на кластеры.

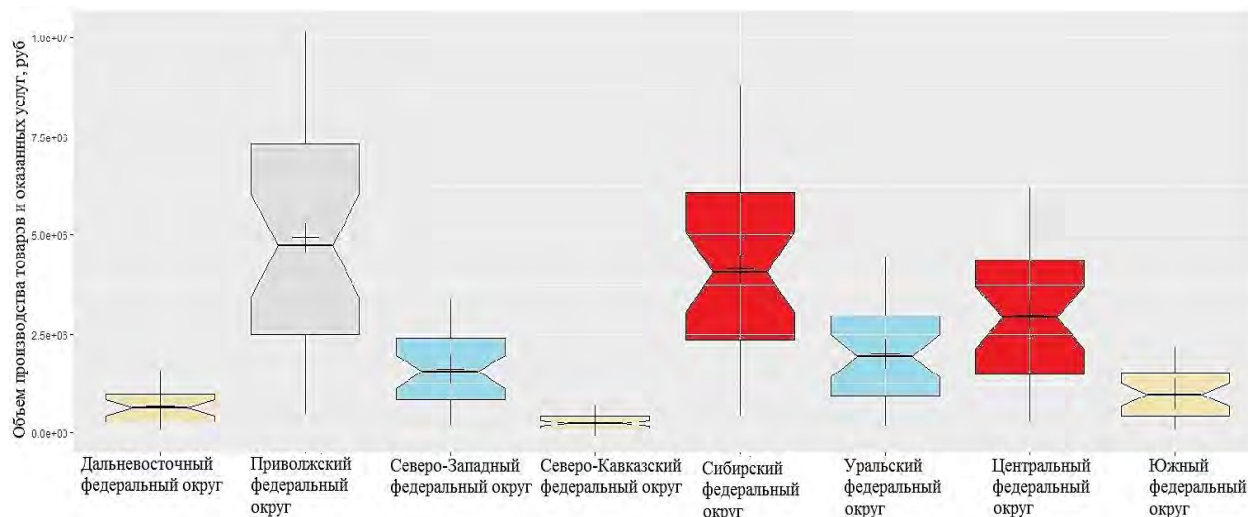


Рис. 5. Исследование распределений для интерпретации результатов иерархического кластерного анализа при помощи метода «*boxplot*»

Fig. 5. Interpretation of the results of hierarchical cluster analysis using a boxplot

Кроме того, исследуемые метрики рассматриваемых параметров из рисунка 5 можно представить и в виде таблицы (где: *Min* – минимальное значение, *Q₂₅* и *Q₇₅* – соответственно 25-й и 75-й процентиль исследуемых данных (Hyndman R. J., Yanan Fan, 1966), *Median* – медиана, *Mean* – среднее арифметическое, *Max* – максимальное значение).



Таблица
Table

Основные метрики распределения данных и центральных положений
с учетом проведенного кластерного анализа
The main metrics of the distribution of data and central positions,
taking into account the performed cluster analysis

№ кластера	Фед. округ	Min	Q ₂₅	Median	Mean	Q ₇₅	Max
1	Сибирский фед. округ	7187493	7628825	8070157	8017197	8432048	8793940
	Центральный фед. округ	5353162	5671065	5988969	5844630	6090365	6191761
2	Приволжский фед. округ	9302259	9711546	10120832	9858558	10136708	10152584
3	Дальневосточный фед. округ	1308492	1438144	1567796	1485952	1574683	1581569
	Южный фед. округ	1944345	2008005	2071664	2071664	2135324	2198984
	Северо-Кавказский фед. округ	617579	632378	647178	663845	686979	726779
4	Северо-Западный фед. округ	2799142	3069550	3339958	3174473	3362139	3384320
	Уральский фед. округ	3739593	3973469	4207345	4128008	4322216	4437087

Исходя из представленной таблицы, можно оценить границы распределения для каждого кластера как по минимальным и максимальным значениям, так и по процентиям (что более предпочтительно). Также можно отметить незначительную (в рамках исследуемого масштаба данных) разницу между средним арифметически и медианным значением, что говорит о равномерном распределении данных.

Исследуя график на рисунке 5 и представленную соответствующую ему таблицу, можно сказать, что Дальневосточный, Южный и Северо-Кавказский федеральные округа, объединились в один кластер, который соответствует наименьшим порогам для параметра, который отражает объемы производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг. Приволжский федеральный округ, наоборот, занимает в данном случае доминирующую позицию, настолько сильную, что был выделен в целый отдельный кластер.

Таким образом, результаты проведения кластерного анализа были получены достаточно адекватные и интерпретируемые. А применение *EDA* помогло еще более глубоко понять причины распределения федеральных округов в иерархии. Далее рассмотрим возможность применения кластеризации для каждого отдельно взятого параметра.

Приоритет группового исследования параметров

Рассмотрим применение иерархического кластерного анализа для отдельно взятых параметров. В первую очередь была проведена кластеризация для параметра, который отражает значения объема производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг, связанный с привлечением осужденных к труду (рисунок 6).

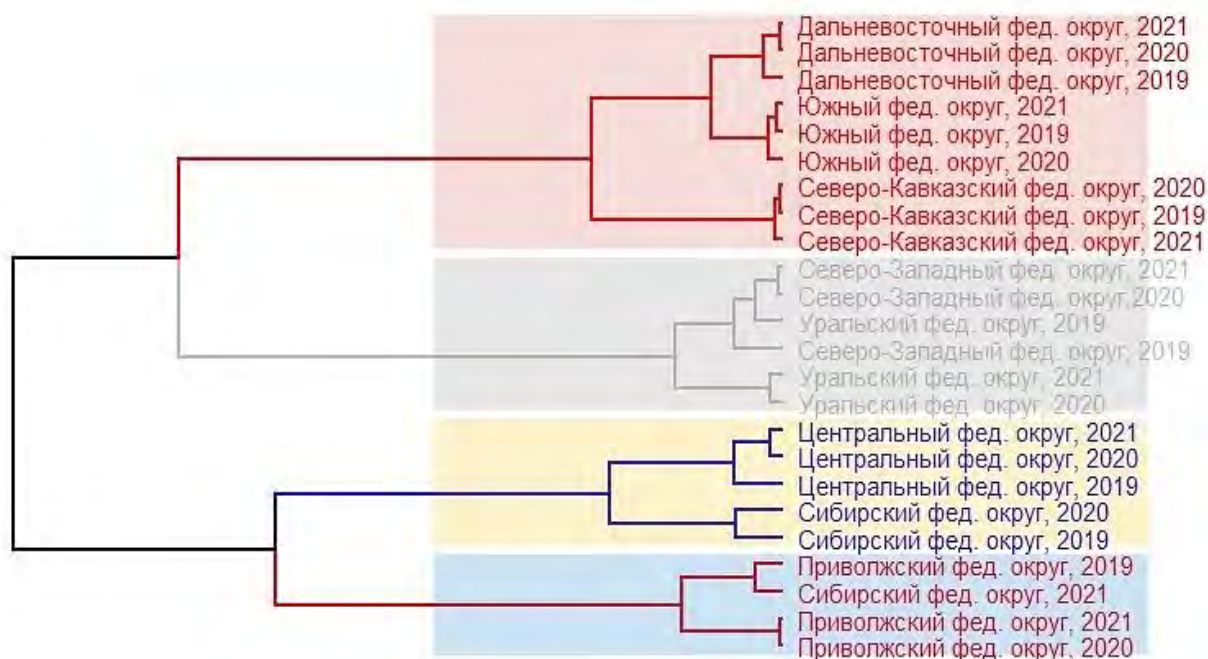


Рис. 6. Результат проведения иерархического кластерного анализа в виде дендрограммы для параметра, который отражает значения объема производства товаров, выполненных работ и оказанных услуг, связанный с привлечением осужденных к труду
Fig. 6. The result of the hierarchical cluster analysis for the volume of production of goods, works and services, associated with the involvement of convicts in labor

Как видно из рисунка 6, при проведении кластерного анализа наблюдается «перемешивание» между регионами. Результат был получен следующий: Уральский федеральный округ на первых же этапах кластеризации стал объединяться с Северо-Западным федеральным округом, Сибирский федеральный округ попал сразу в два кластера.

При разделении на 2 кластера для исследуемого параметра было установлено, что объединились округа: первый кластер – Дальневосточный федеральный округ, Южный федеральный округ, Северо-Кавказский федеральный округ, Северо-Западный федеральный округ, Уральский федеральный округ; второй кластер – Центральный федеральный округ, Сибирский федеральный округ, Приволжский федеральный округ.

При разделении на 4 кластера было установлено, что объединились округа: первый кластер – Дальневосточный федеральный округ, Южный федеральный округ, Северо-Кавказский федеральный округ; второй кластер – Северо-Западный федеральный округ, Уральский федеральный округ; третий кластер – Центральный федеральный округ, Сибирский федеральный округ; четвертый кластер – Сибирский федеральный округ, Приволжский федеральный округ.

Далее аналогичным образом была проведена иерархическая кластеризация для параметра, который отражает значения среднесписочной численности осужденных, привлеченных к труду. Результат представлен на рисунке 7.

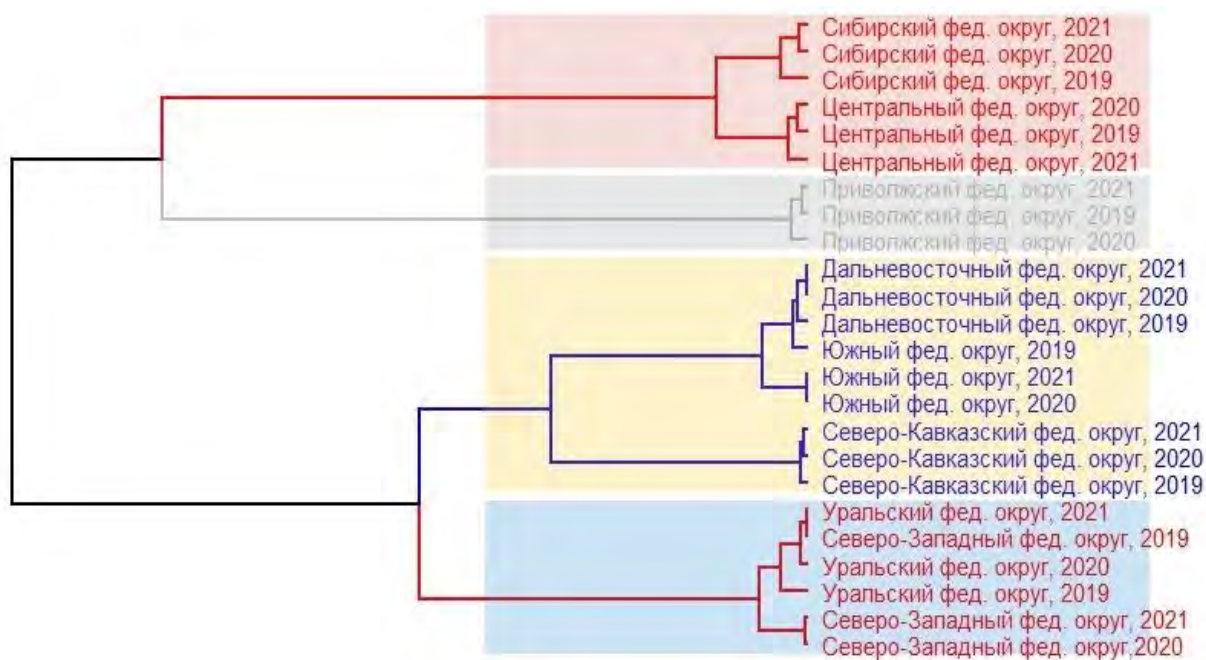


Рис. 7. Результат проведения иерархического кластерного анализа в виде дендрограммы для параметра, который отражает значения среднесписочной численности осужденных, привлеченных к труду

Fig. 7. The result of a hierarchical cluster analysis to monitor the average number of convicts involved in labor

Здесь, при проведении кластерного анализа, были получены следующие результаты: Уральский федеральный округ «перемешался» с Северо-западным федеральным округом; Южный федеральный округ объединился с Дальневосточным федеральным округом.

Если рассматривать разделение на 2 кластера: первый кластер – Сибирский федеральный округ, Центральный федеральный округ, Приволжский федеральный округ; второй кластер – Дальневосточный федеральный округ, Южный федеральный округ, Северо-Кавказский федеральный округ, Уральский федеральный округ, Северо-Западный федеральный округ.

Если же рассматривать разделение на 4 кластера, то результаты были получены следующие: первый кластер – Сибирский федеральный округ, Центральный федеральный округ; второй кластер – здесь был только выделен один федеральный округ – Приволжский; третий кластер – Дальневосточный федеральный округ, Южный федеральный округ, Северо-Кавказский федеральный округ; четвертый кластер – Уральский федеральный округ, Северо-Западный федеральный округ.

Таким образом, при проведении кластерного анализа только для одного исследуемого параметра являются достаточно проблематичными сразу несколько позиций: первое – при первых же итерациях кластеризации федеральные округа начинают «перемешиваться» между собой; второе – некоторые федеральные округа попали сразу в несколько кластеров (например, при разбиении на четыре кластера). Все это приводит к тому, что полученные результаты практически невозможно интерпретировать, невозможно охарактеризовать каждый федеральный округ в рамках исследуемых параметров. Представляется также затруднительным проведение разведывательного анализа данных и определение доминирующих федеральных округов в рамках исследуемых параметров. Резюмируя сказанное в данном разделе, наилучшим решением в плане интерпретации и получения результатов при проведении иерархического кластерного анализа является выбор и исследование сразу нескольких интересующих параметров (значения которых следует предварительно нормализовать).

Заключение

В работе были рассмотрены возможности применения иерархического кластерного анализа для изучения производственно-экономических параметров на примере данных уголовно-исполнительной системы. Были рассмотрены данные федеральных округов с 2019 по 2021 годы и установлено, что рассмотренный в статье метод машинного обучения является достаточно эффективным инструментом. Одними из значительных преимуществ иерархического кластерного анализа являются: прекрасная информативная визуализация при помощи построения дендрограмм; возможность оценить «доминирующие» федеральные округа в рамках исследуемых показателей.

Одними из открытых вопросов кластерного анализа считаются: выбор расстояний между координатами; выбор наиболее подходящего расстояния между кластерами; определение числа кластеров. На сегодняшний день единственным достоверным способом получить ответы на данные вопросы является применить данные гиперпараметры на практике. Кроме того, была также установлена важность применения предобработки данных перед проведением кластерного анализа – решение проблемы пропущенных данных и их нормализация могут сыграть в дальнейшем важную роль в интерпретации результатов.

Особым пунктом следует отметить эффективность применения *EDA* вместе с иерархической кластеризацией: в некоторых случаях методы *EDA* могут явиться наилучшим решением для интерпретации и объяснения результатов кластерного анализа.

В проведенной работе было установлено, что для интерпретируемых результатов иерархического кластерного анализа предпочтительнее рассматривать исследуемые параметры комплексно, а не по отдельности. В работе было отмечено, что данные за 2019 год для всех федеральных округов выделяются в отдельную «ветку» иерархии, что дает повод для проведения дополнительных исследований (здесь перспективным может явиться исследование временных рядов и разработка прогностических численных моделей).

References

- Brian S.E., Sabine Landau, Morven Leese, Daniel Stah. 2011. Cluster Analysis. Wiley, 5th Edition. 71-110.
- Bruce P., Bruce A., Gedeck P. 2020. Practical statistics for Data Scientists. O'Reilly. 363 p.
- Hintze J.L. 1998. Violin Plots: A Box Plot – Density Trace Synergism. The American Statistician. 2(52): 181–84.
- Hyndman R.J., Yanan Fan. 1966. Sample Quantiles in Statistical Packages. American Statistician. 4(50): 361–65.
- Kabacoff R.I. 2011. R in action. Manning Publications Co. 451 p.
- Kaufman L., Rousseeuw P. 1990. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Wiley. 335 p.
- Legendre P. 2012. Numerical ecology. 3rd English ed. - Amsterdam: Elsevier. 990 p.
- Metloff N. 2019. The art of R programming. Starch Press. 416 p.
- Murtagh F. 1983. A survey of recent advances in hierarchical clustering algorithms. The Computer Journal. №26. 354–359.
- Murtagh F., Contreras P. 2017. Algorithms for hierarchical clustering: an overview. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 7(6): 1219.
- Stekh Y., Kernyskiy A., Lobur M. 2006. Hierarchical clustering algorithms for large datasets. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Proceedings of International Conference, TCSET 2006. 388-390.
- Tukey J.W. 1962. The Future of Data Analysis. The Annals of Mathematical Statistics. № 1. 1–67.
- Tukey J.W. 1977. Exploratory Data Analysis. Reading, Mass.: Addison Wesley. 688 p.
- Ward J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. of the American Statistical Association. 236 p.
- Wishart D. 1969. An algorithm for hierarchical classifications, Biometrics 25, 165–170.



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Пономарев Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник филиала (г. Ижевск) федерального казенного учреждения «Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний»; доцент кафедры «Водоснабжение и водоподготовка», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitry S. Ponomarev, Candidate of Technical Sciences leading researcher of the branch (Izhevsk) of the Federal State Institution Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russian Federation; Associate Prof. of Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-669-680

Применение сети долгой краткосрочной памяти для прогнозирования цен акций в условиях неопределенности

Бушуев М.В., Беришев М.Ш., Беришева Е.Д., Востриков Е.И.

Волгоградский государственный технический университет,
Россия, 400005, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28.

E-mail: ant.eon@mail.ru, odisej.axenov@yandex.ru, ant.eon148@gmail.com

Аннотация. Прогнозирование цен акций различных компаний является одной из важнейших и сложных задач в финансовой экономике. Чем выше точность прогнозирования, тем больше прибыли может получить инвестор с торговли акциями. В настоящее время существует множество моделей прогнозирования, как статистических, так и с использованием машинного обучения. Однако у всех этих моделей есть один большой недостаток – они не способны учитывать последовательность данных при прогнозировании, что значительно снижает точность предсказания. Для решения данной проблемы было предложено применение модели глубокого обучения – рекуррентной нейронной сети долгой краткосрочной памяти. Данная модель способна учитывать хронологию данных, а также работать с большим количеством исторических данных. Целью данного исследования является анализ и разработка нейронной сети долгой краткосрочной памяти для прогнозирования котировок акций. Для анализа предложенной модели прогнозирования были проведены эксперименты по оценке точности прогнозов, выдаваемых разработанной нейронной сетью. В результате проведенных экспериментов было выявлено, что нейронная сеть долгой краткосрочной памяти по результатам прогнозирования превосходит довольно популярную статистическую модель SARIMAX. Разработанная модель может быть полезна для инвесторов в качестве дополнительного эффективного инструмента прогнозирования котировок акций.

Ключевые слова: машинное обучение, глубокое обучение, искусственная нейронная сеть, прогнозирование финансовых временных рядов, биржевая торговля

Для цитирования: Бушуев М.В., Беришев М.Ш., Беришева Е.Д., Востриков Е.И. 2023. Применение сети долгой краткосрочной памяти для прогнозирования цен акций в условиях неопределенности. Экономика. Информатика, 50(3): 669–680. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-669-680

Application of a Long Short-Term Memory Network to Predict Stock Prices under Uncertainty

Maxim V. Bushuev, Marat Sh. Berishev, Elena D. Berisheva, Evgeniy I. Vostrikov

Volgograd State Technical University,
28 Lenina Ave, Volgograd, 400005, Russian Federation
E-mail: ant.eon@mail.ru, ant.eon148@gmail.com

Abstract. Forecasting the prices of shares of various companies is one of the most important and complex tasks in the financial economy. The higher the forecasting accuracy, the more profit an investor can get from stock trading. Currently, there are many forecasting models, both statistical and using machine learning. However, all these models have one big drawback - they are not able to take into account the data sequence when predicting, which significantly reduces the prediction accuracy. To solve this problem, it was proposed to use a deep learning model a recurrent neural network of long short-term memory. This model is able to take into account the chronology of data, as well as work with a large amount of historical data. The purpose of this study is to analyze and develop a long short-term memory neural network for predicting stock prices. To analyze the proposed forecasting model, experiments were carried out to assess the accuracy of forecasts issued by the developed neural network. As a result of the experiments, it was



found that the neural network of long short-term memory, according to the results of forecasting, is superior to the rather popular statistical model SARIMAX. The developed model can be useful for investors as an additional effective tool for forecasting stock prices.

Keywords: machine learning, deep learning, artificial neural network, financial time series forecasting, stock trading

For citation: Bushuev M.V., Berishev M.Sh., Berisheva E.D., Vostrikov E.I. 2023. Application of a Long Short-Term Memory Network to Predict Stock Prices Under Uncertainty. Economics. Information technologies, 50(3): 669–680 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-669-680

Введение

Одной из важнейших задач в финансовой экономике является прогнозирование будущих цен акций различных компаний. Чем выше точность прогнозирования, тем больше прибыли может получить инвестор с торговли акциями [Tao et al., 2018].

Прогнозирование цены акции – достаточно сложная и нетривиальная задача, поскольку цена акции динамична, нелинейна, имеет высокую волатильность и непостоянную дисперсию. Цена акции зависит от различных факторов, таких как текущее состояние экономики, финансовое положение самой компании – эмитента акции, политическая обстановка, сезонность, текущие предпочтения инвесторов [Нестерова, 2020]. Данные о динамике цен акции представляются в виде временных рядов. Финансовые временные ряды имеют краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный тренды, сезонные и циклические колебания, а также случайный шум, что сильно осложняет их анализ и прогнозирование [Обрубов, 2021].

В настоящее время существует большое количество моделей и методов прогнозирования цен акций. В биржевой торговле широко используются экономико-математические, экспертные и статистические методы, прогнозирование с помощью фундаментального и технического анализа. Среди наиболее популярных моделей прогнозирования котировок ценных бумаг, обращающихся на фондовом рынке, можно выделить авторегрессионное интегрированное скользящее среднее (ARIMA), экспоненциальное сглаживание и фильтрацию Кальмана [Передриенко и др., 2020]. Однако все эти методы обладают определенными недостатками, из-за чего всё большую популярность приобретают более продвинутые модели прогнозирования, основанные на машинном и глубоком обучении.

Классические модели и методы могут хорошо работать только со стационарными временными рядами. Их можно использовать и для обработки нестационарных данных, однако производительность будет очень низкой. Стационарные данные можно преобразовать в нестационарные, однако в таком случае исходная структура будет искажена. Почти все классические модели предназначены для работы с данными, которые имеют линейную зависимость. В то же время временные ряды реального мира часто бывают нелинейными [Губарева, 2020].

В отличие от классических моделей прогнозирования, предполагающих реализацию готовых алгоритмов, глубокое обучение основано на системе распознавания скрытых закономерностей. Методы глубокого обучения способны изучать сложные и нелинейные отношения по сравнению с классическими методами [Khoojine, Han, 2020].

Объекты и методы исследования

Целью данного исследования является анализ и разработка нейронной сети долгой краткосрочной памяти для прогнозирования котировок акций.

Существует множество типов и видов искусственных нейронных сетей, которые можно использовать для прогнозирования финансовых временных рядов [Balci, 2020]. Фи-

нансовые временные ряды являются последовательными данными, они имеют определенный порядок, который важно учитывать. Однако в большинстве архитектур искусственных нейронных сетей каждый входной признак обрабатывается независимо. Таким образом, обычные многослойные нейронные сети практически не способны учитывать порядок данных. Рекуррентные нейронные сети являются наиболее подходящими для обработки финансовых временных рядов, поскольку данные нейронные сети способны учитывать порядок данных [Yan et al., 2022].

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) состоит из множества ячеек и представляет собой повторяющуюся комбинацию нескольких идентичных ячеек, где выходные данные каждой ячейки являются входными данными для следующей ячейки [Сунчалин, 2020]. Каждая ячейка в сети содержит набор входных, скрытых и выходных единиц. Отличительной особенностью рекуррентной нейронной сети является способность сохранять внутреннюю память о входных данных. Именно данная особенность и обеспечивает учет хронологии при прогнозировании временных рядов.

Однако у рекуррентных нейронных сетей имеется недостаток – при большом количестве входных данных обучение модели становится слишком медленным либо совсем останавливается. Данная проблема также известна как проблема затухающего градиента [Nayak et al., 2018]. Для решения проблемы затухающего градиента были разработаны модификации рекуррентной архитектуры. Одной из таких модификаций является рекуррентная нейронная сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM).

Применение долгой краткосрочной памяти решает проблему сохранения информации в течение более длительных интервалов времени за счет использования градиентного метода, который является улучшением по сравнению с обычной моделью рекуррентной нейронной сети. Обычные рекуррентные нейронные сети имеют достаточно короткую внутреннюю память, в то время как нейронные сети долгой краткосрочной памяти имеют более длинную память и способны учиться на входных данных, которые отделены друг от друга большими временными отрезками. Было проведено множество исследований, в которых сеть долгой краткосрочной памяти значительно превосходит базовые показатели таких моделей машинного обучения, как многослойный персептрон (MLP), метод опорных векторов (SVM) и обычную рекуррентную нейронную сеть при прогнозировании цен открытия и цен закрытия для котировок ценных бумаг [Yamin, Gulzar, 2020].

Архитектура нейронной сети долгой краткосрочной памяти представлена на рис. 1. Сеть принимает на вход вектор входных данных, а на выходе выдает вектор выходных данных. Сеть состоит из ячеек, каждая ячейка содержит в себе нейроны, в которых используется функция активации в виде сигмоида или гиперболического тангенса. Нейронная сеть имеет 3 вентиля: вентиль обновления, вентиль забывания, выходной вентиль. Вентиль обновления определяет, стоит ли добавлять новые данные для обучения. Вентиль забывания удаляет неважную информацию. Выходной вентиль определяет, какую информацию необходимо вывести из нейронной сети.

Результаты и их обсуждение

Была проведена серия экспериментов по оценке точности прогнозов, выполненных при помощи нейронной сети долгой краткосрочной памяти. Прогнозы осуществлялись по следующим параметрам котировок: максимальная цена (High), минимальная цена (Min), цена закрытия (Close), цена открытия (Open). Обучение для каждого финансового временного ряда проводилось по отдельности.

Сеть состоит из 5 слоев: входной слой, 2 LSTM слоя, один промежуточный полносвязный слой, один выходной слой. Входной слой содержит количество нейронов, соответствующее размерности входных данных. Каждый из LSTM слоев содержит большое количество нейронов – 256. Промежуточный полносвязный слой содержит 32 нейрона. Выходной слой содержит лишь один нейрон. В качестве функции активации всех нейронов была

использована ReLU, которая является одной из самых популярных и проверенных функций активации [Guo et al., 2022].

Производительность и точность работы нейронной сети сильно зависит от выбора гиперпараметров [Имамзалин, 2019]. Обучение нейронной сети на исторических данных только одного финансового инструмента требует больших вычислительных мощностей. Выбор гиперпараметров архитектуры нейронной сети был произведен экспериментальным образом с помощью автоматизированных средств. Поскольку сеть должна обучаться с нуля для каждого отдельного финансового инструмента, при разработке архитектуры сети основное предпочтение отдавалось производительности. Было проведено множество исследований, в которых было установлено, что именно в рекуррентной сети большее число нейронов является более предпочтительным, чем большее число слоев [Yan et al., 2022]. Схема архитектуры искусственной нейронной сети, примененной в эксперименте, показана на рис. 2.

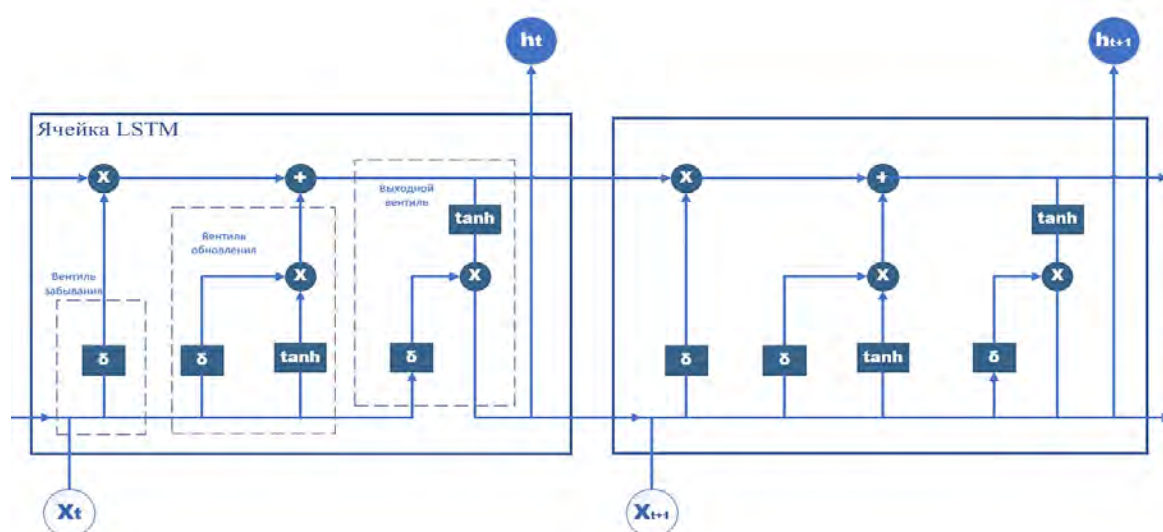


Рис.1. Архитектура сети долгой краткосрочной памяти
Fig.1. Long Short Term Memory Network Architecture

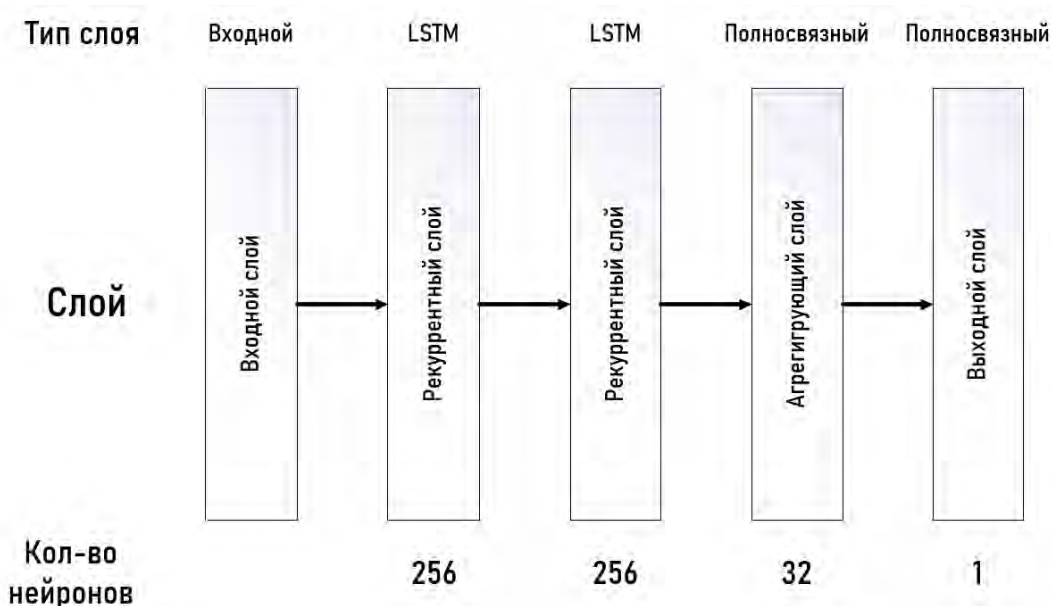


Рис.2. Архитектура нейронной сети, использованной в экспериментах
Fig.2. Architecture of the neural network used in the experiment

Данные являются важным компонентом прогнозирования фондового рынка и играют особую роль в процессе прогнозирования. Для проведения экспериментов были использованы исторические данные изменения цен акций 10 крупных компаний за три года – в период с 1 января 2020 года по 1 января 2023 года. Компании относятся к разным секторам экономики. Технические индикаторы не были использованы в качестве входных данных.

Для всех экспериментов данные были разделены на 2 выборки: обучающая – первые 80% данных, тестовая – 20% данных. Исторические данные были получены с Московской Биржи. Данные прошли предварительную обработку, которая включала в себя удаление неполных записей и минимаксную нормализацию. Множество исследований показали, что использование предварительно обработанных данных приводит к более эффективным прогнозам [Тимофеев, Лебединская, 2022].

Эксперименты проводились в среде Jupyter Notebook с использованием библиотеки глубокого обучения TensorFlow 2, написанной на языке программирования Python.

В качестве оптимизатора обучения нейронной сети был использован современный оптимизатор Adam. Алгоритм Adam является разновидностью мини-пакетного градиентного спуска, при котором обучение проводится на данных, разбитых на мини-пакеты [Liu, Ma, 2022]. Была выбрана минимальная размерность мини-пакета, что, с одной стороны, сильно снижает скорость обработки данных, а с другой – гарантирует максимально возможную точность. Поскольку задача прогнозирования цен акций является задачей регрессии, в качестве функции потерь была использована среднеквадратическая ошибка (Mean Squared Error, MSE). Длительность обучения (количество эпох) варьируется в зависимости от использованного в эксперименте таймфрейма.

Самыми популярными метриками оценки точности прогнозов являются корень из среднеквадратической ошибки и коэффициент детерминации, однако их достаточно сложно интерпретировать [Cui et al., 2019]. Именно поэтому для оценки точности прогнозов использовалась следующая метрика – среднее абсолютное процентное отклонение (MAPE), которая выражает ошибочность модели прогнозирования в виде процентов. Расчет метрики производился на тестовой выборке. Чем меньше MAPE, тем выше точность прогнозов.

Для оценки эффективности разработанной нейронной сети были также проведены эксперименты и с моделью SARIMAX с теми же данными. Для каждого эксперимента было проведено сравнение результатов, полученных с помощью модели SARIMAX и полученных с помощью разработанной нейронной сети.

Модель SARIMAX расшифровывается как «расширенное авторегрессионное интегрированное скользящее среднее с сезонностью». Модель SARIMAX является модификацией модели ARIMA, которая доказала свою эффективность во множестве исследований, посвященных прогнозированию временных рядов [Имамзалин, 2019]. Модель ARIMA – довольно популярная статистическая модель, которая предназначена для прогнозирования будущих значений временного ряда на основе прошлых значений. В отличие от стандартной модели ARIMA, модель SARIMAX использует дополнительные экзогенные переменные, которые могут оказать влияние на временной ряд и помочь улучшить точность прогнозов.

Модель SARIMAX характеризуется множеством параметров, от которых зависит эффективность работы модели для конкретного временного ряда. При проведении экспериментов данные параметры были автоматически подобраны для каждого временного ряда с помощью использования библиотеки «pmdarima».

Модель SARIMAX в результатах экспериментов обозначена как «ARIMA», в то время как сеть долгой краткосрочной памяти обозначена как «LSTM».

В эксперименте №1 данные имеют дневной временной интервал (дневной таймфрейм). Длительность обучения нейронной сети – 5 эпох. Обучение сети производилось на данных за все 3 года. Результаты проведенного эксперимента продемонстрированы в таблице 1.



Таблица 1
Table 1

Результаты эксперимента №1 по оценке точности прогнозов,
выдаваемых сетью LSTM и моделью SARIMAX на данных с дневным таймфреймом
Results of experiment No. 1 on assessing the accuracy of forecasts issued
by the LSTM network and the SARIMAX model on data with a daily timeframe

Тикер	MAPE(Close), %		MAPE(High), %		MAPE(Low), %		MAPE(Open), %	
	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM
SBER	10.0	5.59	7.39	1.72	8.67	2.83	10.0	3.00
LKOH	6.92	4.37	6.65	1.80	9.05	3.94	6.92	2.00
VTBR	10.24	9.40	4.57	4.46	2.23	1.86	6.64	4.00
ROSN	10.55	2.82	11.0	2.30	10.79	2.40	10.55	3.82
SIBN	8.32	3.19	7.9	2.22	7.76	2.07	8.32	1.87
TATN	7.31	3.40	7.2	2.00	8.33	4.77	7.31	2.60
RTKM	7.98	3.32	12.05	2.34	6.94	1.73	7.98	1.27
NLMK	8.58	4.13	8.93	2.87	8.16	2.43	8.05	2.66
SNGS	9.65	5.78	9.78	7.94	4.84	3.20	9.65	2.33
GAZP	5.52	2.87	5.39	2.43	10.32	6.11	5.52	3.54
Среднее	8.51	4.49	8.09	3.01	7.71	3.13	8.09	2.71

Исходя из результатов эксперимента №1, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод, что для данных с дневным временным интервалом разработанная LSTM-сеть выдает прогнозы большей точности, чем у модели SARIMAX. Нейронная сеть выдает более эффективные результаты для всех параметров котировок и для всех приведенных финансовых инструментов.

В эксперименте №2 данные имеют часовой временной интервал (часовой таймфрейм). Часовой временной интервал предполагает увеличение объема данных в сравнении с дневным временным интервалом, поэтому в данном эксперименте были использованы данные за последний год, в период с 1 января 2022 года по 1 января 2023 года. Поскольку объем данных в эксперименте больше, чем в предыдущем, длительность обучения нейронной сети была снижена до 3 эпох. Результаты эксперимента №2 продемонстрированы в таблице 2.

По результатам, приведенным в таблице 2, можно сделать вывод, что рекуррентная нейронная сеть демонстрирует более высокие результаты и для данных с часовым временным интервалом. Однако стоит отметить, что в некоторых случаях (например, для тикера NLMK) модель SARIMAX все же превосходит нейронную сеть. В целом, для данных с часовым временным интервалом, и модель SARIMAX, и нейронная сеть выдают прогнозы высокой точности.

В эксперименте №3 данные имеют 10-минутный временной интервал (10-минутный таймфрейм). 10-минутный временной интервал предполагает очень большой объем данных, поэтому были использованы данные за 6 месяцев, в период с 1 июля 2022 года по 1 января 2023 года. Поскольку объем данных в разы больше, чем в предыдущих экспериментах, была использована всего одна эпоха обучения нейронной сети. Результаты эксперимента №3 продемонстрированы в таблице 3.

По результатам эксперимента №3, приведенных в таблице 3, можно сделать вывод, что модель SARIMAX и нейронная сеть долгой краткосрочной памяти показывают превосходные результаты для обработки достаточно длинных временных рядов. При этом у нейронной сети результаты немного лучше, чем у SARIMAX.

Таблица 2
Table 2

Результаты эксперимента №2 по оценке точности прогнозов,
выдаваемых сетью LSTM и моделью SARIMAX на данных с часовым таймфреймом
Results of experiment No. 2 on assessing the accuracy of forecasts issued
by the LSTM network and the ARIMA model on data with a hourly timeframe

Тикер	MAPE(Close), %		MAPE(High), %		MAPE(Low), %		MAPE(Open), %	
	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM
SBER	1.63	1.29	1.48	0.81	1.79	1.39	2.02	1.32
LKOH	0.68	0.94	1.72	0.97	2.08	2.54	1.66	1.48
VTBR	3.24	0.66	3.14	0.71	3.17	0.76	3.22	0.78
ROSN	2.64	1.97	2.42	0.96	2.95	2.02	3.21	1.29
SIBN	4.58	1.17	4.43	2.14	4.36	1.67	4.53	1.55
TATN	0.36	2.25	0.37	0.67	0.39	0.83	0.37	0.78
RTKM	2.44	0.42	2.92	0.52	2.63	0.70	2.71	1.46
NLMK	0.76	1.34	0.73	1.37	1.02	0.94	1.11	1.03
SNGS	1.21	0.71	1.43	0.84	1.33	1.45	1.12	1.29
GAZP	1.84	1.10	1.71	1.25	1.77	1.24	1.78	0.86
Среднее	1.94	1.19	2.04	1.02	2.15	1.35	2.17	1.18

Таблица 3
Table 3

Результаты эксперимента №3 по оценке точности прогнозов,
выдаваемых сетью LSTM и моделью ARIMA на данных с 10-минутным таймфреймом
Results of experiment No. 3 on assessing the accuracy of forecasts issued
by the LSTM network and the ARIMA model on data with a 10-min timeframe

Тикер	MAPE(Close), %		MAPE(High), %		MAPE(Low), %		MAPE(Open), %	
	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM
SBER	1.34	0.33	1.46	0.74	1.42	0.78	1.51	1.07
LKOH	1.23	0.32	1.05	0.28	1.03	0.29	1.07	0.31
VTBR	2.86	0.25	1.56	0.33	1.61	0.31	1.59	0.20
ROSN	2.32	0.87	1.02	0.22	1.58	0.65	1.84	0.73
SIBN	0.56	0.37	0.55	0.36	0.53	0.35	0.51	0.29
TATN	1.63	0.56	1.77	0.92	1.72	0.81	1.66	0.88
RTKM	2.04	0.82	1.99	0.78	1.82	0.72	1.87	0.56
NLMK	2.01	0.81	1.34	0.24	1.69	0.60	1.71	0.75
SNGS	1.53	0.69	1.24	0.37	1.37	0.53	1.49	0.59
GAZP	2.21	0.80	1.98	0.67	1.56	0.48	1.44	0.30
Среднее	1.77	0.58	1.40	0.49	1.43	0.55	1.47	0.57

В эксперименте №4 данные имеют уже недельный временной интервал (недельный таймфрейм). Как и в эксперименте №1, были использованы данные за все 3 года. Поскольку данных небольшое количество, было использовано 10 эпох обучения нейронной сети. Результаты эксперимента №4 продемонстрированы в таблице 4.

Исходя из результатов, полученных в таблице 4, можно сделать вывод, что при обработке данных с недельным временным интервалом сеть долгой краткосрочной памяти в большинстве случаев превосходит модель SARIMAX, однако модель SARIMAX иногда все же демонстрирует более высокие результаты.

В эксперименте №5 данные имеют месячный временной интервал (месячный таймфрейм). Были использованы данные за все 3 года. Объем данных в данном случае совсем небольшой, поэтому было использовано 20 эпох обучения нейронной сети. Результаты эксперимента №5 продемонстрированы в таблице 5.

По результатам эксперимента №5 можно сделать вывод, что, в целом, сеть долгой краткосрочной памяти превосходит SARIMAX даже при прогнозировании с учетом малого количества исходных данных. Однако имеется немало случаев, в которых модель SARI-MAX лучше LSTM нейронной сети.

Таблица 4
Table 4

Результаты эксперимента №4 по оценке точности прогнозов,
выдаваемых сетью LSTM и моделью ARIMA на данных с недельным таймфреймом
Results of experiment No. 4 on assessing the accuracy of forecasts issued
by the LSTM network and the ARIMA model on data with a weekly timeframe

Тикер	MAPE(Close), %		MAPE(High), %		MAPE(Low), %		MAPE(Open), %	
	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM
SBER	8.51	5.81	7.02	9.22	8.01	11.71	8.03	6.03
LKOH	8.65	7.0	8.0	3.79	9.32	14.56	10.56	5.01
VTBR	10.15	4.41	8.13	8.64	7.82	11.95	11.39	5.37
ROSN	17.43	5.62	16.28	4.58	13.48	7.65	15.15	10.86
SIBN	9.03	6.22	7.86	6.03	8.97	4.27	8.76	8.26
TATN	7.16	4.78	6.92	4.75	7.31	7.09	6.87	6.03
RTKM	4.43	3.31	4.26	3.67	4.42	3.87	4.50	4.11
NLMK	40.29	10.44	38.53	11.23	45.82	15.2	43.17	7.50
SNGS	10.03	24.47	10.40	29.39	10.07	6.04	9.69	20.37
GAZP	45.09	9.34	39.96	13.12	35.17	13.78	32.98	12.61
Среднее	16.08	8.14	14.74	9.44	15.04	9.61	15.11	8.62

Итоговые результаты по всем экспериментам продемонстрированы на графике, изображенном на рис. 3. На графике отображено сравнение результатов модели SARIMAX и нейронной сети долгой краткосрочной памяти. Для каждого из 4 параметров котировок по каждому временному интервалу показано среднее MAPE по всем тикерам.

На основании полученных со всех экспериментов результатов можно сделать несколько выводов. Во-первых, с ростом временного интервала данных результаты моделей становятся все хуже. Модели допускают наибольшие ошибки при прогнозировании данных с недельным и месячным интервалами. Во-вторых, нейронная сеть долгой краткосрочной памяти превосходит модель SARIMAX во всех экспериментах, что говорит об высокой эффективности разработанной модели. Тем не менее, в некоторых ситуациях модель SARI-MAX показывала результаты лучше, чем у LSTM-сети.

Таблица 5
Table 5

Результаты эксперимента №5 по оценке точности прогнозов,
выдаваемых сетью LSTM и моделью ARIMA на данных с месячным таймфреймом
Results of experiment No. 5 on assessing the accuracy of forecasts issued
by the LSTM network and the ARIMA model on data with a monthly timeframe

Тикер	MAPE(Close), %		MAPE(High), %		MAPE(Low), %		MAPE(Open), %	
	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM	ARIMA	LSTM
SBER	23.08	19.41	36.10	5.72	10.70	9.22	49.80	6.69
LKOH	22.64	7.10	32.51	7.73	7.83	14.89	34.56	10.53
VTBR	22.64	17.80	46.52	18.04	5.95	10.21	72.75	30.22
ROSN	13.96	10.19	31.46	7.48	14.48	18.75	29.14	10.19
SIBN	8.90	9.27	9.76	6.75	12.80	8.61	10.67	11.21
TATN	7.80	12.46	11.33	14.66	6.93	12.49	6.92	10.80
RTKM	9.80	8.53	16.85	4.70	3.95	4.80	8.79	6.61
NLMK	16.29	11.98	9.70	8.32	54.62	15.09	44.19	13.06
SNGS	9.41	25.15	20.12	18.22	14.88	22.49	22.15	15.69
GAZP	37.77	18.39	50.99	23.36	20.41	19.13	33.75	21.18
Среднее	17.23	14.03	26.53	11.50	15.26	13.57	31.27	13.62

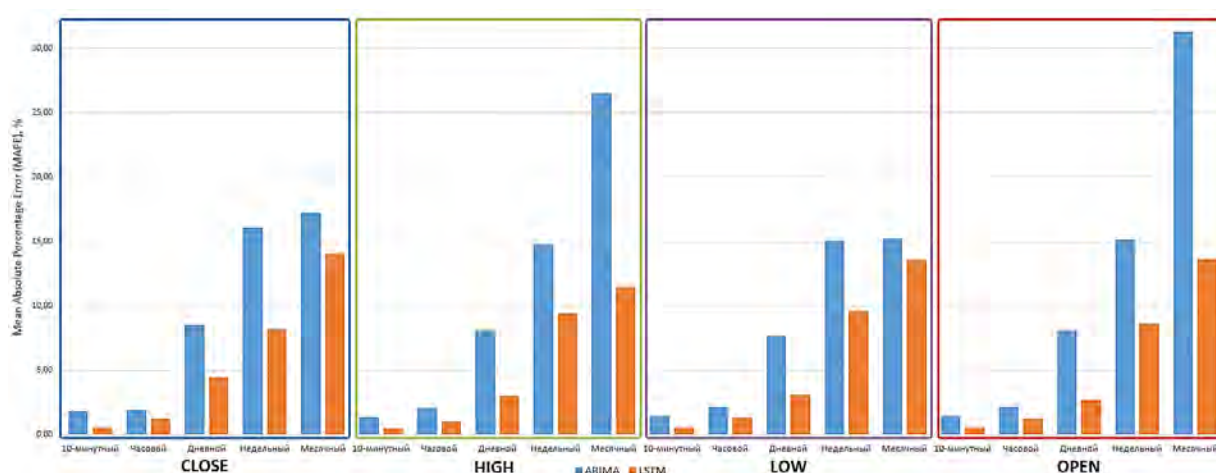


Рис.3. Сравнение результатов всех экспериментов,
произведенных с помощью моделей SARIMAX и LSTM
Fig.3. Comparison of the results of all experiments performed using
the SARIMAX and LSTM models

LSTM-сеть показывает отличные результаты на данных с малым временным интервалом. При прогнозировании нейронной сетью временных рядов с 10-минутным таймфреймом MAPE принимает значение в среднем в диапазоне от 0.5% до 1.5%, при часовом таймфрейме – от 1% до 2%, при дневном таймфрейме – от 2% до 5%. В то же время при недельном и месячном таймфрейме MAPE может достигать достаточно больших значений.

Во всех экспериментах возможно добиться и более низкого MAPE с помощью повышения количества слоев сети, числа нейронов в них, а также увеличение числа эпох обучения. Однако увеличение значений гиперпараметров требует большей вычислительной мощности и может привести к более длительному обучению [Nor, Zawawi, 2020].

В результате проведенных экспериментов было обнаружено, что искусственная нейронная сеть долгой краткосрочной памяти даже при небольшом количестве слоев и нейронов по точности прогнозов превосходит достаточно популярную и мощную модель SARIMAX. Таким образом, нейронная сеть долгой краткосрочной памяти является весьма эффективной моделью прогнозирования финансовых временных рядов.

Заключение

Экспериментальные результаты показывают, модель рекуррентной нейронной сети с двумя слоями долгой краткосрочной памяти, содержащих по 256 скрытых нейронов, может обеспечить высокую точность прогнозирования по сравнению с классическими (статистическими) моделями прогнозирования, такими как ARIMA. Предложенную модель можно легко настроить для применения в прогнозировании котировок акций других компаний, где данные демонстрируют аналогичное поведение.

Стоит учесть, что рациональный прогноз зависит не только от результата конкретной модели, но и от волатильности фондового рынка, особенно во время геополитической напряженности, нарушения глобальной цепочки поставок, различных политических и экономических ситуаций. Если текущее поведение рынка достоверно проанализировано и объединено с результатами модели, есть хорошие возможности для получения прибыли [Mezghani et al., 2021].

Индивидуальные инвесторы и трейдеры стремятся как можно более точно предсказать будущую цену, однако невозможно абсолютно точно спрогнозировать цену акции и предсказать ожидаемую доходность [Liu, Ma, 2022]. Рекуррентная сеть долгой краткосрочной памяти показывает многообещающую возможность максимально точно спрогнозировать будущие котировки акции. В результате заинтересованные стороны могут использовать данную модель глубокого обучения в качестве дополнительной информации для принятия верных инвестиционных решений. Кроме того, научные исследователи могут использовать эту модель для расширения своих знаний в области последовательного моделирования данных.

Предложенная модель может быть определенным образом модифицирована для более точных прогнозов. Рекуррентные нейронные сети долгой краткосрочной памяти могут работать не только с историческими данными, но и с неструктурированной текстовой информацией. Текстовой информацией могут быть политические и финансовые новости, данные из социальных сетей, исследовательские отчеты финансовых аналитиков. Следовательно, можно модифицировать предложенную модель таким образом, чтобы она работала не только с численными данными, но и с текстовыми. Учет таких текстовых данных, как финансовые новости, может значительно повысить точность прогнозов [Хоботов, 2021]. Помимо этого, предложенная модель может быть объединена с другими архитектурами нейронных сетей (например, со сверточной архитектурой), что также может привести к более точным прогнозам.

Список литературы

- Губарева Е.А. 2020. Нейронные сети в анализе временных рядов. *Инновации и инвестиции*, 10: 150-153.
- Губарева Е.А., Хашин С.И. 2021. Вопросы эффективности обучения нейронных сетей при анализе временных рядов. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 9(1): 121-127.
- Имамзаин Т. Р. 2019. Основные методы и модели прогнозирования будущего курса акций. *Наука, Техника и Образование*, 10(63): 63-67.
- Нестерова К.И. 2020. Обзор современных методов прогнозирования динамики цен на фондовом рынке. *Наукофера*, 7: 91-95.
- Обрубов М.О. 2021. Применение LSTM-сети в решении задачи прогнозирования многомерных временных рядов. *Национальная Ассоциация Ученых*, 68(2): 43-48.
- Передриенко А.И., Лютая Т.П., Харитонов И.М., Степанченко И.В. 2020. Методы краткосрочного прогнозирования финансовых временных рядов с малыми объемами выборки. *ИВД*, 5: 65.
- Сунчалин А.М. 2020. Обзор методов и моделей прогнозирования финансовых временных рядов. *Хроноэкономика*, 1: 25-29.
- Тимофеев А.Г., Лебединская О.Г. 2022. Модель применения сверточной нейронной сети (cnn) в сочетании с долговременной памятью (lstm) прогнозирования цены на нефть в условиях неопределенности. *ТДР*, 2: 35-44.

- Хоботов В.А. 2021. Анализ тональности финансовых новостей с применением нейросетевых моделей для прогноза динамики цен на нефть марки Brent. *Актуальные вопросы современной экономики*, 2: 138-143.
- Balci M. A. 2020. Fractional Interaction of Financial Agents in a Stock Market Network. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 5(1): 317-336. DOI: 10.2478/amns.2020.1.00030
- Cui X., Hu J., Wu P. 2021. Investigation of stock price network based on time series analysis and complex network. *International Journal of Modern Physics B*. DOI: 10.1142/S021797922150171X
- Guo W., Li Z., Gao C., Yang Y. 2022. Stock price forecasting based on improved time convolution network. *Computational Intelligence*. DOI: 10.1111/coin.12519
- Khojine A. S., Han D. 2020. Stock price network autoregressive model with application to stock market turbulence. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, 93(7): 133. DOI: 10.1140/epjb/e2020-100419-9
- Liu G., Ma W. 2022. A quantum artificial neural network for stock closing price prediction. *Information Sciences*, 598: 75-85. DOI: 10.1016/j.ins.2022.03.064
- Mezghani T., Ben Hamadou F., Boujelbene Abbes M. 2021. The dynamic network connectedness and hedging strategies across stock markets and commodities: COVID-19 pandemic effect. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*. DOI: 10.1108/APJBA-01-2021-0036
- Nayak S.C., Misra B.B. 2018. Estimating stock closing indices using a GA-weighted condensed polynomial neural network. *Financial Innovation*, 4(1): 21. DOI: 10.1186/s40854-018-0104-2
- Nor S.M., Zawawi N.H.M. 2020. A neural network approach for fundamental investment analysis: a case of Athens Stock Exchange. *Economic Annals-XXI*, 182(4): 56-63. DOI: 10.21003/ea.V182-07
- Tao Z., Chunhui L., Muzhou H. 2018. Forecasting stock index with multi-objective optimization model based on optimized neural network architecture avoiding overfitting. *Computer Science and Information Systems*, 15(1): 211-236. DOI: 10.2298/CSIS170125042T
- Yamin S., Gulzar S. 2020. Multiples and stock price, new approach for relative valuation through neural network. *Singapore Economic Review*. DOI: 10.1142/S0217590820480045
- Yan Z., Zhou K., Zhu X., Chen H. 2022. Application of MEA-LSTM Neural Network in Stock Balance Prediction. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 121: 60-71. DOI: DOI 10.1007/978-3-030-97057-4_6

References

- Gubareva E.A. 2020. Neironnye seti v analize vremennyh rjadov [Neural networks in time series analysis]. *Innovacii i investicii [Innovation and investment]*, 10: 150-153.
- Gubareva E.A., Hashin S. I. 2021. Voprosy jeffektivnosti obucheniya neironnyh setej pri analize vremennyh rjadov [Efficiency Issues of Training Neural Networks in Time Series Analysis]. *Jekonomika: vchera, segodnja, zavtra [Economics: yesterday, today, tomorrow]*. 9(1): 121-127.
- Imamzazin T.R. 2019. Osnovnye metody i modeli prognozirovaniya budushhego kursa akcij [Basic methods and models for predicting the future stock price]. *Nauka, Tehnika i Obrazovanie [Science, Technology and Education]*, 10(63): 63-67.
- Nesterova K.I. 2020. Obzor sovremennyh metodov prognozirovaniya dinamiki cen na fondovom rynke [Overview of modern methods for forecasting price dynamics in the stock market]. *Naukosfera*, 7: 91-95.
- Obrubov M.O. 2021. Primenenie LSTM-seti v reshenii zadachi prognozirovaniya mnogomernyh vremennyh rjadov [Application of the LSTM network in solving the problem of predicting multivariate time series]. *Nacional'naja Associacija Uchenyh [National Association of Scientists]*, 68(2): 43-48.
- Peredrienko A.I., Ljutaja T.P., Haritonov I.M., Stepanchenko I.V. 2020. Metody kratkosrochnogo prognozirovaniya finansovyh vremennyh rjadov s malymi objomami vyborki [Methods for short-term forecasting of financial time series with small sample sizes]. *IVD*, 5: 65.
- Sunchalin A.M. 2020. Obzor metodov i modelej prognozirovaniya finansovyh vremennyh rjadov [Overview of methods and models for forecasting financial time series]. *Hronojekonomika [Chronoeconomics]*, 1: 25-29.
- Timofeev A.G., Lebedinskaja O.G. 2022. Model' primeneniya svertochnoj neironnoj seti (cnn) v sochetanii s dolgovremennoj pamjat'ju (lstm) prognozirovaniya ceny na neft' v uslovijah neopredelennosti [Convolutional neural network (cnn) combined with long-term memory (lstm) application model for oil price forecasting under uncertainty]. *TDR*, 2: 35-44.
- Hobotov V.A. 2021. Analiz tonal'nosti finansovyh novostej s primeneniem nejrosetevyh modelej dlja prognoza dinamiki cen na neft' marki Brent [Sentiment Analysis of Financial News Using Neural Network Models to Predict Brent Oil Prices]. *Aktual'nye voprosy sovremennoj jekonomiki [Current issues of modern economics]*, 2: 138-143.
- Balci M. A. 2020. Fractional Interaction of Financial Agents in a Stock Market Network. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 5(1): 317-336. DOI: 10.2478/amns.2020.1.00030



- Cui X., Hu J., Wu P. 2021. Investigation of stock price network based on time series analysis and complex network. *International Journal of Modern Physics B*. DOI: 10.1142/S021797922150171X
- Guo W., Li Z., Gao C., Yang Y. 2022. Stock price forecasting based on improved time convolution network. *Computational Intelligence*. DOI: 10.1111/coin.12519
- Khoojine A. S., Han D. 2020. Stock price network autoregressive model with application to stock market turbulence. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems*, 93(7): 133. DOI: 10.1140/epjb/e2020-100419-9
- Liu G., Ma W. 2022. A quantum artificial neural network for stock closing price prediction. *Information Sciences*, 598: 75-85. DOI: 10.1016/j.ins.2022.03.064
- Mezghani T., Ben Hamadou F., Boujelbene Abbes M. 2021. The dynamic network connectedness and hedging strategies across stock markets and commodities: COVID-19 pandemic effect. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*. DOI: 10.1108/APJBA-01-2021-0036
- Nayak S. C., Misra B. B. 2018. Estimating stock closing indices using a GA-weighted condensed polynomial neural network. *Financial Innovation*, 4(1): 21. DOI: 10.1186/s40854-018-0104-2
- Nor S.M., Zawawi N.H.M. 2020. A neural network approach for fundamental investment analysis: a case of Athens Stock Exchange. *Economic Annals-XXI*, 182(4): 56-63. DOI: 10.21003/ea.V182-07
- Tao Z., Chunhui L., Muzhou H. 2018. Forecasting stock index with multi-objective optimization model based on optimized neural network architecture avoiding overfitting. *Computer Science and Information Systems*, 15(1): 211-236. DOI: 10.2298/CSIS170125042T
- Yamin S., Gulzar S. 2020. Multiples and stock price, new approach for relative valuation through neural network. *Singapore Economic Review*. DOI: 10.1142/S0217590820480045
- Yan Z., Zhou K., Zhu X., Chen H. 2022. Application of MEA-LSTM Neural Network in Stock Balance Prediction. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 121: 60-71. DOI: DOI 10.1007/978-3-030-97057-4_6

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бушуев Максим Витальевич, магистрант кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Беришев Марат Шамильевич, аспирант кафедры «Энергоснабжение и теплотехника», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Беришева Елена Дмитриевна, старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Востриков Евгений Иванович, магистрант кафедры «Программное обеспечение автоматизированных систем», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maxim V. Bushuev, undergraduate of the Department "Software for Automated Systems", Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Marat Sh. Berishev, post-graduate student of the Department of Energy Supply and Heat Engineering, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Elena D. Berisheva, senior lecturer, Department of Automated Systems Software, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Evgeniy I. Vostrikov, undergraduate of the Department "Software for Automated Systems", Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

УДК 004.42: 631.171

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-681-688

Программа для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании

Полковская М.Н., Хабардин В.Н.

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
Россия, 664050, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный
E-mail: polk_mn@mail.ru

Аннотация. В работе приведено описание программы для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании. Математическое обеспечение программы представлено формулами, позволяющими на основании данных о сезонной наработке тракторов рассчитать удельную суммарную трудоемкость технического обслуживания. В алгоритмическом обеспечении сформулированы основные этапы расчета исследуемого показателя. Пользовательский интерфейс программы создан в виде кнопочной формы с использованием языка программирования Visual Basic for Applications. Предложенная программа может быть применима для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания не только тракторов, но и других машин. Помимо практического применения на сельскохозяйственных предприятиях, программа может использоваться в образовательных учреждениях при обучении студентов.

Ключевые слова: математическое обеспечение, алгоритм, трудоемкость технического обслуживания, пользовательский интерфейс

Для цитирования: Полковская М.Н., Хабардин В.Н. 2023. Программа для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании. Экономика. Информатика, 50(3): 681–688. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-681-688

Program for Calculating the Specific Total Labor Intensity of Tractor Maintenance During their One-Season Use

Marina N. Polkovskaya. Vasily N. Khabardin

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russian Federation
E-mail: polk_mn@mail.ru

Abstract. Providing agricultural machinery with technical service throughout the entire life cycle is an urgent and at the same time time-consuming task. Automation of calculations of various indicators of maintenance of agricultural machines will reduce the time spent on their determination. Hence, the aim of the work is to create a program for calculating the specific total labor intensity of maintenance of tractors during their one-season use. The paper describes a program for calculating the specific total labor intensity of tractor maintenance during their one-season use. The method for determining the specific total labor intensity has been tested on experimental data on the limits of seasonal operating time and the probability of TO. The calculations were made using the tools of the Microsoft Excel program, the user interface was created in the Visual Basic for Applications programming language. The mathematical support of the program is represented by formulas that allow, based on the data on the seasonal operation of tractors, to calculate the specific total



labor intensity of maintenance. In the algorithmic support, the main stages of calculating the indicator under study are formulated. The proposed program can be used to calculate the specific total labor intensity of maintenance not only for tractors, but also for other machines. In addition to practical application in agricultural enterprises, the program can be used in educational institutions when teaching students.

Keywords: mathematical software, algorithm, complexity of maintenance, user interface

For citation: Polkovskaya M.N., Khabardin V.N. 2023. Program for Calculating the Specific Total Labor Intensity of Tractor Maintenance During their One-Season Use. Economics. Information technologies, 50(3): 681–688 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-681-688

Введение

В настоящее время автоматизация и цифровизация охватывают разнообразные сферы деятельности человека: производственную, лесозаготовительную [Васенёв, 2022], сельскохозяйственную и др. В связи со значительными количественными и качественными изменениями парка сельскохозяйственной техники, а также изменяющимися условиями хозяйствования требуется совершенствование форм и правил использования машин, улучшение организации их обслуживания, ремонта и модернизации ремонтно-эксплуатационной базы (РЭБ) [Мишина, 2018].

Качественное и своевременное выполнение операций технического обслуживания (ТО) при использовании и хранении техники оказывают значительное влияние на окружающую среду, безопасность жизнедеятельности, здоровье людей и сохранность имущества [Пучин, 1998].

Обеспечение сельскохозяйственных машин техническим сервисом на протяжении всего жизненного цикла является актуальной и в то же время трудоемкой задачей [Мишина, 2018]. Кроме того, для определения межремонтного периода необходимо использовать различные показатели надежности элементов, составляющих конструкцию данного узла или машины, сгруппированные по своей схожести и кратным нормативным срокам службы [Хатунцев, 2019]. В связи с этим автоматизация расчетов различных показателей ТО сельскохозяйственных машин значительно снижает временные затраты на их определение. Отсюда целью работы является создание программы для расчета удельной суммарной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании.

Материалы и методы

Программа предназначена для расчета удельной суммарной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании на основе нормального закона распределения вероятностей сезонной наработки этих машин [Полковская, Хабардин, 2022].

Методика определения удельной суммарной трудоемкости апробирована на экспериментальных данных о пределах сезонной наработки и вероятности ТО. Расчеты произведены с использованием инструментов программы Microsoft Excel, пользовательский интерфейс создан на языке программирования Visual Basic for Applications.

Результаты и их обсуждение

Математическое обеспечение. Удельная суммарная трудоемкость ТО машин, используемых на сельскохозяйственном предприятии, определяется как отношение суммарной трудоемкости технических обслуживаний машин к их суммарной наработке [Хабардин, Полковская, Шелкунова, 2022.]

$$T_{qi} = \frac{T_{Ci}}{\tau_{Ci}}, \quad (1)$$

где T_{qi} – удельная суммарная трудоемкость ТО i -й марки машин; T_{Ci} , τ_{Ci} – суммарная трудоемкость ТО i -х машин и их суммарная наработка за сезон.

Суммарная трудоемкость ТО i -й марки машин T_{Ci} для односезонного порядка использования рассчитывается по формуле

$$T_{Ci} = T_{T1Ci} + T_{T2Ci} + T_{XCi}, \quad (2)$$

где T_{T1Ci} , T_{T2Ci} – суммарная трудоемкость ТО-1 и ТО-2 i -той марки машин; T_{XCi} – суммарная трудоемкость снятия и подготовки машин к хранению. Для определения значений данных показателей используются следующие формулы:

$$T_{T1Ci} = T_{T1i} n_{Mi} P_{T1i}, \quad (3)$$

$$T_{T2Ci} = T_{T2i} n_{Mi} P_{T2i}, \quad (4)$$

$$T_{XCi} = T_{Xi} n_{Mi}, \quad (5)$$

где n_{Mi} – количество машин i -й марки, используемых односезонно; T_{T1i} , T_{T2i} , T_{Xi} – операционная трудоемкость ТО-1, ТО-2 и ТО при снятии и подготовке машин i -й марки к хранению; P_{T1i} , P_{T2i} – вероятность ТО-1 и ТО-2.

Преобразовав уравнение (2), получим

$$T_{Ci} = (T_{T1i} P_{T1i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{Xi}) n_{Mi}. \quad (6)$$

Значение τ_{Ci} определяется по формуле

$$\tau_{Ci} = \tau_{1i} + \tau_{2i} + \tau_{3i} + \dots + \tau_{ni} \quad (7)$$

или

$$\tau_{Ci} = \bar{\tau}_i n_{Mi}, \quad (8)$$

где τ_{1i} , τ_{2i} , τ_{3i} , ..., τ_{ni} – сезонная наработка 1-й, 2-й, 3-ей и n -й машины i -й марки; $\bar{\tau}_i$ – математическое ожидание (среднее значение) сезонной наработки i -й марки машин.

Подставив в выражение (1) правые части уравнений (6) и (8), получим

$$T_{qi} = \frac{T_{T1i} P_{T1i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}. \quad (9)$$

Для расчета вероятностей ТО (P_{T1i} , P_{T2i}) необходимо на основании критериев согласия подобрать закон распределения вероятностей, согласно которому вычисляют вероятность ТО в заданных интервалах наработки, кратных периодичности ТО (125 моточ.) [Хабардин, Полковская, Шелкунова, 2022.].

В связи с этим формула для нахождения вероятностей ТО имеет вид:

$$P_{T1i}^n = \int_{\alpha}^{\beta} f(\tau) d\tau, \quad (10)$$

где n – номер интервала наработки, α – нижняя граница интервала наработки, β – верхняя граница интервала наработки. Аналогичным образом определяют P_{T2i} .

Расчет удельной суммарной трудоемкости ТО машин для различных значений T_{T1i} , T_{T2i} и P_{T1i} , P_{T2i} , соответствующих пределам сезонной наработки машин, осуществляют по следующим формулам:

$$T_{125qi} = \frac{T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (11)$$

$$T_{250qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (12)$$

$$T_{375qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{T1(2)i} P_{T1(2)i} + T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (13)$$

$$T_{500qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{T1(2)i} P_{T1(2)i} + T_{T1(3)i} P_{T1(3)i} + T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (14)$$

$$T_{625qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{T1(2)i} P_{T1(2)i} + T_{T1(3)i} P_{T1(3)i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (15)$$

$$T_{750qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{T1(2)i} P_{T1(2)i} + T_{T1(3)i} P_{T1(3)i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{T1(4)i} P_{T1(4)i} + T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (16)$$

$$T_{875qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{T1(2)i} P_{T1(2)i} + T_{T1(3)i} P_{T1(3)i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{T1(4)i} P_{T1(4)i} + T_{T1(5)i} P_{T1(5)i} + T_{Xi}}{\tau_i}, \quad (17)$$

$$T_{1000qi} = \frac{T_{T1(1)i} P_{T1(1)i} + T_{T1(2)i} P_{T1(2)i} + T_{T1(3)i} P_{T1(3)i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{T1(4)i} P_{T1(4)i} + T_{T1(5)i} P_{T1(5)i} + T_{T1(6)i} P_{T1(6)i} + T_{Xi}}{\tau_i}. \quad (18)$$

Алгоритмическое обеспечение. Для расчета удельной суммарной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании на первом этапе осуществляют ввод исходных данных (фактических или экспериментальных) (рис. 1).

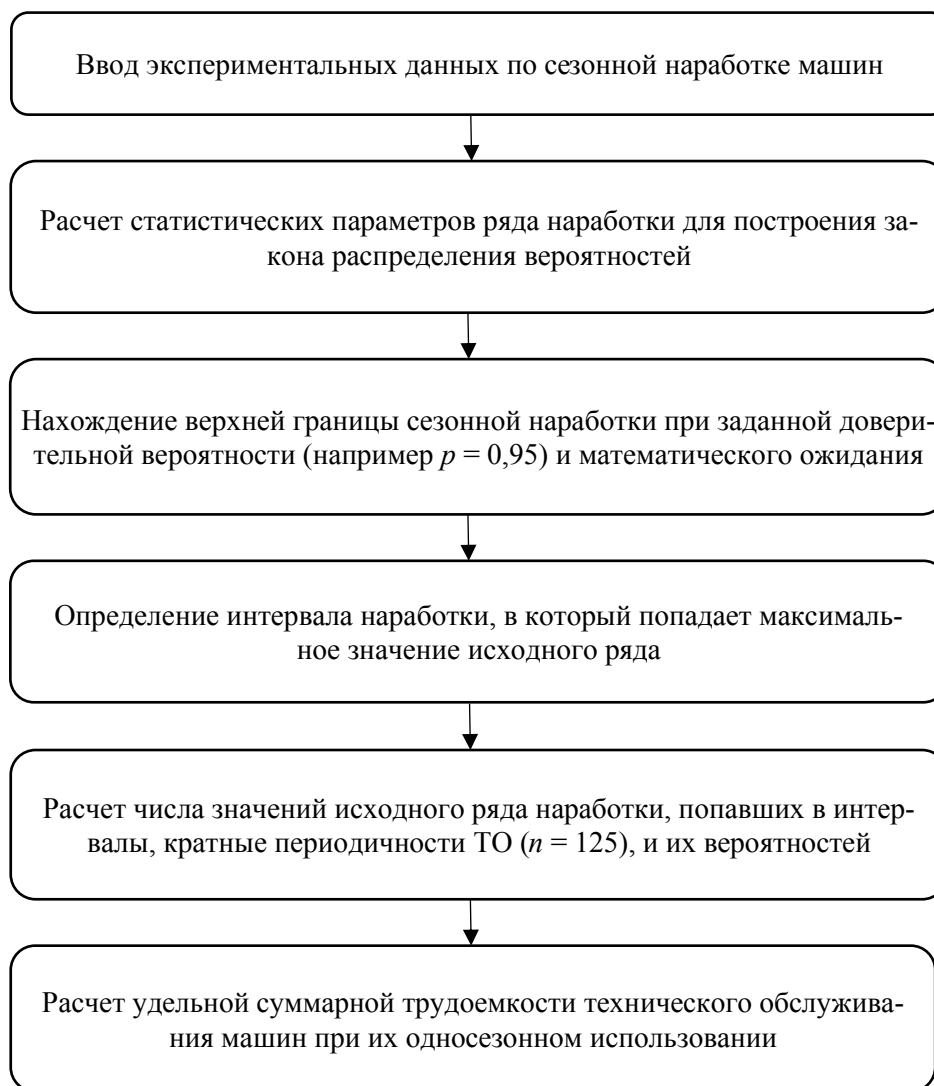


Рис. 1. Алгоритм расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании
Fig. 1. Algorithm for calculating the specific total labor intensity of tractor maintenance during their one-season use

Затем методом моментов определяют статистические параметры данных о сезонной наработке машин: математическое ожидание (среднее значение) и стандартное (средне-квадратическое) отклонение.

В качестве закона распределения вероятностей исследуемого параметра был принят нормальный, соответствие которого подтверждено критериями согласия. На следующем этапе была определена верхняя граница сезонной наработки, соответствующая доверительной вероятности 0,95, и произведен расчет математического ожидания ряда.

После этого исходные данные были поделены на интервалы, кратные периодичности ТО. В завершение выполнен расчет числа значений исходного ряда наработки, попавших в эти интервалы, для каждого из которых по формуле (10) вычислена вероятность ТО. В зависимости от значения верхней границы сезонной наработки из (11)-(18) была выбрана формула для расчета удельной суммарной трудоемкости ТО машин при их односезонном использовании (чел.-ч./моточ.).

Пользовательский интерфейс. Для автоматизации расчета удельной суммарной трудоемкости ТО при односезонном использовании машин создана одноименная программа. Расчеты проведены с помощью встроенных функций Microsoft Excel, кнопочная форма создана в Visual Basic for Applications [Александр, Куслейка, 2018] (рис. 2).

Рис. 2. Окно программы для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании

Fig. 2. Program window for calculating the specific total labor intensity of technical maintenance of tractors during their one-season use

Окно программы состоит из кнопок и текстовых полей, в которые выводят результаты расчетов. Следует отметить, что при вычислении удельной суммарной трудоемкости необходимо соблюдать последовательность, представленную в алгоритме (рис. 2).

Для этого сначала с помощью кнопки «Расчитать статистические параметры» определяют среднее значение и стандартное отклонение исходного ряда (рис. 3).

Затем находят верхнюю границу сезонной наработки. На основании значений, полученных на первом и втором шаге, определяют вероятности интервалов сезонной наработки. Заключительным шагом является расчет удельной суммарной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании.

Рис. 3. Последовательность расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании

Fig. 3. The sequence of calculating the total amount of technical maintenance of tractors for their one-season use

Заключение

В работе приведено математическое и алгоритмическое обеспечение программы, предназначенной для расчета удельной суммарной трудоемкости ТО машин при их односезонном использовании на сельскохозяйственных предприятиях. Кроме того, представлен пользовательский интерфейс данной программы. Предложенная программа может быть применима на практике в сельскохозяйственных предприятиях, а также в образовательных учреждениях при обучении студентов.

Список источников

Полковская М.Н., Хабардин В.Н. Программа для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022662424, 04.07.2022. Заявка № 2022661197 от 16.06.2022.

Список литературы

- Александр М., Куслейка Р. 2018. Excel 2016. Профессиональное программирование на VBA. М: Альфа – книга: 784.
- Васенев М.Ю. 2022. Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: Структура, оценка эффективности. Экономика. Информатика, 49(2): 383–393.
- Мишина З.Н. 2018. Состояния инженерно-технического обеспечения сельскохозяйственного производства России. Труды ГОСНИТИ, 130: 12-19.
- Мишина З.Н. 2018. Техническое сопровождение сельскохозяйственной техники в течение всего жизненного цикла машин. Техника и оборудование для села, 5: 41-43.
- Пучин Е.А. 1998. Методические основы разработки и внедрение ресурсосберегающих технологий технического обслуживания сельскохозяйственной техники. автореферат дис. ... доктора технических наук. Москва.
- Хабардин В.Н., Полковская М.Н., Шелкунова Н.О. 2022. Методика определения технико-экономических показателей технического обслуживания машин при их односезонном использовании. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 4 (96): 112-116.
- Хатунцев В.В., Духанин С.Е., Аверин О.Р. 2019. Анализ методов определения межремонтного периода сельскохозяйственной техники. Наука и Образование, 2(4): 284.

References

- Aleksander M., Kusleyka R. 2018. Excel 2016. Professional'noye programmirovaniye na VBA [Professional VBA Programming.]. Moscow: Al'fa – kniga: 784.
- Vasenev M.Yu. 2022. Informatsionnaya sistema upravleniya lesozagotovkami v ramkakh kontseptsii «Industriya 4.0»: Struktura, otsenka effektivnosti [Logging management information system within the framework of the concept «Industry 4.0»: Structure, performance evaluation]. Ekonomika. Informatika, 49(2): 383–393.
- Mishina Z.N. 2018. Sostoyaniya inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva Rossii [The state of engineering and technical support of agricultural production in Russia]. Trudy GOSNITI, 130: 12-19.
- Mishina Z.N. 2018. Tekhnicheskoye soprovozhdeniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki v techeniye vsego zhiznennogo tsikla mashin [Technical support of agricultural machinery throughout the life cycle of machines]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela, 5: 41-43.
- Puchin E.A. 1998. Metodicheskiye osnovy razrabotki i vnedreniye resursosberegayushchikh tekhnologiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Methodological bases for the development and implementation of resource-saving technologies for the maintenance of agricultural machinery]. avtoreferat dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk. Moskva.
- Khabardin V.N., Polkovskaya M.N., Shelkunova N.O. 2022. Metodika opredeleniya tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin pri ikh odnosezonnom ispol'zovanii [Methodology for determining the technical and economic indicators of the maintenance of machines during their one-season use]. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 4 (96): 112-116.



Khatuntsev V.V., Dukhanin S.Ye., Averin O.R. 2019. Analiz metodov opredeleniya mezhremontnogo perioda sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Analysis of methods for determining the overhaul period of agricultural machinery]. Nauka i Obrazovaniye, 2(4): 284.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Полковская Марина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Хабардин Василий Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Marina N. Polkovskaya, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russian Federation

Vasily N. Khabardin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Life Safety and Vocational Training, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russian Federation

УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-689-703

Машинное обучение для поддержки принятия решений в сфере качества на промышленном предприятии

Конев К.А.

Уфимский университет науки и технологий,
Россия, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32
E-mail: sireo@rambler.ru

Аннотация. Статья посвящена описанию подходов к реализации методологии ситуационно-онтологического проектирования систем поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества для продукции на машиностроительном предприятии. Исследование проводилось с целью подтверждения возможности реализации данной методологии с использованием методов машинного обучения на основе библиотек Python для цифрового анализа данных об испытаниях с принятием по ним решений. Актуальность проведения данного исследования обусловлена необходимостью решения проблемы, связанной с повышенными требованиями к профессиональной подготовке сотрудников, занятых в сфере обеспечения качества. Их работа связана с принятием многочисленных разнородных решений, для которых, как известно, эффективным инструментом является система поддержки принятия решений. Новизна предложенного решения заключается в новаторском подходе к ситуационно-онтологическому проектированию систем поддержки принятия решений, а также в применении методов машинного обучения на основе библиотек Python при формировании системы поддержки принятия решений для процесса испытаний продукции машиностроительного предприятия. Результаты исследования демонстрируют реализуемость предложенной методики.

Ключевые слова: машинное обучение, принятие решений, ситуационно-онтологическая методология разработки систем поддержки принятия решений, метод дерева решений, обеспечение качества, Python, испытания продукции в промышленности

Для цитирования: Конев К.А. 2023. Машинное обучение для поддержки принятия решений в сфере качества на промышленном предприятии. Экономика. Информатика, 50(3): 689–703. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-689-703

Machine Learning for Quality Decision Support in an Industrial Enterprise

Konstantin A. Konev

Ufa University of Science and Technology,
32 Zaki Validi St., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450076, Russian Federation
E-mail: sireo@rambler.ru

Abstract. The article is devoted to the description of approaches to the implementation of the methodology of situational-ontological design of decision support systems in the field of quality assurance for products at a machine-building enterprise. The study was conducted to confirm the possibility of implementing this methodology using machine learning methods based on Python libraries for digital analysis of test data with decision making. The relevance of this study is due to the need to solve the problem associated with increased requirements for the professional training of employees involved in the field of quality assurance. Their work is connected with the adoption of numerous heterogeneous decisions, for which, as you know, a decision support system is an effective tool. The novelty of the proposed solution lies in an innovative approach to the situational-ontological design of decision support systems, as well as in the application of machine learning methods based on Python libraries in the formation of a decision support system for the



process of testing products of a machine-building enterprise. The results of the research demonstrate the feasibility of the proposed methodology.

Keywords: machine learning, decision making, situational-ontological methodology for developing decision support systems, decision tree method, quality assurance, Python, product testing in industry

For citation: Konev K.A. 2023. Machine Learning for Quality Decision Support in an Industrial Enterprise. Economics. Information technologies, 50(3): 689–703 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-689-703

Введение

В современном мире промышленные процессы и услуги значимо зависимы от использования информационных технологий. Важной вехой в их развитии в нашей стране стал проект "Цифровая экономика РФ" [Цифровая экономика РФ, 2018], ставящей своей целью создание цифровой инфраструктуры и имеющий искусственный интеллект в качестве одного из ключевых направлений. Одной из главных задач в рамках проекта "Цифровая экономика РФ" является внедрение и развитие технологий машинного обучения в различных сферах. Примером успешных решений по машинному обучению в рамках указанного проекта может служить, например, создание системы мониторинга и контроля заболеваемости гриппом, основанная на алгоритмах машинного обучения [Система мониторинга заболеваемости гриппом, 2019].

Серьёзной проблемой при внедрении искусственного интеллекта является сложность выбора подходящих наборов данных и моделей машинного обучения. Для успешного функционирования таких систем необходимо обеспечить их надёжность в различных условиях, что предполагает высокую компетентность соответствующего персонала [Специалист по качеству, 2021] и ведёт к увеличению сроков и удорожанию данных работ. Как следствие важность приобретают системы поддержки принятия решений, позволяющие повысить качество принимаемых решений в конкретной предметной области.

Одним из возможных решений для обеспечения поддержки принятия решений является создание платформ, позволяющих проводить тестирование работы алгоритмов машинного обучения на реальных наборах данных. В этой связи, важно уделять внимание не только техническим аспектам разработки и тестирования систем искусственного интеллекта, но и вопросам формирования качественных наборов данных.

Ситуационная схема принятия решений с использованием искусственного интеллекта

В последние десятилетия широкую популярность при проектировании систем поддержки принятия решений получила концепция, основывающаяся на анализе ситуации. Эта концепция базируется на трудах Поспелова [Поспелов, 1986] и других исследователей (например, [Клыков, 1974]), и предполагает анализ ситуации с последующим выбором оптимального решения из альтернатив. В развитие этой концепции рассматривается ситуационно-онтологическая методология, позволяющая приблизить идеи классиков к практическому воплощению [Конеv, Антонов и др., 2020]. Ранее было показано, что ситуационная модель процесса может быть дополнена разными инструментами, в том числе и интеллектуальными [Антонов, Конеv, 2021]. Такие средства позволяют обеспечить поддержку принятия решения ЛПР. В результате была разработана ситуационно-онтологическая методология создания систем поддержки принятия решений. На рисунке 1 показана обобщённая схема принятия решения с позиции данной методологии.

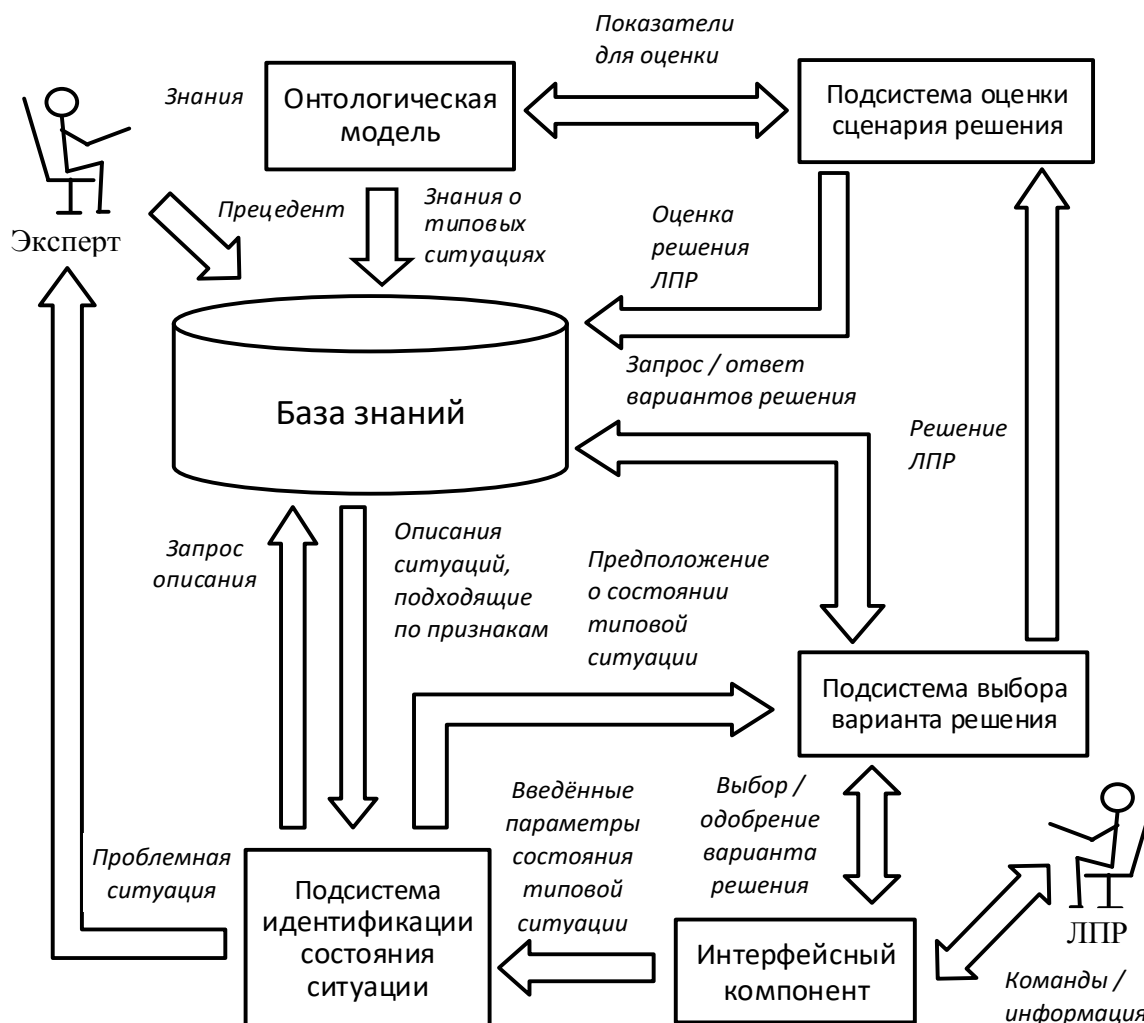


Рис. 1. Структурная схема СППР
Fig. 1. Structural diagram of the DSS

Хорошим примером таких инструментов является машинное обучение, которое нашло применение во многих областях, включая медицину, финансы, промышленность и транспорт [Шапиро, Фаринский, 2018]. В промышленности машинное обучение зачастую используется для анализа вопросов, связанных с обеспечением качества продукции.

В данной статье предполагается решить следующие задачи:

- 1) Разработка обобщённой схемы алгоритма для получения готовых решений на основе анализа данных при помощи метода машинного обучения. Эти данные должны быть доступны после идентификации ситуации, которая может быть отнесена к заранее определённому типу на основе условий внутренних регламентов машиностроительного предприятия.
- 2) Формирование практического примера использования предложенного алгоритма на базе реальной задачи принятия решений в бизнес-процессе машиностроительного предприятия.

Машинное обучение и обобщённая схема алгоритма принятия решений на основе анализа данных

Машинное обучение – это инструмент для обработки и анализа больших данных в различных сферах деятельности, служащий для решения задач по поддержке принятия решений при реализации мер по повышению эффективности управления в промышленности (см. рис. 3).

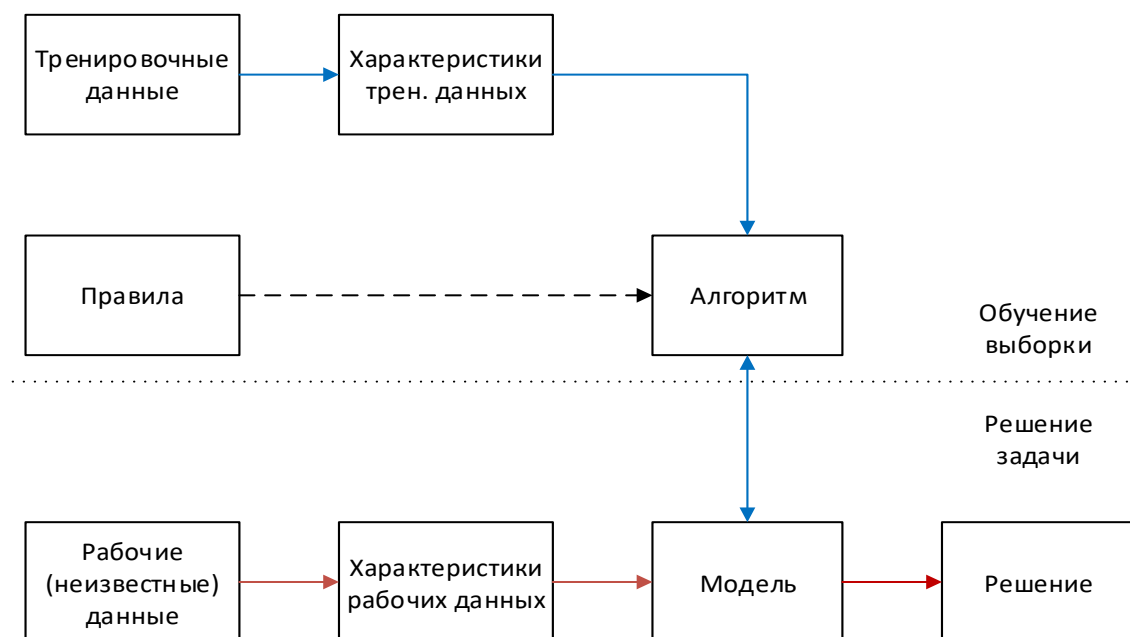


Рис. 2. Упрощённая схема машинного обучения
Fig. 2. Simplified Machine Learning Scheme

Исследователи уделяют большое внимание применению данного инструмента при решении различных задач в промышленности. Так, в концептуальной статье, посвящённой машинному обучению в технологической подготовке производства [Мурзагулов, Замятин, 2018] авторы описали подход к использованию методов машинного обучения для идентификации выхода за допустимые границы совокупности сигналов с датчиков SCSDA-системы. Анализ результатов исследований неисправностей оборудования АЭС в статье [Кацер и др., 2019] предлагает обзор различных статистических и машинного методов обучения, позволяющих решать задачи обнаружения неисправностей в работе оборудования атомных электростанций. В статье [Bustillo и др., 2020] показано применение машинного обучения в контроле за технологическим процессом машиностроительного производства. А в известном журнале «Nature» опубликована статья «Bayesian reaction optimization as a tool for chemical synthesis» («Оптимизация байесовской реакции как инструмент химического синтеза»), в которой исследователи показали возможности для использования метода Байеса в химической промышленности [Shields и др., 2021].

Решая первую поставленную выше задачу, сформируем алгоритм для получения готовых решений на основе анализа данных при помощи метода машинного обучения с использованием ситуационно-онтологической методологии, как последовательность из следующих шагов:

1. Анализ ситуации. Необходимо собрать данные, описывающие ситуацию. Эти данные могут быть получены напрямую с помощью датчиков или собраны вручную.
2. Идентификация ситуации. После сбора данных необходимо выполнить их анализ и идентификацию ситуации с помощью заранее определенных критериев.
3. Разработка решения. На основе полученных данных и идентификации ситуации необходимо разработать решение, которое удовлетворит внутренним регламентам промышленного предприятия.
4. Уточнение ограничений. Прежде чем решение будет принято в работу, необходимо убедиться, что оно соответствует жестким ограничениям внутренних регламентов промышленного предприятия.
5. Реализация решения. После определения жестких ограничений решение может быть реализовано на практике.

6. Оценка эффективности. Наконец, необходимо оценить эффективность решения и принять меры для его улучшения, если это необходимо.

Иллюстрирует данную методику рис. 3:

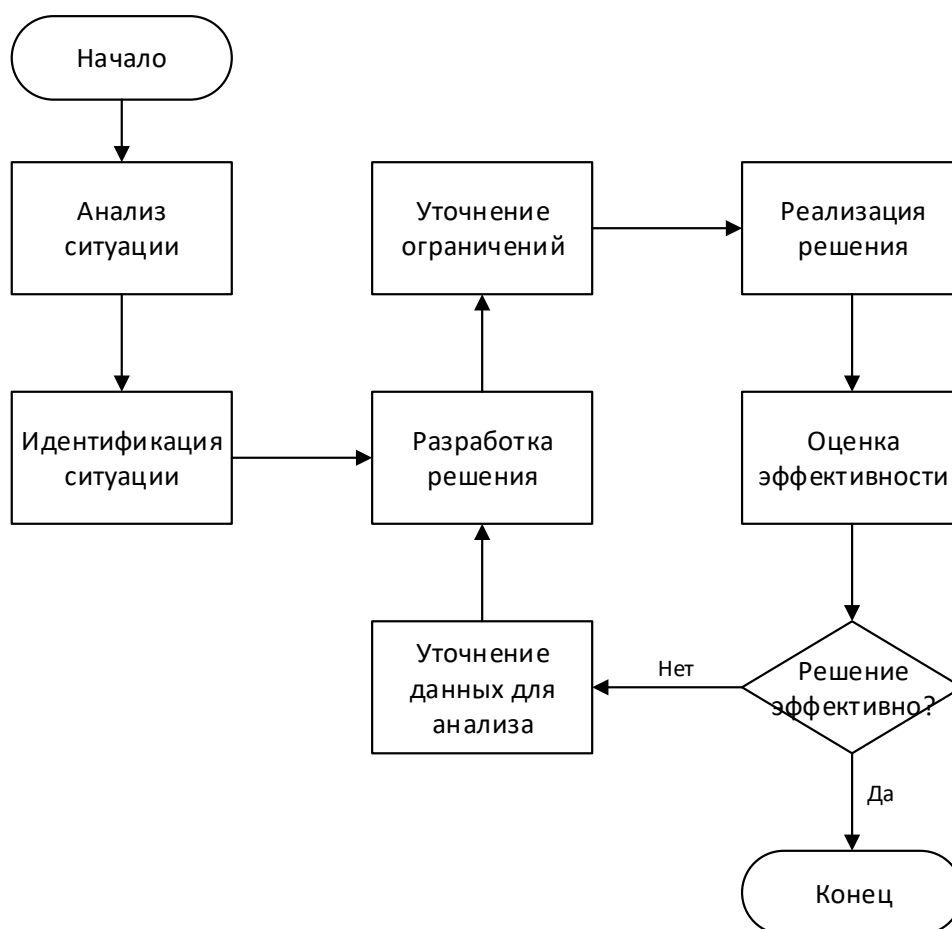


Рис. 3. Алгоритм принятия решений на основе ситуационно-онтологической модели
Fig. 3. Decision-making algorithm based on situational-ontological model

Рассмотрим бизнес-процесс машиностроительного предприятия, для которого можно применить предложенную схему алгоритма.

Бизнес-процесс перезапуска испытаний изделия после устранения дефекта одного из компонентов

Периодические, приёмо-сдаточные, типовые, квалификационные и другие виды испытаний – неотъемлемая часть жизненного цикла сложных изделий в производстве [ГОСТ Р ИСО 9001, 2015]. В процессе испытаний могут возникать как отказы, так и признаки некорректной работы изделия или его отдельных узлов. Для простых недорогих изделий проблема решается заменой. Однако существует немало изделий, которые настолько сложны и дороги, что не могут быть просто отправлены в утилизацию, а должны проходить дефектацию (поиск дефектного компонента), ремонт и снова попадать на испытания.

Данную проблему не обошли вниманием многочисленные исследователи. Так, в статье «Анализ результатов приёмо-сдаточных испытаний» [Голуб, Черемухина, 2022] авторы рассматривают основные проблемы, с которыми сталкиваются производители при восстановлении изделий после отказов на испытаниях. В исследовании методов восстановления качества отремонтированных изделий в двигателестроении [Баганов и др., 2022], на основе анализа достоинств и недостатков этих методов, предложены рекомендации по улучшению

процесса контроля качества ремонтируемых изделий. Многие авторы описывают способы прогнозирования результатов испытаний, а также эффективные способы их проведения.

В авиационном двигателестроении даже не самый большой двигатель может стоить миллионы рублей и может быть утилизирован только, если отказ привёл к невозможности восстановления изделия (см., например, рис. 4). В реальности такие отказы крайне редки.



Рис. 4. Иллюстративное фото значительных разрушений при отказе турбины авиадвигателя

Fig. 4. Illustrative photo of significant damage caused by aircraft engine turbine failure

При восстановлении изделия возникает комплекс вопросов по обеспечению его качества, одним из которых является вопрос: продолжить ли цикл испытаний или начинать их заново? Причиной важности данного вопроса является высокая стоимость испытательных мероприятий и забота о том, чтобы их результатам можно было доверять.

Если рассмотреть вопрос о том, каким образом начинать испытания после отказа в качестве задачи принятия решений, то это будет принятие решения по выбору из следующих альтернатив:

- очень оптимистический сценарий – продолжить испытания на том же цикле испытаний, начиная с технологической операции, на которой испытания были остановлены;
- оптимистический сценарий – продолжить испытания с первой технологической операции того цикла испытаний, на которой испытания были остановлены;
- пессимистический сценарий – начать все испытания заново;
- самый пессимистический сценарий – утилизировать изделие и начать испытывать заново новый образец.

Каждый сценарий требует обоснования, поэтому необходимо создать алгоритм для решения этой задачи.

Представим каждую оцениваемую при выборе сценария характеристику как множество значений, имеющую собственное обозначение (см. таб. 1).

Таблица 1
Table 1

Значения характеристик, влияющих на выбор сценария
Values of characteristics influencing the choice of scenario

Характеристика	Обозначение	Множество значений
1. Влияние на испытания	IT	критическое, значительное, малозначительное
2. Масштаб ремонта	SI	значительный, средний, незначительный
3. Значимость компонента	CS	критический, важный, малозначительный
4. Масштаб дефекта	DS	изделие, подсистема (агрегат), компонент
5. Уровень ценности изделия	PVL	очень дорогое, дорогое, среднеценное, малоценное
6. Уровень ответственности изделия	PRL	высокая ответственность, иное
7. Уровень стоимости испытаний	TCL	значительный, средний, незначительный
8. Возможность восстановления	RP	есть, отсутствует

Влияние на испытания – это характеристика, определяющая влияние дефектного компонента на результаты испытаний. Например, механическая поломка одного из креплений авиаагрегата на стенде при испытаниях на вибрационную стойкость значительно больше влияет на их исход, чем поломка при испытании на воздействие пониженной температуры.

Масштаб ремонта – это характеристика, определяющая уровень вмешательства в конструкцию изделия для устранения дефекта. Например, разрушение питающего кабеля потребует лишь его отстыковку от изделия и пристыковку нового, а отказ процессора в схеме управления потребует гораздо более сложного технологического процесса ремонта изделия.

Значимость компонента – это характеристика, определяющая уровень влияния дефектного компонента (компонентов) на качество всего изделия. Например, сломанная ручка переключения режимов на пульте управления беспилотным летательным аппаратом значительно меньше влияет на его характеристики, чем поломка в его моторе.

Масштаб дефекта – это характеристика, которая определяет количество компонентов, оказывающихся затронутыми последствиями отказа на испытаниях. Например, оторвавшаяся лопатка турбовентиляторного реактивного двигателя может за счёт своей кинетической энергии серьёзно повредить целый ряд его компонентов.

Уровень ценности изделия – это характеристика, определяющая относительную стоимость изделия. Например, ручка переключения режимов авиационного двигателя может стоить на несколько порядков дешевле его самого.

Уровень ответственности изделия – это характеристика, определяющая насколько серьёзные последствия могут наступить, если в ходе испытаний не будет обнаружена уязвимость изделия, способная привести в эксплуатации к его выходу из строя. Например, выход из строя одной свечи зажигания автомобиля может привести к проблемам при начале его эксплуатации, а выход из строя авиационного двигателя на боевом самолёте, выполненным по одновдвигательной схеме, может стоить не только жизни пилоту, но и привести к срыву выполнения его боевой задачи.

Уровень стоимости испытаний – это характеристика, определяющая относительный уровень материальных затрат на выполнение каждой операции испытаний. Например, для проведения некоторых испытаний требуется закупка и сборка испытательных стендов, стоимостью в десятки миллионов рублей.

Возможность восстановления определяет существует ли изделие как целое после отказа. Рассмотрим формирование критериев для принятия решений (см. табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Критерии выбора решений на основе регламента действий
Criteria for choosing decisions based on the rules of action

Решение	Комбинация характеристик	
Самый оптимистический сценарий	Логическое И для всех перечисленных компонентов	Влияние на испытания (IT) = малозначительное Масштаб дефекта (DS) = компонент Масштаб ремонта (SI) = незначительный Уровень ответственности изделия (PRL) = иное Значимость компонента (CS) = малозначительный
Оптимистический сценарий	Логическое И	Влияние на испытания (IT) = малозначительное Масштаб дефекта (DS) = компонент Масштаб ремонта (SI) = незначительный (Уровень стоимости испытаний (TCL) = средний) Логическое ИЛИ (Уровень стоимости испытаний (TCL) = значительный)
Пессимистический сценарий	Логическое И	(Влияние на испытания (IT) = малозначительное) Логическое ИЛИ (Влияние на испытания (IT) = критическое) (Масштаб ремонта (SI) = средний) Логическое ИЛИ (Масштаб ремонта (SI) = значительный) (Значимость компонента (CS) = важный) Логическое ИЛИ (Значимость компонента (CS) = критический) (Масштаб дефекта (DS) = подсистема (агрегат)) Логическое ИЛИ (Масштаб дефекта (DS) = изделие) ((Уровень ценности изделия (PVL) = очень дорогое) Логическое ИЛИ (Уровень ценности изделия (PVL) = дорогое)) Логическое ИЛИ ((Уровень ценности изделия (PVL) = среднеценное) Логическое И (Уровень стоимости испытаний (TCL) = незначительный))
Самый пессимистический сценарий	Логическое И	Уровень стоимости испытаний (TCL) = значительный Возможность восстановления (RP) = отсутствует

Использование языка Python для решения задачи перезапуска испытаний изделия

Используем для поддержки принятия решений метод решающих деревьев, реализованный средствами языка Python.

Метод решающих деревьев представляет собой эффективное средство для анализа и статистической обработки данных, применяемое в задачах по поддержке принятия решений [Паклин, Орешков, 2013]. CART (Classification and Regression Trees) является популярным алгоритмом, используемым для построения бинарных решающих деревьев [Zhu, 2018]. В соответствии с алгоритмом CART, объекты, составляющие выбранную группу, характеризуются долей наиболее частого значения выходного признака, причём для таких групп этот показатель достаточно высок [Li, 2021].

Алгоритм CART начинается с того, что выбирается k -й признак f_k для разбиения выборки (множества) $D^{(k)}$ на две части, чтобы в каждой части оказалось как можно больше

объектов одного класса (в случае классификации) или чтобы достигнуть наилучшей точности предсказания (в случае регрессии). Далее формируется такое значение $d_0^{(k)} \in D^{(k)}$ для всех признаков f_k , $k = 1, \dots, n$, чтобы мера неоднородности $Gini_{sp}(T)$ была минимальной, т.е.

$$d_0^{(k)} = \arg \min_{f_k: d^{(k)} \in D^{(k)}} Gini_{sp}(T, d^{(k)})$$

Затем процедура рекурсивно выполняется для любой последующей выборки пока условия для останова процесса не будут выполнены.

Причём критерии для расщепления могут быть следующими:

– мера энтропии:

$$E = - \sum_{i=1}^C p_i \log(p_i)$$

– индекс Джини:

$$Gini(D) = \sum_{i=1}^C p_i (1 - p_i)$$

p_i – частота или вероятность нахождения точек i -го класса в блоке, C – число разбиений;

Python – интерпретируемый язык программирования общего назначения, широко используемый в научных и инженерных приложениях, веб-разработке и машинном обучении. Данный язык переживает период значительного роста популярности как у отечественных разработчиков [Жуков, 2020], так и у зарубежных [Sweigart, 2015, McKinney, 2017].

Разработаем методику классификации различных ситуаций в один из заданных сценариев решения на основе решающего дерева. Для анализа используем инструментальный моделирования процесса по методологии BPMN [Silver, 2017] в качестве средства визуализации (см. рис. 5).

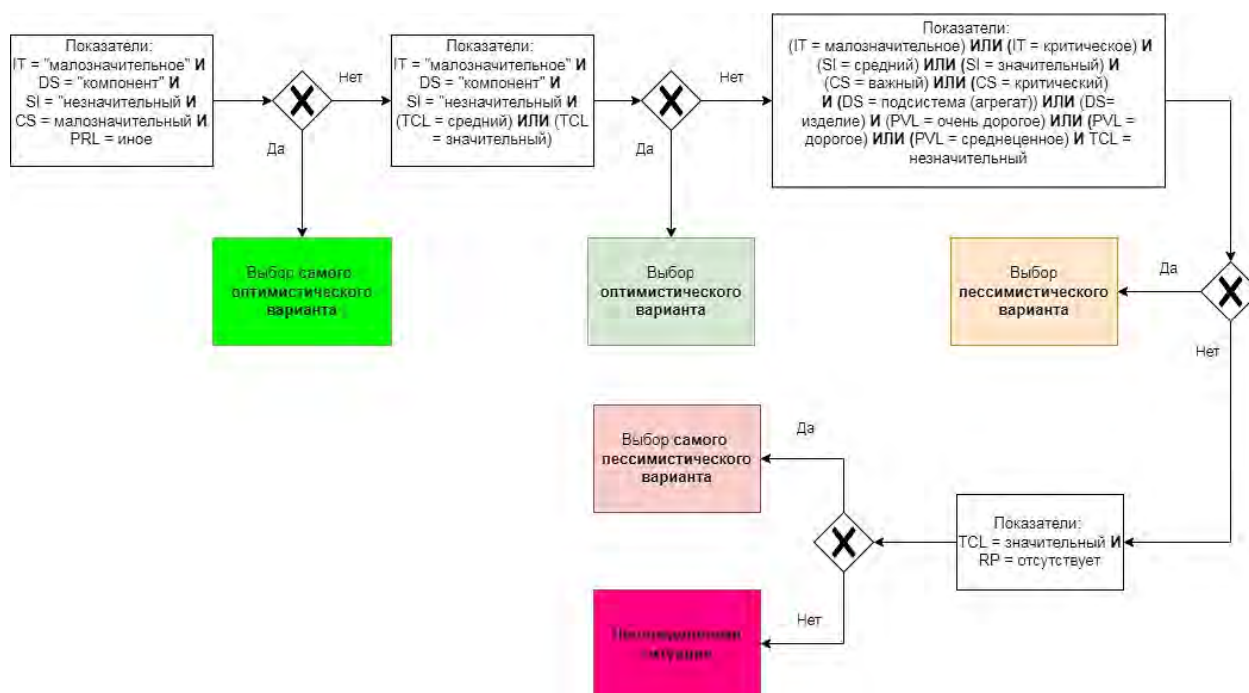


Рис. 5. BPMN-модель процесса принятия решений по перезапуску испытаний

Fig. 5. Decision-making BPMN model for restarting tests

Вариант неопределённой ситуации создаёт проблему. При наличии нескольких критериев использование жесткой логики может приводить к нелепым ситуациям, когда решение очевидно, но комбинация условий его исключает. Поэтому необходим гибкий алгоритм машинного обучения, для создания которого уменьшим число параметров и сделаем их количественными. Кроме того, опросим экспертов в предметной области в части того, какие действия следует принимать, если прямое совпадение всех условий по какому-либо варианту недостижимо и на основе ответов сформируем обучающую выборку.

Обобщим близкие по смыслу параметры, введя количественную их оценку. Влияние на испытания (IT), масштаб дефекта (DS) и масштаб ремонта (SI) во всех рассуждениях при выборе сценария используются вместе, что позволяет их переопределить количественным параметром Значимость ситуации (ISd), измеряемым от 0 до 100. Если продолжать анализ показателей, то можно отметить, что уровень ценности изделия (PVL) и уровень ответственности изделия (PRL) очень близки по смысловой нагрузке и не противоречат, а дополняют друг друга, поэтому их можно обобщить показателем Значимость изделия (SPd), измеряемым также от 0 до 100. Отметим, что показатель возможности восстановления (RP) выпадает из общей логики тем, что он жестко детерминирован крайним сценарием (утилизация) и должен быть выведен за скобки нашего рассмотрения. Показатели Значимость компонента (CS) и Уровень стоимости испытаний (TCL) не очень поддаются обобщению, поэтому для них просто введём шкалу оценки также от 0 до 100, а сами показатели, для исключения перепутывания, маркируем литерой d, т.е. они будут иметь обозначение: CSd и TCLd. В результате на выходе получим четыре относительных показателя и один логический:

- значимость ситуации (ISd);
- значимость изделия (SPd);
- значимость компонента (CSd);
- уровень стоимости испытаний (TCLd);
- возможность восстановления (RP).

Обработка логического значения при столь малом числе параметров сильно огрубит результат, поэтому введём степени ремонтпригодности и зададим их от 10 до 100%.

На основе данных предприятия за несколько лет сформируем набор данных для машинного обучения в формате Excel, фрагмент которого представлен на рис. 6:

	A	B	C	D	E	F
1	ISd	SPd	CSd	TCLd	RP	Solution
2	12	22	35	17	60	VOS
3	10	10	96	90	70	VPS
4	15	97	80	54	40	PS
5	64	58	55	60	10	PS
6	43	65	34	44	30	OS
7	59	95	46	26	90	VPS
8	43	30	56	12	20	OS
9	64	9	41	47	40	OS
10	53	71	15	80	20	PS
11	95	64	67	34	10	PS
12	75	72	15	9	50	OS
13	88	32	30	38	30	PS
14	41	52	16	6	10	OS
15	67	93	51	9	40	PS
16	19	91	30	41	10	PS
17	57	97	73	17	100	VPS
18	66	35	55	81	40	PS
19	41	44	22	41	30	OS
20	12	25	68	32	10	OS
21	42	69	75	24	40	PS
22	33	31	50	63	10	PS
23	29	28	52	29	30	OS
24	67	48	80	54	10	PS
25	32	12	89	53	40	PS
26	83	97	53	99	10	PS
27	67	96	64	92	20	PS
28	4	23	18	20	50	VOS

Рис. 6. Фрагмент обучающей выборки в MS Excel

Fig. 6. Fragment of the training sample in MS Excel

Используем функционал библиотек Python для построения решающего дерева. Применим библиотеку *sklearn*, а именно класс *DecisionTreeClassifier*. Он принимает на

вход: массив X , содержащий обучающие образцы, и массив Y целочисленных значений, формы, содержащий метки классов для соответствующих обучающих образцов.

Для начала импортируем необходимые библиотеки:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
```

Далее загрузим сохранённые в формате «csv» данные из файла в Excel для обучающей выборки и для рабочей выборки. Вместе с этим уберём из наборов логический параметр

```
train_features = pd.read_csv('trainingset.csv', sep=";")
test_features = pd.read_csv('analysisdata.csv', sep=";")
```

Зададим множество характеристик и решений:

```
x = train_features.iloc[:, :5]
y = train_features.iloc[:, 5:]
```

Сформируем и обучим дерево решений при помощи библиотеки *sklearn*

```
from sklearn import tree
RoM = tree.DecisionTreeClassifier(criterion='entropy', max_depth = 5)
RoM = RoM.fit(x, y)
```

Зададим множество характеристик и выводов

```
feature_names = df.columns[:5]
target_names = df['Solution'].unique().tolist()
fig, axe = plt.subplots(figsize=(20,10))
```

Отобразим дерево решений

```
tree.plot_tree(RoM,
               feature_names = feature_names,
               class_names = target_names,
               filled = True,
               rounded = True,
               ax = axe,
               fontsize=15)
```

Получившееся дерево решений показано на рис. 7.

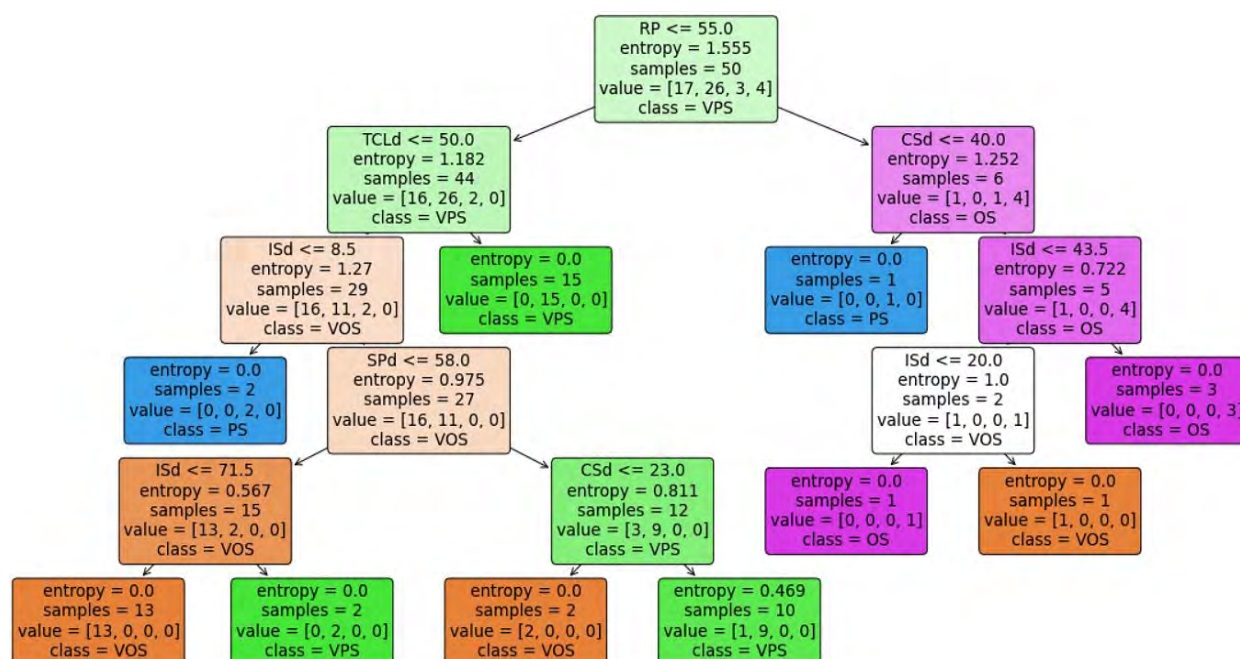


Рис. 7. Решающее дерево для принятия решений о перезапуске испытаний сложного изделия
Fig. 7. Decision tree for making decisions about restarting tests of a complex product

Получив дерево решений, имеем возможность сформировать результат для любых реальных данных, которые определены в файле *analysisdata.csv*.

Для начала задаем множество характеристик для тестовых данных
`X_test = test_features.iloc[:, :5]`

Применим обученное дерево решений для принятия решений при помощи метода `predict()`
`y_pred = RoM.predict(X_test)`

Создаем новый столбец с прогнозами в рабочей выборке `test_features` с прогнозами на основе примененного дерева решений
`test_features['Prediction'] = y_pred`

Выводим результаты, включая характеристики из *analysisdata.csv* и соответствующие прогнозы по каждой строке
`print(test_features[['ISd', 'SPd', 'CSd', 'TCLd', 'Prediction']])`.

Получаем предложенные варианты решений по каждой из ситуаций.

На рис. 8 видно, что Python сформировал дополнительное поле 'Prediction', в котором указал код рекомендуемого решения, сформированного на основе обученного решающего дерева.

```
print(test_features[['ISd', 'SPd', 'CSd',  
  
ISd  SPd  CSd  TCLd  RP Prediction  
0    48   14   65    93    10      PS  
1    64   45   60    67    90      VPS  
2    68   16   29    31    30      OS  
3    48    4    2    17    40      OS  
4     5    8   14    39    10      VOS  
5    60   64   84     2   100      VPS  
6    95   86   61    30    80      VPS  
7    98   54   28    74    50      PS  
8    95   88   71    24    40      PS  
9    10   83   79    54    30      PS  
10    6   18    2    85    10      PS  
11   37   80   83    54    20      PS  
12   30   40    6    20    20      OS  
13   36   87   11    18    60      VOS  
14   75   84   32    96    50      PS  
15   93   89   11     2    30      OS  
16   46   48   99    60    20      PS  
17   98   16    5    77    70      VOS  
18   29   69   61    92    30      PS  
19   88   59   59    35    90      VPS  
20   75   83   67    35    30      PS  
21   40   90   86    93    10      PS  
22   26   48   59    37    10      OS  
23   41   77   38    88    20      PS  
24    5   95   22    91    80      VOS  
25   17   23   86    73    40      PS  
26   70   73   99     5    40      PS  
27   80   60   31    43    30      PS  
28   91   33   56    61    10      PS
```

Рис. 8. Фрагмент результата решения в Python
Fig. 8. Solution result snippet in Python

Таким образом, алгоритм машинного обучения позволяет выбирать решения в сложившихся ситуациях при перезапуске испытаний на промышленном предприятии и, в зависимости от степени обученности алгоритма, давать решения в ситуациях с новыми исходными данными, например, с использованием библиотек для машинного обучения языка Python.

Заключение

В ходе исследования были поставлены задачи на основе анализа применяющихся и методов принятия решений разработать обобщённую схему алгоритма для получения готовых решений на основе анализа данных при помощи метода машинного обучения и сформировать пример практического использования предложенного алгоритма в бизнес-процессе машиностроительного предприятия.

Разработка алгоритма была проведена с использованием известной методологии моделирования процессов BPMN на примере метода решающих деревьев машинного обучения. В качестве примера процесса для анализа был выбран бизнес-процесс перезапуска испытаний изделия авиационного двигателестроения после устранения дефекта одного из компонентов. Результаты показали пригодность предложенной методики для анализа данных, полученных в производстве. Следовательно, обе задачи были успешно решены.

Дальнейшие исследования будут посвящены расширению использования интеллектуальных методов в промышленности.

Список источников

- Проект "Цифровая экономика РФ" [Электронный ресурс]. Министерство экономического развития Российской Федерации. – Режим доступа: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/ict/calculate/koap.html?c=koap> (дата обращения: 30.05.2023).
- Материал о системе мониторинга заболеваемости гриппом [Электронный ресурс]. РИА Новости. – Режим доступа: <https://ria.ru/20191025/1560152349.html> (дата обращения: 30.05.2023).
- Специалист по качеству: Профессиональный стандарт № 40.062. Утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ № 276н от 22.04.2021: 26 с.
- Системы менеджмента качества. Требования: ГОСТ Р ИСО 9001-2015. 2015. М.: Стандартиформ: 23 с.

Список литературы

- Антонов, В.В., Конев К.А. 2021. Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации / В.В. Антонов. Онтология проектирования, т. 11, 1(39): 126-136. DOI 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.
- Баганов Н.А. и др. 2022. Оценка качества ремонта автотракторных двигателей. Технический сервис машин, 2(147): 67-75. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-67-75.
- Голуб И.А., Черемухина Ю.Ю. 2022. Анализ результатов приемо-сдаточных испытаний. Наука и бизнес: пути развития, 5(131): 202-205.
- Жуков Н.Н. 2020. Введение в разработку на языке Python: Учебное пособие. СПб.: "НИЦ АРТ": 66 с. ISBN 978-5-907260-30-6.
- Кацер Ю.Д. и др. 2019. Методы обнаружения неисправностей оборудования АЭС, 4: 5-27. DOI 10.26583/nre.2019.4.01.
- Клыков Ю. И. 1974. Семиотические основы ситуационного управления. М.: МИФИ, 169 с.
- Конев К.А., Антонов В.В. и др. 2020. Основы концепции онтологического моделирования бизнес-процессов для задач принятия решений. Современные наукоемкие технологии. 12-1: 71-77. DOI 10.17513/snt.38413.
- Мурзагулов Д.А., Замятин А.В. 2018. Адаптивные алгоритмы машинного обучения в управлении технологическими процессами. Автоматизация. Современные технологии, т. 72, 8: 354-361.
- Паклин Н.Б., Орешков В.И. 2013. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. СПб.: Питер, 704 с.
- Поспелов Д.А. 1986. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 138 с.
- Шапиро О.М., Фаринский В.А. 2018. Применение искусственного интеллекта в промышленном производстве. Новые технологии и оборудование для машиностроения и металлообработки: сборник научных статей международной конференции (Минск, 25-27 сентября 2018 г.). Минск: Технологии машиностроения: 141-148.



- Bruce Silver. 2017. BPMN Quick and Easy Using Method and Style: Process Mapping Guidelines and Examples Using the Business Process Modeling Standard., Cody-Cassidy Press: 286 p. ISBN-13 978-0982368169
- Bustillo A. et al. 2021. Machine-learning for automatic prediction of flatness deviation considering the wear of the face mill teeth. Journal of Intelligent Manufacturing: 1-18 DOI 10.1007/s10845-020-01645-3.
- Fubao Zhu et al. 2018. A Classification Algorithm of CART Decision Tree based on MapReduce Attribute Weights. International journal of performability engineering, v. 14, 1: 17-25.
- Li W. et al. 2021. A Survey of Learning-Based Intelligent Optimization Algorithms. Archives of Computational Methods in Engineering, 28(5), 3781–3799. V:10.1007/s11831-021-09562-1
- McKinney Wes. 2017. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython 2nd Edition, O'Reilly Media: 724 p. ISBN 9781449319793
- Shields B.J. et al. 2021. Bayesian reaction optimization as a tool for chemical synthesis. Nature, v. 590, 7844: 89-96. DOI 10.1038/s41586-021-03213-y.
- Sweigart A. 2015. Automate the Boring Stuff with Python: Practical Programming for Total Beginners. No Starch Press: 504 p. ISBN 1593275994.
- Project "Digital Economy of the Russian Federation" [Electronic resource]. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/ict/calculate/koap.html?c=koap> (Accessed: 30.05.2023) (in Russian).
- Material on the influenza incidence monitoring system [Electronic resource]. RIA News. Available at: <https://ria.ru/20191025/1560152349.html> (Accessed: 30.05.2023) (in Russian).
- Quality Specialist: Professional Standard No. 40.062. Approved by order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation No. 276n dated April 22, 2021: 26 p. (in Russian).
- Quality management systems. Requirements: GOST R ISO 9001-2015. 2015. Moscow. Standartinform: 23 p. (in Russian).

References

- Antonov, V.V., Konev K.A. 2021. Intelligent decision support method in a typical situation / V.V. Antonov. Design ontology, v.11, 1(39): 126-136. DOI 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136 (in Russian).
- Baganov N.A. et al. 2022. Assessment of the quality of repair of automotive and tractor engines. Technical service of machines, 2(147): 67-75. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-2-67-75 (in Russian).
- Golub I.A., Cheremukhina Y.Y. 2022. Analysis of the results of acceptance tests. Science and business: ways of development, 5(131): 202-205. (in Russian).
- Zhukov N. N. 2020. Introduction to Python Development: Tutorial. St. Petersburg: "NIC ART": 66 p. ISBN 978-5-907260-30-6 (in Russian).
- Katser Y.D. et al. 2019. Methods for detecting faults in NPP equipment, 4: 5-27. DOI 10.26583/npe.2019.4.01 (in Russian).
- Klykov Yu. I. 1974. Semiotic foundations of situational management. Moscow. MIFI, 169 p. (in Russian).
- Konev K.A., Antonov V.V. et al. 2020. Fundamentals of the concept of ontological modeling of business processes for decision-making problems. Modern science-intensive technologies. 12-1: 71-77. DOI 10.17513/snt.38413 (in Russian).
- Murzagulov D.A., Zamyatin A.V. 2018. Adaptive machine learning algorithms in process control. Automation. Modern technologies, v. 72, 8: 354-361. (in Russian).
- Paklin N.B., Oreshkov V.I. 2013. Business Intelligence: From Data to Knowledge. St. Petersburg. Peter, 704 p. (in Russian).
- Pospelov D.A. 1986. Situational Management: Theory and Practice. Moscow. Nauka, 138 p. (in Russian).
- Shapiro O.M., Farinsky V.A. 2018. Application of artificial intelligence in industrial production. New technologies and equipment for mechanical engineering and metalworking: collection of scientific articles of the international conference (Minsk, September 25-27, 2018). Minsk. Engineering Technologies: 141-148 (in Russian).
- Bruce Silver. 2017. BPMN Quick and Easy Using Method and Style: Process Mapping Guidelines and Examples Using the Business Process Modeling Standard., Cody-Cassidy Press: 286 p. ISBN-13 978-0982368169

- Bustillo A. et al. 2021. Machine-learning for automatic prediction of flatness deviation considering the wear of the face mill teeth. *Journal of Intelligent Manufacturing*: 1-18 DOI 10.1007/s10845-020-01645-3.
- Fubao Zhu et al. 2018. A Classification Algorithm of CART Decision Tree based on MapReduce Attribute Weights. *International journal of performability engineering*, v. 14, 1: 17-25.
- Li W. et al. 2021. A Survey of Learning-Based Intelligent Optimization Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(5), 3781–3799. V:10.1007/s11831-021-09562-1
- McKinney Wes. 2017. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython* 2nd Edition, O'Reilly Media: 724 p. ISBN 9781449319793
- Shields B. J. et al. 2021. Bayesian reaction optimization as a tool for chemical synthesis. *Nature*, v. 590, 7844: 89-96. DOI 10.1038/s41586-021-03213-y.
- Sweigart A. 2015. *Automate the Boring Stuff with Python: Practical Programming for Total Beginners*. No Starch Press: 504 p. ISBN 1593275994.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Конев Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Konstantin A. Konev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation



УДК 349.7

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-704-711

Возможности искусственного интеллекта в гражданском процессе

Адешченко К.Р.

ООО «РСХБ-Интех»

Россия, 119261, Москва, Ленинский проспект, 72/2

E-mail: kaparray@gmail.com

Аннотация. Внедрение цифровых технологий в процесс гражданского судопроизводства может внести существенный вклад в снятие или нивелирование проблем вынесения судебных решений по гражданским делам в условиях дистанционного формата. Распространение цифровых технологий в системе правосудия в мире набирает обороты. Одной из таких технологий выступает искусственный интеллект. Данная проблематика находится в фокусе внимания российских и зарубежных ученых и экспертов. В системе гражданского правосудия их роль требует научного переосмысления. Исследовательский вопрос, связанный с выявлением особенностей применения искусственного интеллекта в гражданском правосудии, представляет научную новизну. Достоверность результатов исследования обеспечивается методами анализа научной литературы, мнений экспертов, анализа зарубежного и отечественного опыта. Полученные результаты исследования представляют практическую значимость для повышения эффективности процесса гражданского судопроизводства в дистанционном формате.

Ключевые слова: искусственный интеллект, правосудие, искусственный судья, цифровизация судебной системы

Для цитирования: Адешченко К.Р. 2023. Возможности искусственного интеллекта в гражданском процессе. Экономика. Информатика, 50(3): 704–711. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-704-711

The Possibilities of Artificial Intelligence in the Civil Process

Kirill R. Adeshchenko

Employee of RSHB-Intech LLC

72/2 Leninsky Prospekt, Moscow, 119261, Russian Federation

E-mail: kaparray@gmail.com

Abstract. The introduction of digital technologies in the process of civil proceedings can make a significant contribution to the removal or leveling of the problems of adjudication in civil cases in a remote format. The spread of digital technologies in the justice system in the world is gaining momentum. One of these technologies is artificial intelligence. This issue is in the focus of attention of Russian and foreign scientists and experts. In the civil justice system, their role requires a scientific rethinking. The research question related to the identification of the features of the use of artificial intelligence in civil justice is a scientific novelty. The reliability of the research results is ensured by the methods of analyzing scientific literature, expert opinions, analysis of foreign and domestic experience. The obtained research results are of practical importance for improving the efficiency of the process of civil proceedings in a remote format.

Keywords: artificial intelligence, justice, artificial judge, digitalization of the judicial system

For citation: Adeshchenko K.R. 2023. The Possibilities of Artificial Intelligence in the Civil Process. Economics. Information technologies, 50(3): 704–711 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-704-711

Введение

Использование технологий искусственного интеллекта в информационном обществе определяет появление нового качества проблем в гражданском судопроизводстве. Особенное значение отводится технологиям данной группы в гражданском правосудии для принятия справедливых судебных решений. Данная практика находится в фокусе внимания исследователей и экспертов. Анализ российской практики правосудия показывает, что судьи часто при вынесении судебных решений руководствуются не нормами закона, а личными установками.

Теоретический анализ научной литературы (П.М. Морхат; Е.А. Войникас; Э.М. Пройдаков; М. Зелен; В. Лаптев; М.Д. Журавлева) показывает, что применение технологий слабого искусственного интеллекта в гражданском правосудии позволяет определять новые возможности в гражданском судопроизводстве. Однако обращение к мнениям экспертов (В. Баршев, В. Момотов, И. Постный, и др.) показывает, что их оценки более сдержаны, поэтому выделяется ряд правовых рисков и нерешенных вопросов.

Все актуальнее в России становится проблема использования искусственного интеллекта в гражданском процессе.

Немного по-иному сценарию развивается практика зарубежных стран. Принята «Этическая хартия искусственного интеллекта в судебных системах» (2018), устанавливающая информационно-правовые принципы использования искусственного интеллекта. Анализ зарубежной практики показывает, что искусственный интеллект уже проходит экспериментальную апробацию в системе гражданского правосудия. Тем не менее результаты не лишены противоречий и проблем. Результаты исследований из Европы показывают, что «искусственные судьи» подвержены вынесению субъективных решений, так как полагаются на личный статус, занятость и уровень образования подсудимых, что де-юре и де-факто создает проблему легитимности судебных решений [Искусственный интеллект..]. Также получили распространение ассистенты судей. Современные исследователи полагают, что в силовых структурах искусственный интеллект очень востребован, так как дает возможность анализировать видео сразу из нескольких камер наблюдения [1]. Кроме того, возможности искусственного интеллекта позволяют формировать систему документов для прокуратуры, суда и обвинительные заключения [Пройдаков, 2018].

Техника автономна от человека, что повышает ее непредсказуемость, потому что технологии не учитывают иррациональный компонент гражданских дел, отдавая предпочтение формально-логическому компоненту. Это значит, что большинство закрепленных в российском праве оценочных и ценностных компонентов крайне проблематично воспроизвести в алгоритме машинного обучения, все они формируются только благодаря гражданско-патриотическому воспитанию и правовой социализации. Но выявление правового смысла законодательства в сложных арбитражных ситуациях проблематично выявить без высокой правовой культуры (компетентности). Машинам это не под силу. В российских регионах искусственный интеллект используется в приказном производстве. Определена стратегия его дальнейшего применения [О развитии..., 2019]. На уровне Правительства РФ ведутся дискуссии о применении искусственного интеллекта в гражданском судопроизводстве [Доклад ИИ-системы, 2019; Судебный процессор, 2017].

То есть предрассудкам подвержены не только люди. В США уже практикуется деятельность искусственных судей для вынесения судебных решений. Тем самым развитию технологий искусственного интеллекта сопутствуют негативные явления. В Китае и отдельных странах Евросоюза с осторожностью относятся к использованию искусственного интеллекта в гражданском правосудии для вспомогательного анализа правовых документов, не заменяют судью. Успешным оказался опыт применения «искусственного судьи» в Аргентине в 2018 году.

Актуальность заявленной в статье проблемы выражается в том, что программы, связанные с искусственным интеллектом, способны выносить и оформлять судебные решения



по гражданским делам, которые потом были утверждены муниципальными судьями. Однако цифровые технологии не учитывают, что учет моральных ценностей при вынесении судебных решений носит юридически значимый характер.

Цель статьи заключается в анализе особенностей использования искусственного интеллекта в гражданском процессе.

Методика

Оценка достоверности представленных результатов основывается на методах анализа и синтеза научной литературы.

Искусственный интеллект претерпел эволюционные изменения. Об этом свидетельствует значительный семантический ряд близких по смыслу понятий: «artificial intelligence», «машинное обучение», «слабый искусственный интеллект (Narrow Artificial Intelligence)», «сильный искусственный интеллект (Artificial General intelligence)», «суперискусственный интеллект (Super Artificial Intelligence)», «представление знаний», «доказательство теорем», «робототехника», «компьютерное зрение», «обработка естественных языков», «многоагентные системы», «инструментальные средства искусственного интеллекта», «LegalTech», «Legal Artificial Intelligence» и др.

Основное изложение материала

Технологии на базе машинного обучения, способные решать узкие специализированные задачи, называют слабым искусственным интеллектом.

Искусственный интеллект в научной литературе рассматривается как совокупность теорий и технологий, позволяющих имитировать в разной степени интеллект человека. Искусственный интеллект (автоматизированная самообучающаяся система) в общем смысле является цифровой программой, функционирующей и адаптирующейся на основе заданных алгоритмов, вырабатывающих машинное мышление. В отдельный самостоятельный вид выделяется слабый искусственный интеллект, возможности которого позволяют обобщать массивы данных машинного обучения, синтезируя которые алгоритм слабого искусственного интеллекта способен делать прогнозы касательно неизвестных для такого типа интеллекта примеров. Кроме того, этот тип искусственного интеллекта способен формировать результат, который не зависит от идеи разработчика [Искусственный интеллект «судья», 2016]. Способность искусственного интеллекта к проектированию непредвиденных разработчиками результатов с помощью уникальных алгоритмов порождает, по мнению исследователей, проблемы дискриминации людей и проблемы правосубъектности.

Актуализируется запрос на организацию междисциплинарных исследований. Появилось немало вопросов по гражданскому праву. Искусственный интеллект в отличие от судей не использует при вынесении решений нравственные категории [Борисова, с.20-28]. На современном этапе в Российской Федерации имеются достаточные предпосылки для использования слабого искусственного интеллекта. В государственных структурах была внедрена система «Правосудие онлайн», посредством которого граждане могут обратиться дистанционно в суд и запросить конкретную информацию по судопроизводству. Более того, возможности системы позволяют дистанционно принимать участие в судебном заседании [Момотов, 2020]. Еще одной мерой, способствовавшей внедрению искусственного интеллекта, является утверждение в 2020 г. Федерального проекта «Искусственный интеллект» [Паспорт федерального проекта..., 2020]. Непосредственно для граждан и служащих заработал портал «Картотеки арбитражных дел», обеспечивающий доступ к сведениям судебной системы.

Так, например, при составлении договора поставки обычно юрист индивидуализирует текст договора с учетом обстоятельств обратившегося к нему клиента (его интересы и риски). Один и тот же по содержанию договор может быть представлен на 5 или 50 страницах.

Практика показывает, что не многие практикующие юристы следуют этому алгоритму, не проявляя должную осмотрительность при выборе контрагента. Однако ИТ-специалисты вообще не учитывают этот принцип при подготовке договора. Разработчики технологических решений убеждены, что для составления гражданско-правового оговора достаточно использовать типовые шаблоны и конструктор договоров (без участия юристов). Для этого, по мнению ИТ-экспертов, достаточно вписать фамилии и реквизиты – и договор готов на подписание. В настоящее время существующий инструментарий ALTech не способен оценить юридические факты с позиций профессиональной логики [Alarie et al., 2017]. Кроме того, в силу фундаментальных различий правовых систем разных стран и национальных языков, создать универсальную модель правовых знаний проблематично.

Перед искусственным интеллектом ставится задача смыслового понимания юридического текста, сопоставимое с восприятием компетентного юриста, без непосредственного участия которого сложно воспроизвести структурный смысл (юридический концепт) нормативно-правового акта. В настоящее время следует говорить о динамичном развитии группы технологий LegalTech (или юридические технологии, например, СПАРК, Контр.ФОКУС и др.), представленные пользовательскими продуктами с ограниченным функционалом. Внедрение в юридический оборот технологий данной группы имеет немало сложностей и требует взаимодействия юристов, лингвистов и ИТ-специалистов, формат мышления которых неоднородный.

Эксперты считают, что проектирование эффективных цифровых юридических технологий возможно посредством использования независимого семантического блока, способного учитывать следующие базовые компоненты: 1) структурные модели юридических знаний (графов и онтологий); 2) номенклатура методов и средств лингвистического анализа; 3) компоненты machine learning [Постный, 2020]. Тем не менее следует признать, что в юриспруденции существуют не алгоритмизированные области знаний, вырабатываемые в ходе длительной юридической практики. В российском гражданском судопроизводстве активно используются такие программные инструменты: справочные правовые системы, чат-боты, системы проверки контрагентов, конструкторы правовых документов, экспертная аналитика данных в конкретной области [Бехтеев, 2021; Гертнер, 2020].

Обращение к авторитетным зарубежным экспертам (С. Хокинг, И. Маск, Б. Гейтс и др.) показывает, что в процессе использования возможностей слабого искусственного интеллекта систематизирован ряд угроз, в числе которых следующие: полная зависимость от компьютеров, непредсказуемость, роботизация рабочих процессов, социальные риски, ошибки в системах искусственного интеллекта, экзистенциальные риски.

Отдельную группу рисков составляют правовые риски использования искусственного интеллекта, которые делятся на риски обучения (защита персональных данных) и риски эксплуатации (ответственность за деликты, ответственность за использование программ, принадлежность исключительных прав). К примеру, сервис Play Market сначала обучается в процессе сбора данных, а когда обучение закончится, разработчики запускают программу в эксплуатацию, что позволяет скачивать ее пользователем. В процессе эксплуатации технологий искусственного интеллекта в гражданско-правовых отношениях бывают ситуации неопределённости. К примеру, случались серьезные инциденты на дорогах с участием беспилотных аппаратов Uber, сбивших пешеходов. После государственной проверки установлено, что производителем была отключена штатная система экстренного торможения. Ответственность за смертельное дорожно-транспортное происшествие компания-производитель не понесла [Баршев, 2019]. Зафиксированы факты, когда беспилотное транспортное средство проезжает на красный сигнал светофора, что повышает значимость «дежурного водителя» [Зелен, 2017]. Важное значение для гражданского права имеет развитие других отраслей транспортного права. В частности, Министерство транспорта РФ работает над законопроектом «О высокоавтоматизированных транспортных средствах». Документ опре-



деляет правила эксплуатации беспилотных аппаратов. Параллельно вынесен на рассмотрение Законопроект № 710083-7 «Об опытной эксплуатации инновационных транспортных средств и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Проект закона определяет равные права иностранных граждан и иностранных юридических лиц наравне с российскими при эксплуатации беспилотных транспортных средств, в том числе несут гражданско-правовую ответственность. Определены регулирующие нормы для ввоза и вывоза беспилотных транспортных средств. Также предусмотрено страхование ответственности владельцев беспилотных средств. Для научного осмысления интерес представляет Глава 9 законопроекта, устанавливающая гражданско-правовую ответственность (помимо прочих видов ответственности) для лиц, нарушивших законодательство, регулирующее отношения, связанные с использованием беспилотных аппаратов. Определены условия снятия ответственности с виновных лиц в случае целого ряда обстоятельств непреодолимой силы (п.3, статьи 21 законопроекта №1415). Документ определяет ответственность водителей беспилотного транспортного средства, к которым относит: 1) лиц, находящихся за рулем и запустивших работу систем; 2) лиц, имеющих дистанционный доступ к управлению; 3) лицо-изготовитель и собственник беспилотного транспортного средства. Статья 131 и 135 Воздушного кодекса предусматривает обязательное для всех типов беспилотных авиационных систем о страховании ответственности эксплуатанта и владельца перед третьими лицами.

Сказанное позволяет проследить аналогию с «дежурным» судьей, ответственным за использование искусственного интеллекта («цифрового помощника судьи»). Однако эксперты обращают внимание на тот факт, что российское законодательство в настоящее время еще не позволяет передвигаться беспилотному транспорту без участия лица, способного управлять таким транспортом. Активное использование получили аукционные роботы для мониторинга цен конкурентов и автоматического установления цен на свои товары. Антимонопольной службой страны зафиксировано немало инцидентов, связанных с изменениями ценового алгоритма с помощью ценовых роботов. Показателен инцидент с компанией LG, использовавшей цифровой картель (автоматический «сговор» без участия человека) [Войниканис и др., 2018].

Согласно оценкам экспертов в области права, на современном этапе развития российской судебной системы об автономной работе искусственного интеллекта в гражданском процессе дискуссии не ведутся [Лаптев, 2021]. В настоящее время возможна комбинированная деятельность судьи и co-robot для контроля и оценки доказательств для обоснования позиции в суде. Открытость и достоверность данных для граждан позволит выработать доверие у граждан к цифровым судебным технологиям [Морхат, 2017].

Выводы

Проведенное исследование позволило прийти к выводу о том, что единой трактовки термина «слабый искусственный интеллект» в научной литературе не существует. Анализ мнений экспертов позволил прийти к мнению о том, что правовая разработка проблем в гражданском судопроизводстве требует взаимодействия юристов, лингвистов и ИТ-специалистов. Анализ зарубежной и отечественной практики показывает, что по данному вопросу прикладные результаты внедрения неоднозначны: цифровые технологии игнорируют иррациональный компонент, представленный моральными ценностями, компетентностью. По этой причине на современном этапе слабый искусственный интеллект может применяться судьями как вспомогательная технология. Слабый искусственный интеллект пока еще не способен к смысловому пониманию юридического текста. Эксперты и ученые выделяют значительное количество рисков и угроз в использовании технологий слабого искусственного интеллекта, в том числе и в плоскости гражданского судопроизводства.

Перспективы дальнейших исследований связываются со сравнительным анализом зарубежного опыта использования искусственного интеллекта в гражданском процессе.

Список литературы

- Апостолова Н.Н. 2019. Искусственный интеллект в судопроизводстве. Северо-Кавказский юридический вестник. 3: 135-141.
- Баршев В. Раскрыта тайна смертельного наезда беспилотника Uber. Российская газета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/11/10/raskryta-tajna-smertelnogo-naezda-bespilotnika-uber.html> (дата обращения: 16.05.2023).
- Бехтеев Д.В. 2021. Искусственный интеллект: этико-правовые основы. Монография. М.: Проспект, 176.
- Борисова Л.В. 2020. Об основных направлениях становления и развития электронного правосудия в современной России. Право и цифровая экономика. 2: 32–35.
- Войниканис Е.А., Семенова Е.В., Тюляев Г.С. 2018. Искусственный интеллект и право: вызовы и возможности самообучающихся алгоритмов. Вестник Воронежского государственного университета. 4:137-148.
- Гертнер А.В. 2020. К вопросу об использовании искусственного интеллекта в системе электронного правосудия: pro et contra. Текст: непосредственный. Молодой ученый. 49(339): 211-215.
- Доклад «ИИ-системы как субъекты права» на Гайдаровском форуме: сайт. URL: https://zen.yandex.ru/media/aiqcnt/doklad-iisistemy-kak-subekty-prava-na-gaidarovskom-forume-5c430924f6cfb300af1c0d9f#publication_likers (дата обращения: 15.06.2023).
- Журавлева М.Д. 2021. К вопросу о внедрении и использовании систем искусственного интеллекта в гражданском судопроизводстве. Гуманитарные и политико-правовые исследования. 1: 20-28.
- Зелен М. Суды, скандалы и аварии: Какие неприятности преследуют беспилотные автомобили User. Журнал для предпринимателей Inc.Russia. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://incrussia.ru/understand/sudy-skandaly-i-avarii-kakie-nepriyatnosti-presleduyut-bespilotnye-avtomobili-uber/> (дата обращения: 15.05.2023).
- Искусственный интеллект «судья»: сайт. URL: <https://www.universityherald.com/articles/45702/20161024/artificial-intelligence-judge-predict-outcome-european-court-trials.htm> (дата обращения: 15.02.2021).
- Искусственный интеллект в суде. Право собственности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://law.need.estate.ru/news/legislation/laws-europe/674-artificial-intelligence-in-court> (дата обращения: 15.05.2023).
- Лаптев В. Искусственный интеллект в суде: как он будет работать. Портал «Право». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.ru/opinion/232129/> (дата обращения: 17.05.2023).
- Момотов В. Искусственный интеллект в суде не будет нейтрален к человеку. Legal.report. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://legal.report/viktor-momotov-iskusstvennyj-intellekt-v-sude-ne-budet-nejtralen-k-cheloveku/> (дата обращения: 16.05.2023).
- Морхат П.М. 2017. Искусственный интеллект: правовой взгляд. Монография. М.: Буки Веди, 258 с.
- О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года»): Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490. СЗ РФ. 2019. № 41. Ст. 5700.
- Паспорт федерального проекта Искусственный интеллект национальной программы Цифровая экономика Российской Федерации (приложение N 3 к протоколу президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 27.08.2020 №17). СПС Консультант. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/law/podborki/federalnyj_proekt_iskusstvennyj_intellekt/ (дата обращения: 17.05.2023).
- Постный И. Искусственный интеллект в области юриспруденции. Статья 2. Хабр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/511004/> (дата обращения: 17.05.2023).
- Пройдаков Э.М. 2018. Современное состояние искусственного интеллекта. Научно-исследовательские исследования. №2018. 129-153.
- Судебный процессор: Правительство обсуждает использование искусственного интеллекта в правовой сфере. Коммерсант. 2017: сайт. URL: <https://www.simplawyer.com/wp-content/uploads/Zakon.ru-Legal-Tech-and-lawyers-of-the-future.pdf> (дата обращения: 14.06.2023).



Alarie B., Niblett A., Yoon A. 2017. How Artificial Intelligence Will Affect the Practice of Law. *International Review of Intellectual Property and Competition Law (IIC)*. 43(5): 532–554.

References

- Apostolova N.N. 2019. Artificial intelligence in legal proceedings. *North Caucasus Legal Vestnik*. 3: 135-141.
- Barshev V. Raskryta tajna smertel'nogo naezda bespilotnika Uber [The mystery of the fatal collision of an Uber drone has been revealed]. *Rossijskaja gazeta* [Russian newspaper]. [Electronic resource]. Access mode: <https://rg.ru/2019/11/10/raskryta-tajna-smertelnogo-naezda-bespilotnika-uber.html> (data access: 16.05.2023).
- Behteev D.V. 2021. *Iskusstvennyj intellekt: jetiko-pravovye osnovy* [Artificial intelligence: ethical and legal foundations]. Monografija. M.: Prospekt, 176.
- Borisova L.V. 2020. Ob osnovnyh napravlenijah stanovlenija i razvitija jelektronnogo pravosudija v sovremennoj Rossii [On the main directions of the formation and development of electronic justice in modern Russia]. *Pravo i cifrovaja jekonomika* [Law and digital economy]. 2: 32–35.
- Vojnikanis E.A., Semenova E.V., Tjuljaev G.S. 2018. *Iskusstvennyj intellekt i pravo: vyzovy i vozmozhnosti samobuchajushhihsja algoritmov* [Artificial intelligence and law: challenges and opportunities of self-learning algorithms] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State University]. 4: 137-148.
- Gertner A.V. 2020. K voprosu ob ispol'zovanii iskusstvennogo intellekta v sisteme jelektronnogo pravosudija: pro et contra. Tekst: neposredstvennyj [On the issue of using artificial intelligence in the e-justice system: pro et contra. Text: direct]. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 49(339): 211-215.
- Doklad «II-sistemy kak sub'ekty prava» na Gajdarovskom forumе: sajt. URL: https://zen.yandex.ru/media/aiqcnt/doklad-iisistemy-kak-subekty-prava-na-gaidarovskom-forume-5c430924f6cfb300af1c0d9f#publication_likers (data access: 15.06.2023).
- Zhuravleva M.D. 2021. K voprosu o vnedrenii i ispol'zovanii sistem iskusstvennogo intellekta v grazhdanskom sudoproizvodstve [On the issue of implementation and use of artificial intelligence systems in civil proceedings]. *Gumanitarnye i politiko-pravovye issledovanija* [Humanitarian and political-legal research]. 1: 20-28.
- Zelen M. Sudy, skandaly i avarii: Kakie nepriyatnosti presledujut bespilotnye avtomobili. *Zhurnal dlja predprinimatelej Inc.Russia*. [Electronic resource]. Access mode: <https://incrussia.ru/understand/sudy-skandaly-i-avarii-kakie-nepriyatnosti-presleduyut-bespilotnye-avtomobili-uber/> (data access: 15.05.2023).
- Iskusstvennyj intellekt «sud'ja»: sajt. URL: <https://www.universityherald.com/articles/45702/20161024/artificial-intelligence-judge-predict-outcome-european-court-trials.htm> (data access: 15.02.2021).
- Iskusstvennyj intellekt v sude. Pravo sobstvennosti. [Electronic resource]. Access mode: <http://law.need.estate.ru/news/legislation/laws-europe/674-artificial-intelligence-in-court> (data access: 15.05.2023).
- Laptev V. *Iskusstvennyj intellekt v sude: kak on budet rabotat'*. Portal «Pravo». [Electronic resource]. Access mode: <https://pravo.ru/opinion/232129/> (data access: 17.05.2023).
- Momotov V.: *Iskusstvennyj intellekt v sude ne budet nejtralen k cheloveku*. Legal.report. [Electronic resource]. Access mode: <https://legal.report/viktor-momotov-iskusstvennyj-intellekt-v-sude-ne-budet-nejtralen-k-cheloveku/> (data access: 16.05.2023).
- Morhat P.M. *Iskusstvennyj intellekt: pravovoj vzgljad* [Artificial intelligence: a legal perspective]. Monografija. M.: Buki Vedi, 2017. 258.
- O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii (vmeste s «Nacional'noj strategiej razvitija iskusstvennogo intellekta na period do 2030 goda»): Ukaz Prezidenta RF ot 10.10.2019 № 490. SZ RF. 2019. № 41. St. 5700.
- Pasport federal'nogo proekta *Iskusstvennyj intellekt nacional'noj programmy Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii* (prilozhenie N 3 k protokolu prezidiuma Pravitel'svennoj komissii po cifrovomu razvitiyu, ispol'zovaniju informacionnyh tehnologij dlja uluchshenija kachestva zhizni i uslovij vedenija predprinimatel'skoj dejatel'nosti ot 27.08.2020 №17). SPS Konsul'tant. [Electronic resource]. Access mode: http://www.consultant.ru/law/podborki/federalnyj_proekt_iskusstvennyj_intellekt/ (data access: 17.05.2023).



- Postnyj I. Iskusstvennyj intellekt v oblasti jurisprudencii. Stat'ja 2. Habr. [Electronic resource]. Access mode: <https://habr.com/ru/post/511004/> (data access: 17.05.2023).
- Projdakov Je.M. 2018. Sovremennoe sostojanie iskusstvennogo intellekta [The current state of artificial intelligenc]. Naukovedcheskie issledovanija [Scientific research]. №2018. 129-153.
- Sudebnyj processor: Pravitel'stvo obsuzhdaet ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta v pravovoj sfere. Kommersant. 2017: sajt. URL: <https://www.simplawyer.com/wp-content/uploads/Zakon.ru-Legal-Tech-and-lawyers-of-the-future.pdf> (data access: 14.06.2023).
- Alarie B., Niblett A., Yoon A. 2017. How Artificial Intelligence Will Affect the Practice of Law. International Review of Intellectual Property and Competition Law (IIC). 43(5): 532–554.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Адешенко Кирилл Русланович, сотрудник
ООО “РСХБ-Интех”, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kirill R. Adeshchenko, Employee of RSHB-
Intech LLC, Moscow, Russian Federation



ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 519.6

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-3-712-730

Модифицированный метод Прони с корректирующим сигналом управления

Волчков В.П., Потапова Е.А.

Московский технический университет связи и информатики,
Россия, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а
E-mail: volchkovvalery@mail.ru, potapova-69@bk.ru

Аннотация. Разработан модифицированный метод Прони, который значительно расширяет его аппроксимирующие возможности, позволяя качественно описывать сложные некаузальные дискретные сигналы на бесконечном двухстороннем интервале времени. Классический метод Прони и его известные модификации предназначены для аппроксимации только каузальных сигналов, причем они не лучшим образом описывают дискретные сигналы, которые являются решениями разностных уравнений с кратными или очень близкими по величине полюсами. С целью преодоления указанных выше недостатков для аппроксимации дискретных некаузальных сигналов предложена новая дискретная двухкомпонентная экспоненциальная модель Прони со специальным корректирующим сигналом управления. Разработан метод оптимального оценивания параметров предложенной модели и на его основе получены строгие аналитические выражения для аппроксимирующего сигнала и его спектра. Приведены результаты сравнительного эксперимента подтверждающие более хорошее качество аппроксимации сигнала предложенного модифицированного метода Прони по сравнению с известным.

Ключевые слова: аппроксимация сигнала, метод Прони, рекурсивная модель, разностные уравнения, дискретные сигналы, каузальные сигналы, некаузальные сигналы

Для цитирования: Волчков В.П., Потапова Е.А. 2023. Модифицированный метод Прони с корректирующим сигналом управления. Экономика. Информатика. 50(3): 712–730. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-712-730

Modified Proni Method with a Correctional Control Signal

Valery P. Volchkov, Ekaterina A. Potapova

Moscow Technical University of Communications and Informatics,
8a Aviamotornaya St., Moscow, 111024, Russian Federation
E-mail: volchkovvalery@mail.ru, potapova-69@bk.ru

Abstract. To approximate discrete non-causal signals given on an infinite two-sided time interval, a two-component modification of the Prony model is proposed, in which one component approximates the causal part of the signal, and the other, the anti-causal part. To reduce the approximation errors arising from the restrictions on the multiplicity of the poles, a special corrective signal is added to each component of the exponential Prony model, which plays the role of the optimal control and leads to its amplitude-phase correction. A method for optimal estimation of the parameters of the proposed two-component Prony model is developed and, on its basis, analytical expressions are obtained for the algorithm of the best approximation of signals by its finite sample of samples according to the minimum squared error (MSE) criterion. Strict analytical expressions are obtained for the spectrum of the approximating signal, built on the basis of the proposed Prony method with a corrective control signal. The results of a comparative

experiment are presented, confirming the good quality of the signal approximation in both the time and spectral domains under the conditions of the multiplicity of the poles. It is shown that in this case the proposed method makes it possible to reduce the approximation errors by more than 80 times compared to the conventional Prony method.

Keywords: signal approximation, Prony method, recursive model, difference equations, discrete signals, causal signals, non-causal signals

For citation: Volchkov V.P., Potapova E.A. 2023. Modified Proni Method with a Correctional Control Signal. Economics. Information technologies, 50(3): 712–730 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-3-712-730

Описание проблемы и ее актуальность

При проектировании эффективных систем передачи и приема информации по каналу связи часто возникает следующая проблема: по выбранному критерию качества синтезирован оптимальный дискретный сигнал, обеспечивающий наилучший способ передачи и приема, но его аналитическое описание оказалось очень сложным и трудно реализуемым на практике. Поэтому для того, чтобы использовать результаты синтеза на практике, нужно построить такую дискретную модель формирования сигналов, которая бы качественно аппроксимировала исходный оптимальный сигнал, имела простое описание и создавала предпосылки для последующей эффективной реализации в виде формирующего фильтра.

Метод Прони и его многочисленные модификации, описанные в работах [Марпл-мл, 1990; Hu, Yang, Li; 2013; Plonka, Tasche, 2014; Skrzipek, 2017; Khodaparast, Fosso, Molinas, 2018; Keller, Plonka, 2021; Skrzipek, 2021, Ahn, Koh, 2022; Hussen, He, 2022; Janith et al., 2022; Lin et al., 2022], нацелены на решение указанной проблемы. Однако во всех этих модификациях присутствуют определенные ограничения на структуру и параметры модели Прони (модель должна быть каузальной, а все ее полюса должны быть простыми). Эти ограничения не всегда позволяют обеспечить требуемое качество аппроксимации и ограничивают область применения.

Поэтому поиск новых подходов к развитию метода Прони и преодолению его недостатков оказывается актуальной задачей. Для этого авторами статьи предложена новая двухкомпонентная модель Прони с амплитудно-фазовой коррекцией, позволяющая расширить ее аппроксимирующие возможности и существенно улучшить качество аппроксимации сигналов. Разработан метод оптимального оценивания параметров предложенной модели и на его основе получены аналитические выражения, описывающие алгоритм наилучшей аппроксимации некаузального сигнала по его конечной выборке с использованием критерия минимума квадратической ошибки (МКО). Получены строгие аналитические выражения для спектра аппроксимирующего сигнала. Приведены результаты сравнительного эксперимента, подтверждающие в условиях кратности полюсов хорошее качество аппроксимации сигнала как во временной, так и в спектральной областях. Показано, что в этом случае предложенный метод позволяет уменьшить ошибки аппроксимации более чем в 80 раз по сравнению с обычным методом Прони.

Анализ проблемы и пути ее решения

Чтобы сформулировать и обосновать предложенный авторами подход рассмотрим основные особенности метода Прони, проанализируем его достоинства, которые необходимо сохранить, и слабые стороны, которые следует преодолеть.

Суть подхода Прони заключается в аппроксимации сигнала линейной комбинацией комплексных дискретных экспоненциальных функций, а его современные версии основаны на подгонке параметров экспоненциальной модели к известным значениям сигнала методом наименьших квадратов по критерию МКО. Причем количество отсчетов сигнала всегда превышает число параметров экспонент, а разные модификации метода Прони в основном сводятся к адаптации его к решению конкретных физических приложений.

В частности, построенная на основе модели Прони дискретная аппроксимация сигнала, может быть адекватно преобразована в рекурсивную модель путем пересчета параметров экспоненциальной модели в параметры соответствующей рекурсивной модели (в системе МАТЛАБ для этого используется функция `residuez`). В результате моделирование сигнала заметно упрощается и может быть реализовано в виде рекурсивного формирующего фильтра.

Для более детального анализа достоинств и недостатков метода Прони его необходимо разбить на три этапа.

1) На первом этапе строится модель линейного рекуррентного предсказания сигнала и оцениваются ее параметры по критерию минимума квадрата ошибки (МКО) предсказания.

2) На втором этапе из коэффициентов линейного предсказания формируется характеристический полином, находятся его корни и выполняется процедура полиномиальной факторизации в предположении, что все найденные корни являются простыми. Эти корни являются показателями экспонент модели Прони и совпадают полюсами системной функции соответствующего формирующего фильтра.

3) На третьем этапе по критерию МКО решается система линейных уравнений относительно коэффициентов линейной комбинации экспонент, входящих в модель Прони.

Главное достоинство метода Прони – возможность корректного разделения процедур оценивания показателей экспонент и коэффициентов при экспонентах и сведение их к решению двух переопределенных систем линейных уравнений методом наименьших квадратов. Другие известные методы [Levy, 1959; Rabiner, Gold, 1975; Марпл-мл, 1990; Оппенгейм, Шафер, 2006; Смит, 2012], основанные на аппроксимации сигнала в частотной области, этим достоинством не обладают, а для оптимальной оценки параметров модели по критерию МКО приходится решать нелинейную задачу, привлекая численные итерационные методы. Кроме того, алгоритм Прони оказывается привлекательным благодаря наличию эффективных вычислительных алгоритмов полиномиальной факторизации и простой структуре матрицы Вандермонда, описывающей систему линейных уравнений на этапе 3).

Главный недостаток метода Прони – корни характеристического полинома должны быть простыми. Если это не так, то алгоритм полиномиальной факторизации дает приближенное решение для полюсов, а значит и для показателей экспонент. Чтобы компенсировать возникающие при этом ошибки аппроксимации можно повысить порядок аппроксимации, увеличив число аппроксимирующих экспонент. Но это увеличит число полюсов формирующего фильтра, а также чувствительность алгоритма к вычислительным ошибкам или возможному зашумлению отсчетов сигнала, если сигнал был принят по каналу связи.

Другой недостаток связан каузальностью экспоненциальной модели Прони. Это значит, что аппроксимируемый сигнал тоже должен быть каузальным, т.е. задаваться на одностороннем положительном интервале времени. Причина такого ограничения связана с желанием получить в процессе синтеза физически реализуемый формирующий фильтр. Однако это требование ограничивает класс возможных решений и часто в ущерб качеству аппроксимации. Кроме того, существуют задачи, когда исходные сигналы задаются на бесконечном двухстороннем интервале и являются несимметричными [Volchkov, Sannikov,

Manonina, 2019; Волчков, Антипова, 2022]. Существующие модификации метода Прони не приспособлены к аппроксимации таких некаузальных сигналов. Поэтому желательно иметь более расширенную модель Прони, пригодную для аппроксимации сигнала на двухстороннем бесконечном интервале. А необходимое свойство каузальности обеспечить потом на этапе физической реализации формирующего фильтра, вводя в него подходящую задержку и ограничения по времени.

Статья посвящена дальнейшему развитию метода Прони и преодолению указанных выше недостатков. Ниже описаны пути решения проблемы и преимущества нового подхода.

Для снятия ограничений, связанных каузальностью, предлагается двухкомпонентная модификация модели Прони, у которой одна компонента отвечает за аппроксимацию каузальной части сигнала в прямом времени на интервале $[0, \infty]$, а другая – за аппроксимацию антикаузальной части сигнала в обратном времени на интервале $[0, -\infty]$. Причем параметры этих двух модельных компонент оцениваются независимо, а результаты аппроксимации сигнала в прямом и обратном времени затем объединяются.

Для уменьшения ошибок аппроксимации, возникающих из-за ограничений на кратность корней характеристического полинома, в каждую из двух модельных компонент к экспоненциальной части модели добавляется специальный корректирующий сигнал управления (КСУ), действие которого распространяется только на ограниченное число отсчетов. При этом оптимальные параметры корректирующего сигнала оцениваются вместе с коэффициентами экспонент по критерию наименьших квадратов на 3-ем этапе iii) построения модели Прони. В соответствующем рекурсивном формирующем фильтре добавление такого корректирующего сигнала приводит к дополнительному оптимальному управлению начальными условиями разностного уравнения, приводя к амплитудно-фазовой коррекции его комплексной частотной характеристики.

Предлагаемая двухкомпонентная модификация метода Прони с КСУ позволяет получить строгие аналитические выражения для комплексного спектра аппроксимирующего сигнала, которые по сложности мало чем отличаются от выражений для спектра классической модели Прони. Это также является достоинством предложенной модели, так как позволяет использовать ее для спектрального анализа некаузальных сигналов.

В экспериментальной части статьи показано, что введение КСУ в модель Прони, позволяет значительно уменьшить ошибки аппроксимации некаузального сигнала как во временной, так и частотной области. А двухкомпонентная структура модели позволяет одинаково хорошо аппроксимировать некаузальный сигнал как на положительном, так и на отрицательном интервалах времени.

Математическая формализация задачи и ее решение

Рассмотрим дискретный вещественный некаузальный детерминированный сигнал $\{s[i]\}$

$$s[i] \in \mathbb{R}, \quad i \in \mathbb{Z}, \quad E_s = \sum_{i=-\infty}^{\infty} s^2[i] < \infty \quad (1)$$

с конечной энергией E_s на бесконечном двухстороннем интервале времени $\mathbb{Z} = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$. Разобьем его на две подпоследовательности: каузальную часть $\{s[i^+]\}$ (при $i \geq 0$) и антикаузальную часть $\{s[i^-]\}$ (при $i \leq 0$)

$$\{s[i]\} = \{s[i^-]\} \cup \{s[i^+]\} \oslash [0], \quad i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (2)$$

$$\{s[i^+]\} = \{s[i^+], \quad i^+ = 0, +1, +2, \dots\}, \quad (3)$$

$$\{s[i^-]\} = \{s[i^-] \in \mathbb{R}, \quad i^- = 0, -1, -2, \dots\}, \quad (4)$$

где значение $s[0]$ из соображений симметрии входит в каждую из этих частей; $\cup, \ominus$ – символы объединения и вычитания множеств, соответственно. Для аппроксимации сигнала $\{s[i]\}$ на интервалах $\mathbf{Z}^+ = \{0, 1, 2, \dots\}$, $\mathbf{Z}^- = \{0, -1, -2, \dots\}$ используем двухкомпонентную модифицированную модель Прони следующего вида

$$\{y[i]\} = \{y[i^-]\} \cup \{y[i^+]\} \ominus y[0], \quad i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (5)$$

$$y[i^+] = \sum_{k=1}^{K^+} c_k^+ (r_k^+)^{i^+} + u[i^+], \quad i^+ = 0, +1, +2, \dots, \quad (6)$$

$$y[i^-] = \sum_{k=1}^{K^-} c_k^- (r_k^-)^{i^-} + u[i^-], \quad i^- = 0, -1, -2, \dots, \quad (7)$$

где $c_k^+, r_k^+ \in \mathbb{C}$ – комплексные параметры дискретных экспонент каузальной части (6) модели Прони; $c_k^-, r_k^- \in \mathbb{C}$ – аналогичные параметры антикаузальной части (7);

$$u[i^+] = \sum_{m=0}^{M^+} b_m^+ \delta[i^+ - m], \quad u[i^-] = \sum_{m=0}^{M^-} b_m^- \delta[i^- + m] \quad (8)$$

– корректирующие сигналы управления для (6) и (7) с вещественными параметрами $b_m^+, b_m^- \in \mathbb{R}$;

$$\delta[i] = \begin{cases} 1, & i = 0 \\ 0, & i \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

– единичный импульс Кронекера.

Особенность модифицированных экспоненциальных моделей Прони (6), (7) в наличии специальной правой части, включающей дискретные сигналы управления (8). Они состоят из задержанных единичных импульсов, число которых $M^+, M^- \geq 0$ определяет длительность сигнала управления, а параметры b_m^+, b_m^- – ее интенсивность. Следовательно, структура сигналов (8) такова, что при $i^+ > M^+$ и $i^- > M^-$ управления обнуляются.

Введение дополнительного корректирующего сигнала управления позволяет улучшить качество аппроксимации по сравнению с традиционной экспоненциальной моделью Прони. Как частный случай при $u[i^+] = u[i^-] = 0$ получаем двухкомпонентную экспоненциальную модель Прони на двухстороннем интервале без сигнала управления.

Отметим, что каузальная модель (6) формирует значения процесса $\{y[i^+]\}$ в прямом времени, который используется для аппроксимации сигнала (3). Антикаузальная модель (7) формирует значения процесса $\{y[i^-]\}$ в обратном времени для аппроксимации сигнала (4). Начальную точку отсчета $i = 0$ мы для симметрии включаем в алгоритм формирования каждой из этих моделей. Формулы (2), (5) описывают процедуру корректной «склейки» каузальной и антикаузальной частей сигнала и его аппроксимации. Количество слагаемых K^+, K^- и M^+, M^- в соответствующих суммах в правой части уравнений (6), (7) могут различаться, а числа K^+, K^- определяют порядок экспоненциальной аппроксимации.

Если сигнал (2) четный, то аналогичным свойством $y[i] = y[-i]$ обладает его аппроксимация (5). Поэтому полагаем $c_k^- = c_k^+$, $b_m^- = b_m^+$, $K^+ = K^-$, $M^+ = M^-$ и описание сигнала $\{y[i]\}$ упрощается. Похожее упрощение $c_k^- = -c_k^+$, $b_m^- = -b_m^+$ получаем в случае нечетного сигнала.

Если же исходный некаузальный сигнал $\{s[i]\}$ не обладает симметрией, то для его аппроксимации используется двухкомпонентная модель Прони (5)-(7) общего вида с разными наборами параметров.

Задача наилучшей аппроксимации сигнала $s[i], i \in \mathbb{Z}$ дискретным процессом $\{y[i]\}$ сводится к такому выбору его параметров $\{c_k^\pm\}, \{r_k^\pm\}, \{b_m^\pm\}$, при котором ошибка аппроксимации будет минимальной.

Покажем, что неизвестные параметры $\{r_k^\pm\}$ моделей (6), (7) можно оценить отдельно без знания остальных параметров $\{c_k^\pm\}, \{b_m^\pm\}$. Для классической модели Прони справедливость такого разделения доказана [Марпл-мл, 1990], но из-за наличия в правой части выражений (6), (7) корректирующих сигналов (8) требуется дополнительное рассмотрение.

Докажем сначала принцип разделения и получим оценку параметров $\{r_k^+\}$ для каузальной модели (6).

Запишем выражение (6) для сдвинутого момента времени $i^+ - l$ в предположении, что $l \in \{0, \dots, K^+\}$, а временной индекс i^+ удовлетворяет неравенству $i^+ > K^+ + M^+$

$$y[i^+ - l] = \sum_{k=1}^{K^+} c_k^+ (r_k^+)^{i^+ - l} + u[i^+ - l]. \quad (11)$$

В этом случае $i^+ - l > M^+$, поэтому согласно (8) и свойствам единичного импульса (9) справедливо

$$u[i^+ - l] = \sum_{m=0}^{M^+} b_m^+ \delta[i^+ - l - m] = 0, \quad i^+ > K^+ + M^+,$$

а равенство (11) принимает вид

$$y[i^+ - l] = \sum_{k=1}^{K^+} c_k^+ (r_k^+)^{i^+ - l}, \quad \forall i^+ > K^+ + M^+, \quad l \in \{0, \dots, K^+\}. \quad (12)$$

Пусть $a^+[l] \in \mathbb{R}, l = 0, \dots, K^+$ вещественные коэффициенты, причем $a^+[0] = 1$. Умножим их последовательно на обе части равенства (12), а затем суммируем полученные равенства и преобразуем правую часть выражения

$$\sum_{l=0}^{K^+} a^+[l] y[i^+ - l] = \sum_{l=0}^{K^+} a^+[l] \sum_{k=1}^{K^+} c_k^+ (r_k^+)^{i^+ - l} = \sum_{k=1}^{K^+} c_k^+ (r_k^+)^{i^+ - K^+} \left(\sum_{l=0}^{K^+} a^+[l] (r_k^+)^{K^+ - l} \right),$$

где $i^+ > K^+ + M^+$. Очевидно, выражение стоящее в круглых скобках равно 0, если параметры $r_k^+, k = 1, \dots, K^+$ являются простыми корнями характеристического полинома

$$\Phi^+(z; \mathbf{a}) = \sum_{l=0}^{K^+} a^+[l] (z)^{K^+ - l} \quad (13)$$

K^+ -го порядка, ассоциированного с линейным разностным уравнением предсказания вперед

$$y[i^+] = a^+[1]y[i^+ - 1] + \dots + a^+[K^+]y[i^+ - K^+]. \quad (14)$$

Следовательно, при $i^+ > K^+ + M^+$ и $\Phi^+(r_k^+; \mathbf{a}^+) = 0, \forall k$ уравнение (14) описывает экспоненциальную модель Прони $y[i^+] = \sum_{k=1}^{K^+} c_k^+ (r_k^+)^{i^+}$, которая уже не содержит в явном виде сигнал управления. Поэтому если каузальный сигнал $\{s[i^+]\}$ при $i^+ > K^+ + M^+$ описывается линейной комбинацией из K^+ комплексных экспонент, то найдутся коэффициенты $\{a^+[l]\}$, при которых ошибки линейного предсказания

$$e[i^+] = s[i^+] - \sum_{l=1}^{K^+} a^+[l] s[i^+ - l], \quad i^+ > K^+ + M^+ \quad (15)$$

будут равны $e[i^+] = 0$. Для всех других сигналов мы имеем $e[i^+] \neq 0$, а ошибки (15) могут служить показателем качества аппроксимации в текущие моменты времени.

Пусть известна выборка $\mathbf{s}^+$ из $N^+ > 2K^+ + M^+$ отсчетов каузального сигнала $\{s[i^+]\}$ (3)

$$\mathbf{s}^+ = (s[0], s[1], \dots, s[N^+ - 1])^T, \quad N^+ > 2K^+ + M^+, \quad (16)$$

и будем оценивать качество его аппроксимации на временном интервале $K^+ + M^+ < i^+ \leq N^+ - 1$ суммой квадратов ошибок линейного предсказания (15)

$$E(\mathbf{a}^+) = \sum_{i^+=K^++M^++1}^{N^+-1} e^2[i^+],$$

которая зависит от вектора коэффициентов

$$\mathbf{a}^+ = (a^+[1], \dots, a^+[K^+])^T$$

характеристического полинома (13). Оптимальную оценку $\mathbf{a}_o^+$ для вектора $\mathbf{a}^+$ будем искать по критерию минимума квадратической ошибки (МКО)

$$\mathbf{a}_o^+ = \arg \min_{\mathbf{a}^+ \in \mathbb{R}^{K^+}} E(\mathbf{a}^+). \quad (17)$$

Решение экстремальной задачи (17) сводится к решению ковариационных нормальных уравнений линейного предсказания [Марпл-мл, 1990] и может быть представлено в виде

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_o^+ &= (\mathbf{G}^{+T} \mathbf{G}^+) \backslash \mathbf{G}^{+T} \mathbf{x}^+, \\ \mathbf{G}^+ &= (g_{i,j}^+), \quad g_{i,j}^+ = s[P^+ + i - j], \\ i &= 1, \dots, N^+ - P^+, \quad j = 1, \dots, K^+, \quad P^+ = K^+ + M^+, \\ \mathbf{x}^+ &= (s[P^+ + 1], \dots, s[N^+ - P^+])^T, \end{aligned} \quad (18)$$

где матрицы и векторы составлены из дискретных отсчетов сигнала (16), $(\cdot \backslash \cdot)$ – оператор левого деления матриц, T – символ транспонирования.

Если корни полинома $\Phi^+(z; \mathbf{a}_o^+)$, сформированного из оптимальных коэффициентов (18) линейного предсказания, являются простыми, то они будут давать наилучшие оценки параметров $(r_{o1}^+, \dots, r_{oK^+}^+)^T = \mathbf{r}_o^+$ модели (6):

$$\mathbf{r}_o^+ : \Phi^+(r_{ok}^+; \mathbf{a}_o^+) = 0, \quad k = 1, \dots, K^+ \quad (19)$$

Соответствующая процедура нахождения простых корней (или наилучшего приближения к ним) достигается алгоритмом полиномиальной факторизации.

Тем самым для модели (6) с корректирующим сигналом $\{u[i^+]\}$ доказана возможность оценки параметров $\{r_k^+\}$ отдельно от знания остальных параметров $\{c_k^+\}, \{b_m^+\}$

Справедливость принципа разделения при оценивании параметров антикаузальной модели (7) доказывается аналогичным образом. Линейная модель предсказания в обратном времени и ассоциированный с ней полином в этом случае принимают вид

$$y[i^-] = a^-[1]y[i^-+1] + \dots + a^-[K^-]y[i^-+K^-]$$

$$\Phi^-(1/z; \mathbf{a}^-) = \sum_{l=0}^{K^-} a^-[l](1/z)^{K^-l}.$$

Текущие ошибки предсказания назад, критерий оптимальности для оценивания вектора $\mathbf{a}^- = (a^-[1], \dots, a^-[K^-])^T$ и связанного с ним вектора корней $(r_1^-, \dots, r_{K^-}^-)^T = \mathbf{r}^-$ характеристического полинома, а также выражения для оптимальных оценок $\mathbf{a}_o^-, \mathbf{r}_o^-$ этих векторов приводятся ниже

$$e[i^-] = s[i^-] - \sum_{l=1}^{K^-} a^-[l]s[i^-+l], \quad i^- < -(K^- + M^-)$$

$$\mathbf{a}_o^- = \arg \min_{\mathbf{a}^- \in \mathbb{R}^{K^-}} E(\mathbf{a}^-), \quad E(\mathbf{a}^-) = \sum_{i^- = -(K^- + M^- + 1)}^{-(N^- - 1)} e^2[i^-]$$

$$\mathbf{a}_o^- = (\mathbf{G}^{-T} \mathbf{G}^-) \setminus \mathbf{G}^{-T} \mathbf{x}^-,$$

$$\mathbf{G}^- = (g_{i,j}^-), \quad g_{i,j}^- = s[-(P^- + i - j)],$$

$$i = 1, \dots, N^- - P^-, \quad j = 1, \dots, K^-, \quad P^- = K^- + M^-, \quad (20)$$

$$\mathbf{x}^- = (s[-(P^- + 1)], \dots, s[-(N^- - P^-)])^T,$$

$$\mathbf{r}_o^- : \Phi^-(r_{ok}^-; \mathbf{a}_o^-) = 0, \quad k = 1, \dots, K^-, \quad (21)$$

где предполагается, что известна выборка отсчетов

$$\mathbf{s}^- = (s[0], s[-1], \dots, s[-N^- + 1])^T, \quad N^- > 2K^- + M^-, \quad (22)$$

антикаузального сигнала $\{s[i^-]\}$ (4).

Рассмотрим теперь задачу оптимального оценивания остальных параметров $\{c_k^\pm\}, \{b_m^\pm\}$ моделей (6), (7) в предположении, что оценки параметров $\{r_{ok}^\pm\}$ уже найдены и заданы векторы отсчетов (16), (22) сигнала $\{s[i]\}$.

Введем обозначения

$$\mathbf{q}^+ = (c_1^+, \dots, c_{K^+}^+, b_0^+, \dots, b_{M^+}^+)^T, \quad \mathbf{q}^- = (c_1^-, \dots, c_{K^-}^-, b_0^-, \dots, b_{M^-}^-)^T \quad (23)$$

– векторы-столбцы параметров моделей (6), (7)

$$\mathbf{R}_o^+ = \begin{pmatrix} (r_{o1}^+)^0 & (r_{o2}^+)^0 & \dots & (r_{ok^+}^+)^0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ (r_{o1}^+)^1 & (r_{o2}^+)^1 & \dots & (r_{ok^+}^+)^1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ (r_{o1}^+)^{M^+} & (r_{o2}^+)^{M^+} & \ddots & (r_{ok^+}^+)^{M^+} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ (r_{o1}^+)^{N^+-2} & (r_{o2}^+)^{N^+-2} & \dots & (r_{ok^+}^+)^{N^+-2} & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (r_{o1}^+)^{N^+-1} & (r_{o2}^+)^{N^+-1} & \dots & (r_{ok^+}^+)^{N^+-1} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_o^- = \begin{pmatrix} (r_{o1}^-)^0 & (r_{o2}^-)^0 & \dots & (r_{ok^-}^-)^0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ (r_{o1}^-)^1 & (r_{o2}^-)^1 & \dots & (r_{ok^-}^-)^1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ (r_{o1}^-)^{M^-} & (r_{o2}^-)^{M^-} & \ddots & (r_{ok^-}^-)^{M^-} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ (r_{o1}^-)^{N^--2} & (r_{o2}^-)^{N^--2} & \dots & (r_{ok^-}^-)^{N^--2} & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (r_{o1}^-)^{N^--1} & (r_{o2}^-)^{N^--1} & \dots & (r_{ok^-}^-)^{N^--1} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

– прямоугольные матрицы, получаемые из уравнений (6), (7) после подстановки в них оптимальных оценок $\{r_{ok}^\pm\}$ и расчета значений выходного сигнала для моментов времени $i^+ = 0, 1, 2, \dots, N^+ - 1$, $i^- = 0, -1, -2, \dots, -N^- + 1$. Матрица $\mathbf{R}_o^+$ имеет размерность $N^+ \times (K^+ + M^+ + 1)$, а $\mathbf{R}_o^-$ – размерность $N^- \times (K^- + M^- + 1)$. Отметим, что часть элементов этих матриц и векторов (23) являются комплексными, а сами матрицы разрежены.

Если бы исходный сигнал $s[i]$, $i \in \mathbf{Z}$ совпадал с модельным сигналом $y[i]$, $i \in \mathbf{Z}$ (5), то были бы справедливы векторные равенства $\mathbf{s}^+ = \mathbf{R}_o^+ \mathbf{q}^+$, $\mathbf{s}^- = \mathbf{R}_o^- \mathbf{q}^-$, т.е. аппроксимация на основе разностных уравнений (6), (7) была бы идеальной. На практике такая идеальная аппроксимация невозможна, а в каузальной и некаузальной областях наблюдаются ошибки аппроксимации

$$\varepsilon_q^+ = \|\mathbf{s}^+ - \mathbf{R}_o^+ \mathbf{q}^+\|, \quad \varepsilon_q^- = \|\mathbf{s}^- - \mathbf{R}_o^- \mathbf{q}^-\|,$$

где $\|\cdot\|$ – евклидова норма. Суммарный квадрат ошибки аппроксимации по двум указанным областям равен

$$\varepsilon_q^2 = \|\mathbf{s}^+ - \mathbf{R}_o^+ \mathbf{q}^+\|^2 + \|\mathbf{s}^- - \mathbf{R}_o^- \mathbf{q}^-\|^2 = (\varepsilon_q^+)^2 + (\varepsilon_q^-)^2. \quad (24)$$

Очевидно, что чем меньше ε_q^2 , тем лучше качество аппроксимации сигнала на конечном выборочном двухстороннем интервале $J_0 = \{-(N^- - 1), \dots, (N^+ - 1)\}$. Кроме того, если значения N^- , N^+ , определяющие границы этого интервала, и частота дискретизации исходного сигнала $s[i]$, $i \in \mathbf{Z}$ выбраны правильно, то выражение (24) может служить показателем качества его аппроксимации моделью (5)-(7) на двухстороннем бесконечном интервале $\mathbf{Z} = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$.

С учетом сказанного, задача наилучшей аппроксимации сигнала $\{s[i]\}$ (1) может быть сведена к решению двух экстремальных задач по критерию минимума квадратической ошибки

$$\mathbf{q}_o^+ = \arg \min_{\mathbf{q}^+} \|\mathbf{s}^+ - \mathbf{R}_o^+ \mathbf{q}^+\|^2, \quad \mathbf{q}_o^- = \arg \min_{\mathbf{q}^-} \|\mathbf{s}^- - \mathbf{R}_o^- \mathbf{q}^-\|^2. \quad (25)$$

Каждая из них определяет соответствующий набор оптимальных значений параметров $\{c_{ok}^+\}, \{b_{om}^+\}$ или $\{c_{ok}^-\}, \{b_{om}^-\}$ моделей (6)-(7), при которых минимизируются квадраты ошибок аппроксимации $(\varepsilon_q^+)^2$ и $(\varepsilon_q^-)^2$, а значит и суммарная ошибка (24). Минимум в критериях (25) берется по всем возможным значениям векторов $\mathbf{q}^+, \mathbf{q}^-$ (23).

Оптимальные значения (25) могут быть найдены путем решения соответствующих нормальных уравнений метода наименьших квадратов [Марпл-мл, 1990] и представлены в виде

$$\mathbf{q}_o^+ = (\mathbf{R}_o^{+H} \mathbf{R}_o^+) \setminus \mathbf{R}_o^{+H} \mathbf{s}^+, \quad \mathbf{q}_o^- = (\mathbf{R}_o^{-H} \mathbf{R}_o^-) \setminus \mathbf{R}_o^{-H} \mathbf{s}^-, \quad (26)$$

где H – символ эрмитового сопряжения, $(\cdot \setminus \cdot)$ – оператор левого деления матриц.

После подстановки найденных оценок параметров $\{c_{ok}^\pm\}, \{r_{ok}^\pm\}, \{b_{om}^\pm\}$ в уравнения (6) (7) получаем наилучшие аппроксимации $\{y_o[i^+]\}, \{y_o[i^-]\}$ для каузальной $\{s[i^+]\}$ и антикаузальной $\{s[i^-]\}$ частей сигнала $\{s[i]\}$. Аппроксимация Прони с корректирующим управлением для всего сигнала на двухстороннем целочисленном интервале $\mathbf{Z}$ получается на основе процедуры объединения (5), которая принимает вид

$$y_o[i] = \begin{cases} y_o[i^+], & i \geq 0 \\ y_o[i^-], & i < 0 \end{cases}, \quad i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (27)$$

Вычисление спектра аппроксимирующего сигнала

Аппроксимация $\{y_o[i]\}$ дискретного некаузального сигнала $\{s[i]\}$, полученная на основе модифицированной двухкомпонентной модели Прони (5)-(7), может быть использована для построения его спектральной оценки в виде комплексного спектра

$$P_{od}(jf) = F_d(y_o[i]) = \Delta \sum_{i=-\infty}^{\infty} y_o[i] e^{-j2\pi f \Delta i}, \quad f \in [-f_H, f_H] \quad (28)$$

в дискретно-непрерывном базисе Фурье $\{e^{j2\pi f \Delta i}\}$, где $\Delta, f_d = 1/\Delta$ – интервал и частота дискретизации, соответственно; $f_H = f_d/2$ – частота Найквиста.

Достоинством предложенной модели (5)-(7) является возможность получить простое аналитическое выражение для спектра (28), выразив его через найденные оценки параметров модели $\{c_{ok}^\pm\}, \{r_{ok}^\pm\}, \{b_{om}^\pm\}$.

Для этого воспользуемся известными методами, основанными на применении Z – преобразования $Z(\cdot) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} (\cdot) z^{-i}$ и его связью с дискретно-непрерывным преобразованием Фурье (ДНПФ) $F_d(\cdot) = \Delta \cdot Z(\cdot) \Big|_{z=e^{j2\pi f \Delta}}$. Тогда комплексные спектры аппроксимирующих сигналов $\{y_o[i^+]\}, \{y_o[i^-]\}$, формируемых каузальной и антикаузальной частями модели (6)-(7), представляются в виде

$$P_{od}^+(jf) = \Delta \cdot Y_o^+(z) \Big|_{z=e^{j2\pi f \Delta}}, \quad Y_o^+(z) = Z(\{y_o[i^+]\}), \quad (29)$$

$$P_{od}^-(jf) = \Delta \cdot Y_o^-(z) \Big|_{z=e^{j2\pi f \Delta}}, \quad Y_o^-(z) = Z(\{y_o[i^-]\}), \quad (30)$$

где $Y_o^+(z)$, $Y_o^-(z)$ – Z -преобразования каузального и антикаузального сигналов, соответственно.

Применяя к левой и правой частям уравнения (6) Z -преобразование и используя его свойства, получаем выражение

$$Y_o^+(z) = \sum_{k=0}^{K^+} \frac{c_{ok}^+}{1 - r_{ok}^+ z^{-k}} + \sum_{m=0}^{M^+} b_{om}^+ z^{-m}. \quad (31)$$

Действуя аналогично по отношению к уравнению (7), находим

$$Y_o^-(z) = \sum_{k=0}^{K^-} \frac{c_{ok}^-}{1 - r_{ok}^- z^k} + \sum_{m=0}^{M^-} b_{om}^- z^m. \quad (32)$$

Согласно (5) для получения Z -преобразования $Y_o(z) = Z(\{y_o[i]\})$, отвечающего двухсторонней аппроксимации $\{y_o[i]\} = \{y_o[i^-]\} \cup \{y_o[i^+]\} \oslash y_o[0]$, надо объединить $Y_o^+(z)$, $Y_o^-(z)$ и учесть, что в антикаузальной части $Y_o^-(z)$ присутствует Z -преобразование $Z(y_o[0] \cdot \delta[i]) = y_o[0]$ одного отсчета последовательности $\{y_o[i]\}$ в момент $i = 0$, которое уже входит в каузальную часть $Y_o^+(z)$, а значит его надо вычесть. В результате выражение для $Y_o(z)$ принимает вид

$$Y_o(z) = Y_o^+(z) + Y_o^-(z) - y_o[0], \quad (33)$$

а с учетом (29)-(33) комплексный спектр (28) дискретного сигнала $\{y_o[i]\}$ описывается выражением

$$P_{od}(jf) = \Delta \cdot Y_o(z) \Big|_{z=e^{j2\pi f\Delta}} = \sum_{k=0}^{K^+} \frac{\Delta c_{ok}^+}{1 - r_{ok}^+ e^{-j2\pi f\Delta k}} + \sum_{m=0}^{M^+} \Delta b_{om}^+ e^{-j2\pi f\Delta m} + \\ + \sum_{k=0}^{K^-} \frac{\Delta c_{ok}^-}{1 - r_{ok}^- e^{j2\pi f\Delta k}} + \sum_{m=0}^{M^-} \Delta b_{om}^- e^{j2\pi f\Delta m} - \Delta y_o[0]. \quad (34)$$

Соответствующий амплитудный спектр равен

$$P_{od}(f) = |P_{od}(jf)|, \quad f \in [-f_H, f_H]. \quad (35)$$

Отметим, что входящие в выражение (34) слагаемые

$$P_u^+(jf) = \sum_{m=0}^{M^+} \Delta b_{om}^+ e^{-j2\pi f\Delta m} \quad P_u^-(jf) = \sum_{m=0}^{M^-} \Delta b_{om}^- e^{j2\pi f\Delta m}$$

описывают комплексные спектры сигналов управления (8). Они приводят к дополнительной амплитудно-фазовой коррекции спектра Прони, уменьшая ошибки аппроксимации в спектральной области. Если $u[i^+] = u[i^-] = 0$, то эти корректирующие слагаемые отсутствуют, а выражение (34) будет описывать спектр двухкомпонентной версии классической модели Прони без управления.

Результаты вычислительного эксперимента

Ниже приводится пример аппроксимации сигнала $\{s[i]\}$, полученного в результате дискретизации непрерывного сигнала

$$s(t) = t^3 \exp(-at), \quad t \in \mathbf{R}, \quad a = 5.5, \quad (36)$$

заданного на бесконечном двухстороннем интервале, с комплексным спектром

$$P_s(jf) = 6 \cdot [(a + j2\pi f)^{-4} - (a - j2\pi f)^{-4}]. \quad (37)$$

Отметим, что сигнал (36) является решением линейного дифференциального уравнения 3-го порядка, у которого характеристическое уравнение имеет корень кратности 3. Поэтому процедура дискретной аппроксимации такого сигнала классической экспоненциальной моделью Прони будет приводить к почти кратным полюсам, а значит увеличению ошибок аппроксимации. Покажем, что в этом случае применение модифицированной модели Прони с управлением (8) позволяет значительно улучшить качество аппроксимации.

Для этого каузальная $s^+(t)$ и антикаузальная $s^-(t)$ составляющие сигнала (36) дискретизировались на отрезке времени $T = [-3.5, 3.5]$ [мс] с частотой $f_d = 16$ [кГц]. и аппроксимировались предложенной двухкомпонентной моделью (5)-(7) с управлением и экспоненциальной моделью Прони [Марпл-мл, 1990], приспособленной для аппроксимации на двухстороннем интервале времени, но без управления ($u[i^+] = u[i^-] = 0$). Порядок экспоненциальной аппроксимации для двух сравниваемых моделей равен $K^+ = K^- = 3$, а число параметров $\{b_m^+, b_m^-\}$ в сигналах управления (8) выбрано $M^+ = M^- = 5$.

Графики исходного дискретного сигнала $s[i]$, и его аппроксимаций: $s_o[i]$ (модифицированный метод), $s_{pr}[i]$ (известный метод наименьших квадратов Прони) представлены на рис. 1.

Комплексные спектры $P_d(jf) = P_s(jf)$, $P_{od}(jf)$, $P_{prd}(jf)$ этих последовательностей вычислялись по формулам (37) (34). Соответствующие амплитудные ДНПФ-спектры $P_d(f)$, $P_{od}(f)$, $P_{prd}(f)$ на отрезке частот $F = [-f_H, f_H]$ [кГц] изображены на рис. 2.

Видно, что на этих рисунках некоторые графики практически сливаются. Поэтому для более детального анализа качества аппроксимации рассчитывались следующие ошибки:

а) во временной области:

$$\varepsilon[i] = s[i] - s_o[i], \quad \varepsilon_{pr}[i] = s[i] - s_{pr}[i], \quad (38)$$

$$\varepsilon_o = \sqrt{\sum_{i=-N/2}^{N/2+1} \varepsilon^2[i] / N}, \quad \varepsilon_{opr} = \sqrt{\sum_{i=-N/2}^{N/2+1} \varepsilon_{pr}^2[i] / N}, \quad (39)$$

б) в частотной области:

$$\eta[k] = |P_d(jf_k) - P_{od}(jf_k)|, \quad \eta_{pr}[k] = |P_d(jf_k) - P_{prd}(jf_k)|, \quad (40)$$

$$\eta_o = \sqrt{\sum_{k=-N_o/2}^{N_o/2+1} \eta^2[k] / N_o}, \quad \eta_{opr} = \sqrt{\sum_{k=-N_o/2}^{N_o/2+1} \eta_{pr}^2[k] / N_o}, \quad (41)$$

где $N = N_o = 112$ – число отсчетов на интервалах T и F . Графики ошибок (38), (40) приведены на рис. 3 и рис. 4, соответственно.

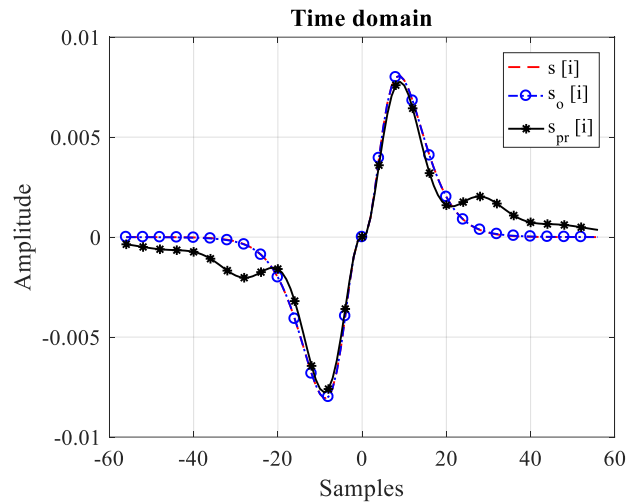


Рис. 1. Дискретные сигналы $s[i]$, $s_o[i]$, $s_{pr}[i]$

Fig. 1. Discrete signals $s[i]$, $s_o[i]$, $s_{pr}[i]$

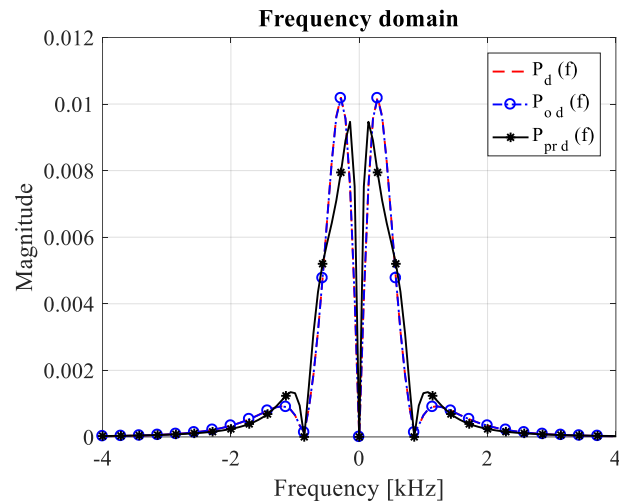


Рис. 2. Амплитудные спектры $P_d(f)$, $P_{od}(f)$, $P_{prd}(f)$

Fig. 2. Amplitude spectra $P_d(f)$, $P_{od}(f)$, $P_{prd}(f)$

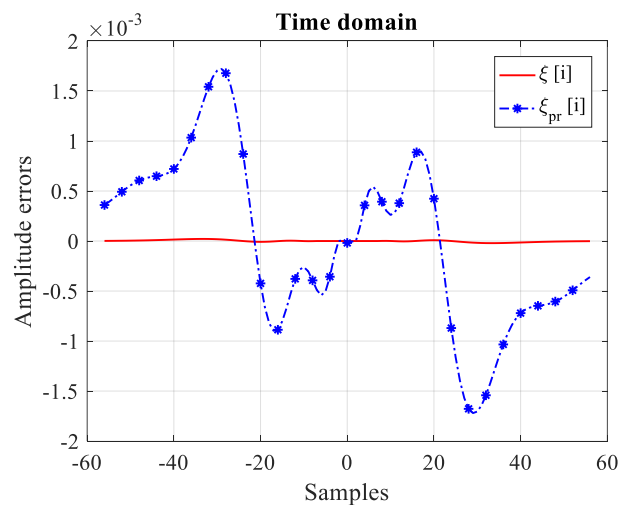


Рис. 3. Ошибки аппроксимации во временной области

Fig. 3. Approximation errors in the time domain

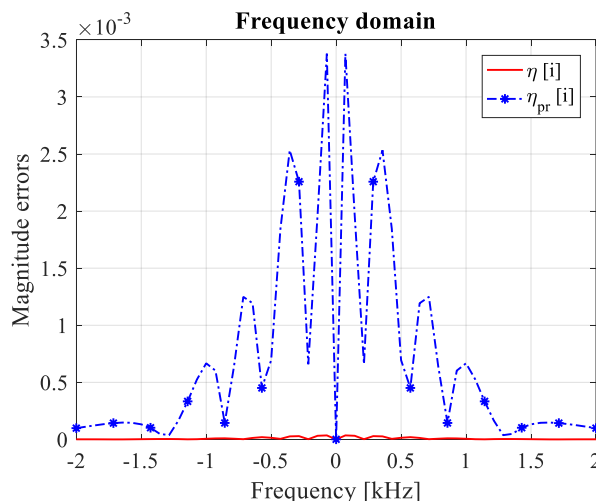


Рис. 4. Ошибки аппроксимации в частотной области

Fig. 4. Approximation errors in the frequency domain

Анализ этих кривых показывает, что предложенный метод аппроксимации позволяет уменьшить текущие ошибки во временной и частотной области более чем в 80 раз. Среднеквадратические ошибки (39), (41) по времени и частоте, соответственно, равны $\varepsilon_o = 1.0\text{e-}05$, $\varepsilon_{opr} = 85.8\text{e-}05$, $\eta_o = 9.4\text{e-}06$, $\eta_{opr} = 803.3\text{e-}06$.

Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Удалось расширить метод Прони на некаузальные сигналы, в том числе сигналы, определенные на бесконечном двухстороннем временном интервале. Для этого предложена двухкомпонентная структура модели, состоящая из каузальной и антикаузальной частей и корректный способ их «склейки» во временной и спектральной области.

2. В компоненты модифицированной модели добавлены корректирующие сигналы управления (8), позволяющие существенно расширить ее аппроксимирующие возможности. Эти сигналы за счет специальной структуры действуют только на первые M^+ (или M^-) отсчетов экспоненциальной модели, после чего их действие прекращается. Если преобразовать экспоненциальные части выражений (6) и (7) в рекурсивную форму, то добавление сигналов (8) сводится к дополнительному управлению начальными условиями соответствующего рекурсивного уравнения. Причем это управление будет оптимальным, поскольку параметры $\{b_m^\pm\}$ сигналов (8) рассчитываются по критерию, минимизирующему ошибку аппроксимации (24).

3. Показано, что добавление сигналов управления (8) в модель аппроксимации приводит к появлению в ее спектре дополнительных комплексных слагаемых, которые осуществляют амплитудно-фазовую коррекцию спектра.

4. Получены строгие аналитические выражения для оптимальных оценок параметров предложенной двухкомпонентной модели, а также алгоритмы формирования аппроксимирующего сигнала и его спектра.

5. Результаты сравнительного эксперимента показали, что предложенный в статье модифицированный метод Прони с управлением позволяет в случае кратных полюсов более чем в 80 раз уменьшить ошибки аппроксимации дискретного сигнала и его спектра по сравнению с известным методом Прони.

6. Полученные результаты значительно упрощают синтез и анализ оптимальных алгоритмов обработки сигналов, поскольку для расчета их характеристик во временной и частотной области достаточно знать небольшой конечный набор модельных параметров и нет необходимости привлекать численные методы.

Список литературы

- Волчков В.П. 2009. Новые технологии передачи и обработки информации на основе хорошо локализованных сигнальных базисов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 15(70): 181–189.
- Волчков В.П., Антипова А.Н. 2022. Синтез аналоговых фильтров Гильберта и исследование их характеристик. Экономика. Информатика, 49(2): 416–431. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-416-431.
- Волчков В.П., Асирян В.М. 2020. Сжатие изображений с использованием дискретного преобразования Вейля-Гейзенберга. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 47 (2): 412–421
- Волчков В.П., Асирян В.М. 2021. Возможности преобразования Вейля-Гейзенберга в стандарте сжатия jpeg. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 48(1): 188–200.
- Волчков В.П., Мирошниченко А.В. 2018. Вычисление эллиптических функций Якоби для расчета характеристик фильтра Кауэра. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 45(2): 298–311.
- Волчков В.П., Петров Д.А. 2009. Оптимизация ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 1(56): 102–112.
- Волчков В.П., Петров Д.А. 2009. Условия ортогональности обобщенных базисов Вейля-Гейзенберга для OFTDM сигналов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 15(70): 190–199.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2016. Синтез канальных прекодеров для цифровых систем связи с финитным сигнальным базисом. Электросвязь. 4: 41–45.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2017. Оптимальное канальное прекодирование с ограничением уровня пульсаций на краях символьного интервала. Электросвязь. 6: 35–39.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2018. Синтез оптимальных предсказанных финитных сигналов на основе желаемого эталона. Электросвязь. 5: 26–30.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2019. Синтез ортогональных вещественных сигнальных базисов Вейля-Гейзенберга на основе алгебраического подхода. Электросвязь. 5: 24–30.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2020. Синтез банка фильтров на основе комплексного базиса Вейля-Гейзенберга. Электросвязь. 5: 98–102.
- Марпл-мл С.Л. 1990. Цифровой спектральный анализ и его приложения. Пер. с англ. М., Мир, 584. (S. Lawrence. Marple, Jr., 1987. Digital Spectral Analysis with Applications. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 584).
- Оппенгейм А., Шафер Р.Ц. 2006. Цифровая обработка сигналов. 3-е изд. Пер. с англ. М., Техносфера, 856. (Oppenheim A.V., Schafer R.W. 1999. Discrete-Time Signal Processing. 3rd Edition, Prentice Hall, 2009, 856).
- Смит С. 2012. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. Пер. с англ. М., Додэка-XXI, 720. (Smith S.W. Digital Signal Processing. A Practical Guide for Engineers and Scientists. Newnes, 2003).
- Hussen A., He W. Prony, 2022. Method for Two-Generator Sparse Expansion Problem. Mathematical and Computational Applications 27(4). July 2022. DOI:10.3390/mca27040060
- Janith I., Herath H., Amarasinghe D.A.S, Attygalle D. 2022. A Novel Method on Fitting A Short Prony Series Using Creep or Stress Relaxation Data. Conference: 2022 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), DOI:10.1109/MERCon55799.2022.9906185.
- Khodaparast J., Fosso O.B., Molinas M. Phasor Estimation Based on Modified Recursive Prony. Conference: 2nd IEEE Conference on Control Technology and Applications - IEEE CCTA 2018. DOI:10.1109/CCTA.2018.8511393.

- Keller I., Plonka G. 2021. Modifications of Prony's method for the recovery and sparse approximation of generalized exponential sums. *Mathematics & Statistics*, 2021, vol 336, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-57464-2_7
- Levy E.C. 1959. "Complex-curve fitting", in *IRE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-4, no. 1, pp. 37-43, doi: 10.1109/TAC.1959.6429401.
- Plonka G., Tasche M. 2014. Prony methods for recovery of structured functions. *GAMM-Mitteilungen*, Vol. 37, Issue 2, pp 239-258, November 2014.
- Rabiner L.R., Gold B. 1975. *Theory and Application of Digital Signal Processing*. Prentice Hall, 1975.
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2018. Noise stability of transmission of optimum finite signals on the linear communication channel with aliquot poles. 2018 *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018)*. Item #: 40677. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2019. Digital Coherent Modem with Space-Time Transmission and Reception of Optimal Finite Signals. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*", Russia, 2019, pp. 1–5. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814114)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2020. Multi-Carrier Modulations Digital Modem with the narrow-band Optimal Signals and high spectral energy Efficiency. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032586, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213281.
- Hu S.-L. James, Yang W.-L., Li H.-J. 2013. Signal. decomposition and reconstruction using complex exponential models. *Mechanical Systems and Signal Processing* 40(2):421-438, November 2013. DOI:10.1016/j.ymssp.2013.06.037.
- Skrzipek M.-R. 2017. Signal recovery by discrete approximation and a Prony-like method. December 2017 *Journal of Computational and Applied Mathematics* 326(3–4): 193-203. DOI:10.1016/j.cam.2017.05.029
- Skrzipek M.-R. 2021. Parameter estimation and signal reconstruction. September 2021, *Calcolo* 58(3). DOI:10.1007/s10092-021-00431-8.
- Ahn S., Koh J. 2022. RCS Prediction Using Prony Method in High-Frequency Band for Military Aircraft Models. Gyeongsang National University. November 2022. DOI:10.3390/aerospace9110734
- Lin T., Li Yu., Lin Yu., Jian Ch. 2022. Magnetic resonance sounding signal extraction using the shaping-regularized Prony method. August 2022. *Geophysical Journal International* 231(3). DOI:10.1093/gji/ggac317.
- Volchkov V. et al. 2019. Improving the Noise Immunity of the Modem with the Optimal Finite Signals that do not Cause Intersymbol Interference in a Linear Communication Channel., 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Item #: 48657. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc.
- Volchkov V. et al. 2019. Presentation and Analysis of Continuous Signals in the Space of Complex Exponential Models. 2019 *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*", Russia, 2019, pp. 1–6. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813941)
- Volchkov V. et al. 2019. Synthesis of Real Weyl-Heisenberg Signal Frames with Desired Frequency-Time Localization, 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), (doi:10.23919/FRUCT.2019.8711969)
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2018. Algebraic approach to the optimal synthesis of real signal Weyl-Heisenberg bases. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018)*. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018): 135–142.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2020. Synthesises of a Frequency-Time Filter Bank Based on Weyl-Heisenberg Complex Bases. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its



Applications (DSPA)." Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032584, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213251.

Volchkov V.P., Sannikov V.G., Manonina I.V. 2019. Presentation and Analysis of Continuous Signals in the Space of Complex Exponential Models. "2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO) ", Russia, 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813941.

References

- Volchkov V. et al. 2019. Improving the Noise Immunity of the Modem with the Optimal Finite Signals that do not Cause Intersymbol Interference in a Linear Communication Channel., 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Item #: 48657. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc.
- Volchkov V. et al. 2019. Presentation and Analysis of Continuous Signals in the Space of Complex Exponential Models. 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)", Russia, 2019, pp. 1–6. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813941)
- Volchkov V. et al. 2019. Synthesis of Real Weyl-Heisenberg Signal Frames with Desired Frequency-Time Localization, 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), (doi:10.23919/FRUCT.2019.8711969)
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2018. Algebraic approach to the optimal synthesis of real signal Weyl-Heisenberg bases. Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018). Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018): 135–142.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2020. Syntheses of a Frequency-Time Filter Bank Based on Weyl-Heisenberg Complex Bases. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA)." Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032584, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213251.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G., Manonina I.V. 2019. Presentation and Analysis of Continuous Signals in the Space of Complex Exponential Models. "2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO) ", Russia, 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813941.
- Volchkov V.P. 2009. A new technology of transmitting and processing of information based on welllocalized signal basis. Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies. 15(70): 181–189.
- Volchkov V.P., Antipova A.N. 2022. Synthesis of Analog Hilbert Filters and Research of Their Characteristics. Economics. Information technologies, 49(2): 416–431 (in Russian). doi 10.52575/2687-0932-2022-49-2-416-431.
- Volchkov V.P., Asiryan V.M. 2020. Image Compression Using Discrete Weyl-Heisenberg Transform. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 47(2): 412–421.
- Volchkov V.P., Asiryan V.M. 2021. Possibilities of the Weyl-Heisenberg transformation in the jpeg compression standard. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 48(1): 188–200.
- Volchkov V.P., Miroshnichenko A.V. 2018. Calculating the Jacobi Elliptic Functions to calculate the characteristics of Cauer filter. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 45(2): 298–311.
- Volchkov V.P., Petrov D.A. 2009. Orthogonal Weyl-Heisenberg basis optimisation for digital communication systems based on OFDM/OQAM. Nauchnye vedomosti belgu. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]. 1(56): 102–112.

- Volchkov V.P., Petrov D.A. 2009. Generalized Weyl-Heisenberg bases orthogonality conditions for OFTDM signals. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies*. 15(70): 190–199.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2016. Synthesis of channel precoder for digital communication systems with finite signal basis. *Electrosvyaz*. 4: 41–45.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2017. Optimal channel precoding with restriction level pulsation at the edges of the symbol interval. *Electrosvyaz*. 6: 35–39.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2018. Synthesis of optimal preemphasis finite signals based on the desired reference. *Electrosvyaz*. 5: 26–30.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2019. Synthesis of orthogonal real signal bases Weyl-Heisenberg based on algebraic approach. *Electrosvyaz*. 5: 24–30.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2020. Syntheses of a filter bank based on Weyl-Heisenberg complex basis. *Electrosvyaz*. 5: 98–102.
- Hussen A., He W. Prony, 2022. Method for Two-Generator Sparse Expansion Problem. *Mathematical and Computational Applications* 27(4). July 2022. DOI:10.3390/mca27040060
- Janith I., Herath H., Amarasinghe D.A.S, Attygalle D. 2022. A Novel Method on Fitting A Short Prony Series Using Creep or Stress Relaxation Data. Conference: 2022 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), DOI:10.1109/MERCon55799.2022.9906185.
- Khodaparast J., Fosso O.B., Molinas M. Phasor Estimation Based on Modified Recursive Prony. Conference: 2nd IEEE Conference on Control Technology and Applications - IEEE CCTA 2018. DOI:10.1109/CCTA.2018.8511393.
- Keller I., Plonka G. 2021. Modifications of Prony's method for the recovery and sparse approximation of generalized exponential sums. *Mathematics & Statistics*, 2021, vol 336, Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-57464-2_7
- Levy E.C. 1959. "Complex-curve fitting", in *IRE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-4, no. 1, pp. 37-43, doi: 10.1109/TAC.1959.6429401.
- Plonka G., Tasche M. 2014. Prony methods for recovery of structured functions. *GAMM-Mitteilungen*, Vol. 37, Issue 2, pp 239-258, November 2014.
- Rabiner L.R., Gold B. 1975. *Theory and Application of Digital Signal Processing*. Prentice Hall, 1975.
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2018. Noise stability of transmission of optimum finite signals on the linear communication channel with aliquot poles. 2018 *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018)*. Item #: 40677. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2019. Digital Coherent Modem with Space-Time Transmission and Reception of Optimal Finite Signals. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*", Russia, 2019, pp. 1–5. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814114)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2020. Multi-Carrier Modulations Digital Modem with the narrow-band Optimal Signals and high spectral energy Efficiency. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032586, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213281.
- Hu S.-L. James, Yang W.-L., Li H.-J. 2013. Signal. decomposition and reconstruction using complex exponential models. *Mechanical Systems and Signal Processing* 40(2):421-438, November 2013. DOI:10.1016/j.ymssp.2013.06.037.
- Skrzipek M.-R. 2017. Signal recovery by discrete approximation and a Prony-like method. December 2017 *Journal of Computational and Applied Mathematics* 326(3–4): 193-203. DOI:10.1016/j.cam.2017.05.029
- Skrzipek M.-R. 2021. Parameter estimation and signal reconstruction. September 2021, *Calcolo* 58(3). DOI:10.1007/s10092-021-00431-8.
- Ahn S., Koh J. 2022. RCS Prediction Using Prony Method in High-Frequency Band for Military Aircraft Models. *Gyeongsang National University*. November 2022. DOI:10.3390/aerospace9110734



- Lin T., Li Yu., Lin Yu., Jian Ch. 2022. Magnetic resonance sounding signal extraction using the shaping-regularized Prony method. August 2022. Geophysical Journal International 231(3). DOI:10.1093/gji/ggac317.
- Lawrence S., Marple Jr. 1987. Digital Spectral Analysis with Applications. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 584.
- Oppenheim A.V., Schaffer R.W. 1999. Discrete-Time Signal Processing. 3rd Edition, Prentice Hall, 2009, 856.
- Smith S.W. Digital Signal Processing. A Practical Guide for Engineers and Scientists. Newnes, 2003.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: о potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волчков Валерий Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общей теории связи, Московский технический университет связи и информатики г. Москва, Россия

Потапова Екатерина Алексеевна, старший преподаватель кафедры общей теории связи, Московский технический университет связи и информатики г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of General Communication Theory, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

Ekaterina A. Potapova, senior teacher of the Department of General Communication Theory, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation