

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ, ТЕХНИКЕ, ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (51)

2024

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

<i>Титова И. Н., Растопчина Ю. Л., Жуковский А. Д.</i> УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ СРЕЗ ПО ДОСТИЖЕНИЮ ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ 9 «ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ, ИННОВАЦИИ И ИНФРАСТРУКТУРА» В РОССИИ.....	5
<i>Суровицкая Г. В., Гамидуллаева Л. А.</i> МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕГИОНОВ-ИНИЦИАТОРОВ И УНИВЕРСИТЕТОВ-УЧАСТНИКОВ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ МИРОВОГО УРОВНЯ.....	21
<i>Шматко А. Д., Хильченко П. А.</i> ИННОВАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РОССИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ.....	30
<i>Володин В. М., Пащенко Т. Ю., Сенаторов Д. В.</i> РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРАМИ	43
<i>Зинченко С. В.</i> АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ НА ЭТАПЕ ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ	55

Чупров С. В., Бабкин А. В. НЕЛИНЕЙНЫЕ ФЕНОМЕНЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЦИФРОВИЗИРУЕМОЙ ЭКОНОМИКЕ	71
Бижанова Е. М., Мыскин В. М., Семеркова Л. Н. МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУБЪЕКТОВ ИННОВАЦИОННОГО РЫНКА ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ	86

РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

Носков С. И., Попов Е. С. МЕТОД СМЕШАННОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ СОСТАВОМ ГРУПП НАБЛЮДЕНИЙ	98
Мирош Д. В. НЕЙРОСЕТЕВАЯ ОБРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ МЕЖВИТКОВОМ ЗАМЫКАНИИ	105
Франтасов Д. Н., Кудряшова Ю. В., Воронина Е. В. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	116
Сапогов А. А. АГРЕГИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИОРИТЕТНОСТИ В УПРАВЛЕНИИ ИТ-ПРОЕКТАМИ	126
Лапич А. О. РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ ДИФРАКЦИИ НА ПЛОСКИХ ОБЪЕКТАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПОЛЯ	138

MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS, TECHNOLOGY, NATURE AND SOCIETY

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 3 (51)

2024

CONTENT

SECTION 1. MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

<i>Titova I.N., Rastopchina Yu.L., Zhukovsky A.D.</i> SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE NATIONAL ECONOMY: ANALYTICAL SUMMARY OF ACHIEVEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 9 "INDUSTRIALIZATION, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE" IN RUSSIA.....	5
<i>Surovitskaya G.V., Gamidullaeva L.A.</i> MODEL OF INTERACTION BETWEEN THE INITIATOR REGIONS AND THE PARTICIPATING UNIVERSITIES OF WORLD-CLASS SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CENTERS	21
<i>Shmatko A.D., Hilchenko P.A.</i> INNOVATIONS IN RAILWAY TRANSPORT IN RUSSIA AND THEIR IMPACT ON THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF REGIONS	30
<i>Volodin V.M., Pashchenko T.Yu., Senatorov D.V.</i> CLUSTERS: DEVELOPMENT OF MANAGEMENT SYSTEM.....	43
<i>Zinchenko S.V.</i> ASPECTS OF LOGISTICS MANAGEMENT AT THE LAST MILE STAGE....	55
<i>Chuprov S.V., Babkin A.V.</i> NONLINEAR PHENOMENA AND STABILITY OF FUNCTIONING OF THE INDUSTRIAL SYSTEM IN A DIGITALIZED ECONOMY	71

Bizhanova E.M., Myskin V.M., Semerkova L.N.

MODEL OF THE SYSTEM OF INTERACTION BETWEEN SUBJECTS
OF THE INNOVATIVE INDUSTRIAL AUTOMATION MARKET 86

SECTION 2. MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

Noskov S.I., Popov E.S.

THE METHOD OF MIXED ESTIMATION OF REGRESSION
MODEL PARAMETERS WITH AN ARBITRARY
COMPOSITION OF OBSERVATION GROUPS 98

Mirosh D.V.

NEURAL NETWORK PROCESSING OF ASYNCHRONOUS MOTOR
STATE PARAMETERS IN CASE OF INTER-TURN CLOSURE 105

Frantasov D.N., Kudryashova Yu.V., Voronina E.V.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN THE ENERGY LOSS METERING SYSTEM 116

Sapogov A.A.

AGREGATION OF QUALITATIVE PRIORITY
INDICATORS IN IT PROJECT MANAGEMENT 126

Lapich A.O.

SOLVING THE DIRECT AND INVERSE DIFFRACTION
PROBLEMS ON FLAT OBJECTS WITH DIFFERENT
TYPES OF FIELD NONLINEARITY 138

Раздел 1

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Section 1

MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 332.14
doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-1

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ СРЕЗ ПО ДОСТИЖЕНИЮ ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ 9 «ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ, ИННОВАЦИИ И ИНФРАСТРУКТУРА» В РОССИИ

И. Н. Титова¹, Ю. Л. Растопчина², А. Д. Жуковский³

^{1,2} Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород, Россия

³ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

¹titova@bsu.edu.ru, ²rastopchina@bsu.edu.ru, ³jukoffsky@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Макроэкономическая нестабильность, вызванная прежде всего усиливающейся геополитической напряженностью, в перспективе может привести к дестабилизации развития российской экономики. Именно поэтому реализация идеологии устойчивого развития в национальной экономике в условиях внешних угроз и вызовов является глобальным трендом стабильного роста ключевых индикаторов функционирования хозяйствующих субъектов. Целью исследования является изучение и динамический анализ национального набора показателей устойчивого развития, адаптированного на основе 17 целей устойчивого развития ООН и показателей их достижения. *Материалы и методы.* В исследовании проведен мониторинг показателей достижения цели устойчивого развития (ЦУР) 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура» за 2015–2022 гг. Аналитический срез данных показателей ЦУР 9 по России проведен по утвержденному национальному набору показателей ЦУР, представленному на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики РФ в ресурсе «О Целях устойчивого развития». Основными методами исследования являются методы систематизации и динамического анализа. *Результаты.* Проведенные теоретический обзор и динамический анализ индикаторов достижения ЦУР 9 позволили выявить тенденции их развития, проблемные зоны и возможности роста. Кроме того, доказана необходимость интеграции инноваций и промышленного сектора экономики в условиях эффективного инфраструктурного обеспечения для устойчивого развития национальной экономики. *Выводы.* Проведенные исследования представляют интерес в качестве трамплина для обзора и динамического

© Титова И. Н., Растопчина Ю. Л., Жуковский А. Д., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

анализа показателей достижения других ЦУР (ЦУР 1–17), а также оценки реализации ЦУР в региональном разрезе.

Ключевые слова: цели устойчивого развития, ЦУР 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура», мониторинг достижения ЦУР 9, Россия

Для цитирования: Титова И. Н., Растопчина Ю. Л., Жуковский А. Д. Устойчивое развитие экономики: аналитический срез по достижению цели устойчивого развития 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура» в России // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 5–20. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-1

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE NATIONAL ECONOMY: ANALYTICAL SUMMARY OF ACHIEVEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL 9 "INDUSTRIALIZATION, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE" IN RUSSIA

I.N. Titova¹, Yu.L. Rastopchina², A.D. Zhukovsky³

^{1,2} Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

³ Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

¹titova@bsu.edu.ru, ²rastopchina@bsu.edu.ru, ³jukoffsky@gmail.com

Abstract. *Background.* Macroeconomic instability, caused primarily by increasing geopolitical tensions, may in the future lead to destabilization of the development of the Russian economy. That is why, the implementation of the ideology of sustainable development in the national economy in the context of external threats and challenges is a global trend for the stable growth of key indicators of the functioning of economic entities. The purpose of the study is to study and dynamically analyze a national set of sustainable development indicators, adapted based on the 17 UN sustainable development goals and indicators for their achievement. *Materials and methods.* The study monitored indicators of achievement of Sustainable Development Goal (SDG) 9 "Industrialization, innovation and infrastructure" for the period 2015–2022. An analytical summary of these SDG 9 indicators for Russia was carried out using the approved national set of SDG indicators, presented on the official website of the Federal State Statistics Service of the Russian Federation in the resource "On the Sustainable Development Goals". The main research methods are methods of systematization and dynamic analysis. *Results.* The theoretical review and dynamic analysis of indicators for achieving SDG 9 made it possible to identify trends in their development, problem areas and growth opportunities. In addition, the need for integration of innovation and the industrial sector of the economy, in conditions of effective infrastructure provision for the sustainable development of the national economy, has been proven. *Conclusions.* The conducted research is of interest as a springboard for reviewing and dynamic analysis of indicators for achieving other SDGs (SDGs 1–17), as well as assessing the implementation of SDGs at a regional level.

Keywords: sustainable development goals, SDG 9 "Industrialization, innovation and infrastructure", monitoring of achievement of SDG 9, Russia

For citation: Titova I.N., Rastopchina Yu.L., Zhukovsky A.D. Sustainable development of the national economy: analytical summary of achievement of sustainable development goal 9 "Industrialization, innovation and infrastructure" in Russia. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):5–20. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-1

Введение

«Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» (Повестка-2030), принятая ООН в 2015 г., является определенным «навигационным маршрутом» современного мирового хозяйства. Методологический контур Повестки включает три составляющие: социальную, экономическую и экологическую, формализованные в 17 целей устойчивого развития (ЦУР) [1, 2]. Оценка данных целей осуществляется посредством набора глобальных метрик, которые в дальнейшем каждая страна, принявшая Повестку, адаптирует под свой национальный формат и сложившуюся учетную политику, т.е. формирует адаптированный национальный перечень показателей, при этом применение больших данных для производства показателей мониторинга ЦУР стимулирует определенные методологические работы в этой области [3].

Ключевыми предпосылками интеграции принципов устойчивого развития в национальные экономические модели стран – участниц ООН, принявших Повестку-2030, являются:

- общие экологические направления и защита окружающей среды, заложенные в Повестке-2020 и отражающие важность сохранения природных ресурсов и ограничения ущерба окружающей среде для обеспечения жизнеспособного будущего для будущих поколений. Здесь также стоит отметить и тот факт, что страны стремятся сократить выбросы парниковых газов, продвигать устойчивые модели производства и потребления, направленные на борьбу с изменением климата и его последствиями;

- сокращение бедности, в том числе посредством поддержки местных сообществ и улучшения условий жизни наиболее уязвимых групп населения;

- снижение рисков для здоровья населения, в первую очередь связанных с окружающей средой;

- укрепление потенциала по борьбе со стихийными бедствиями и смягчение их воздействия на население и инфраструктуру.

В целом современные устойчивые национальные экономические модели направлены на обеспечение сбалансированного и экологически безопасного экономического роста.

На сегодняшний день появилось значительное количество исследований, связанных с такими тематическими направлениями, как устойчивое развитие, цели устойчивого развития и их оценка, региональное устойчивое развитие.

Интересен обзор монографий, касающихся отдельных аспектов устойчивого развития, проведенный Д. А. Рубан, отражающий тезис, что устойчивое развитие предполагает некоторое самосовершенствование систем, но при этом нуждается и во внешнем регулировании [4].

В коллективной монографии «Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России» под редакцией С. Н. Бобылева, П. А. Кирюшина, О. В. Кудрявцевой отмечено, что «переход к устойчивому развитию является приоритетной задачей как на мировом уровне, так и для России» [5].

С. Н. Митяков в публикации «Новые цели устойчивого развития России» показывает корреспонденцию ЦУР с документами национального стратегического планирования и предлагает новые цели устойчивого развития России (ЦУРР) с учетом современных условий [6].

Г. Ю. Гагарина, Л. Н. Чайникова, Л. С. Архипова в статье «Роль анализа устойчивого развития регионов России в стратегическом планировании» отмечают, что «цели устойчивого развития тесно коррелируют с общенациональными целями стратегического планирования» [7].

Интерес к данному исследовательскому направлению постоянно усиливается как со стороны ученых и академического сообщества, так и со стороны управленцев государственного, регионального и муниципального уровней, топ-менеджмента корпоративного сектора, что подтверждает актуальность, своевременность и перспективность тематики, связанной с устойчивым развитием. Этот факт подтверждается и при запросе «Цели устойчивого развития в России» на платформе Академия Google: за 2015–2024 гг. был получен результат в 8360 обзорных статей, при этом только за 2023–2024 гг. – 1190. Актуальность можно подтвердить тем фактом, что государства – члены Шанхайской организации сотрудничества (ШОС) – в начале июля 2024 г. договорились объявить в ШОС 2025 г. Годом устойчивого развития.

В данном исследовании проведен обзор достижения ЦУР 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура» (Создание устойчивой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям) в России. Именно ЦУР 9, по нашему мнению, показывает позицию и роль государства в реализации целей устойчивого развития в своей политике. Данная цель отражает необходимость активизации и наращивания потенциала в области устойчивого развития, в том числе научного потенциала и инновационных технологий. К тому же в данной цели заложены метрики эффективности промышленного сектора и общей индустриализации страны.

«Цель 9 призывает развивать качественную, надежную и устойчивую инфраструктуру, включая региональную и трансграничную инфраструктуру, в целях поддержки экономического развития и благополучия людей, уделяя особое внимание обеспечению недорогого и равноправного доступа для всех» [2, 8].

Исходя из вышесказанного, целями настоящей публикации являются исследование и динамический анализ национального набора показателей ЦУР 9. Задачами исследования являются оценка показателей ЦУР 9 в России за 2015–2022 гг. и обзор степени достижения данной цели.

Рабочая гипотеза исследования состоит в том, что в условиях формирования экономических моделей национального уровня с ориентацией на устойчивое развитие необходимо интенсивно развивать науку, инновации и промышленное производство, заложенные в ЦУР 9, как приоритетные направления экономического роста и стратегического развития России.

Материалы и методы

Мониторинг показателей достижения ЦУР 9 проведен за период 2015–2022 гг. на базе статистических данных национального набора показателей ЦУР, представленных на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики РФ в ресурсе «О Целях устойчивого развития» (<https://rosstat.gov.ru/sdg>).

В целом аналитическая основа и методология мониторинга ЦУР основаны на базах данных национальных статистических управлений, отраслевых министерств и других разработчиков данных (включая нетрадиционные

источники данных, например государственные информационные системы, академическое сообщество) [9].

Результаты

С 2016 г. глобальное издание Отчета об устойчивом развитии [10], представленного на сайте Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, предоставляет самые актуальные данные для отслеживания и ранжирования результатов всех государств – членов ООН – по достижению ЦУР. В Отчете об устойчивом развитии за 2024 г. представлена оценка прогресса в достижении ЦУР для всех государств – членов ООН¹. В соответствии с глобальным Отчетом об устойчивом развитии за 2024 г. прогресс и тенденции достижения ЦУР Россией представлены на рис. 1–3 [11, 12].

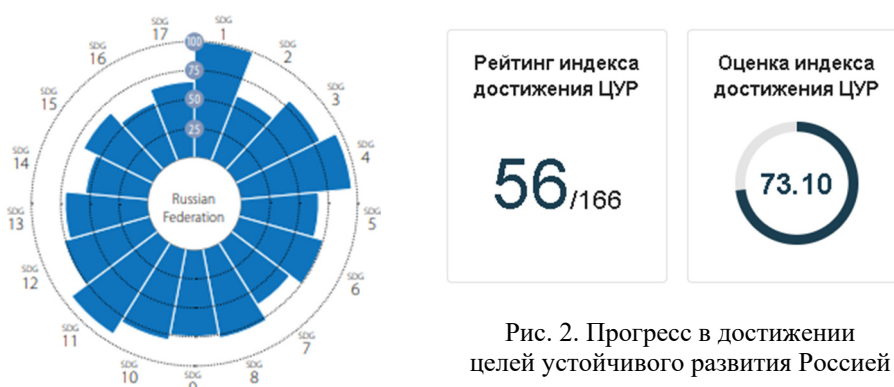


Рис. 1. Инфографика по средним показателям достижения ЦУР в России



Рис. 3. Информационная панель и тенденции в достижении целей устойчивого развития Россией

¹ Подготовлено группой независимых экспертов Центра трансформации ЦУР по инициативе организации «Сеть решений ООН в области устойчивого развития» (SDSN) – работает под эгидой Генерального секретаря ООН, чтобы мобилизовать университеты мира, аналитические центры и национальные лаборатории для действий по достижению целей устойчивого развития.

По результатам отчета об устойчивом развитии Россия в 2023 г. достигла полноценно ЦУР 1 «Ликвидация нищеты». По всем остальным 16 ЦУР есть проблемы различного масштаба в достижении данных целей.

В соответствии с «Докладом о целях в области устойчивого развития, 2023 год: специальный выпуск. На пути к выработке плана спасения людей и планеты» [13] индустриализация наряду с инновациями и инфраструктурой играет ключевую роль во внедрении и продвижении новых технологий, содействии международной торговле и обеспечении эффективного использования ресурсов. Глобальная интерактивная карта по выполнению ЦУР 9 в 2023 г. странами, принявшими Повестку устойчивого развития, выглядит следующим образом (рис. 4) [14].



Рис. 4. Интерактивная карта по выполнению ЦУР 9

Как видно из интерактивной карты, большинство стран сталкивается с проблемами в реализации ЦУР 9. Сложности в реализации данной цели понятны, если учитывать масштабы и разнонаправленность показателей, отражающих степень достижения ЦУР 9. Охват в рамках ЦУР 9 направлений индустриального развития, реализации инновационного потенциала и оценка инфраструктуры отражают максимальную характеристику общего экономического развития территории.

В табл. 1 представлен обзор показателей мониторинга выполнения Россией ЦУР 9 за 2015–2022 гг., составленный авторами на основе баз данных Межгосударственного статистического комитета Содружества Независимых Государств и Федеральной службы государственной статистики РФ [15, 16].

На официальном сайте Федеральной службы государственной статистики РФ в национальном наборе показателей ЦУР в рамках ЦУР 9 выделены 12 показателей. При этом среди выделенных индикаторов по показателю «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от всесезонной дороги» статистические данные отсутствуют. Что касается индикатора «Доля населения, охваченного мобильными сетями, в разбивке по технологиям», его предлагают оценивать на основании данных о числе подключенных к сетям абонентских станций, абонентских устройств на конец отчетного периода. Информация в отношении предложенного показателя имеется на официальном сайте Федеральной службы статистики.

Таблица 1

Показатели мониторинга выполнения ЦУР 9 Россией

Показатели мониторинга выполнения ЦУР 9	Данные показателей мониторинга выполнения ЦУР 9							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от всесезонной дороги, %	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Объем пассажирских и грузовых перевозок в разбивке по видам транспорта (млн человек)	19 095	18 645	18 439	18 113	17 826	12 493	13 696	14 438
Добавленная стоимость, создаваемая в обрабатывающей промышленности, в процентном отношении к ВВП и на душу населения (в % к ВВП)	13,8	13,0	13,6	14,3	14,4	14,9	14,1	13,9
Занятость в обрабатывающей промышленности в процентах от общей занятости (%)	14,3	14,4	14,2	14,1	14,3	14,2	14,2	14,1
Доля мелких предприятий в совокупном объеме чистой продукции промышленности (%)	10,7	9,2	9,5	9,2	9,7	9,9	9,8	11,2
Доля мелких предприятий, имеющих кредит или кредитную линию (%)	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	8,2	7,2	8,1
Выбросы CO ₂ на единицу добавленной стоимости (тонн/млн руб.)	25,29	23,68	22,67	20,7	19,53	19,33	16,45	Нет данных
Доля расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в ВВП (%)	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	0,9
Количество исследователей (в эквиваленте полной занятости) на миллион жителей, человек	3051,9	2906,1	2778,2	2744,7	2707,9	2695,0	2648,1	2656,6
Совокупный объем официальной международной поддержки (официальной помощи в целях развития и других потоков официального финансирования), направляемой на инфраструктуру, млн долл. США	Нет данных	Нет данных	111,12	128,01	139,71	1,66	11,49	2,27

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Доля добавленной стоимости продукции среднетехнологичных и высокотехнологичных отраслей в общем объеме добавленной стоимости, %	21,1	21,3	21,8	21,3	22,2	25,0	23,4	22,2
Доля населения, охваченного мобильными сетями, в разбивке по технологиям, %	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Доля населения, охваченного мобильными сетями, в разбивке по технологиям (число подключенных к сетям абонентских станций, абонентских устройств) на конец отчетного периода, ед.	Нет данных	Нет данных	294142407	289074634	309606019	304205550	321554797	315150085

В первую очередь была рассмотрена инфраструктурная компонента устойчивого развития территории. Ее изучение опирается на динамику грузооборота и пассажирооборота в разбивке по видам транспорта. Стабильный рост показателей отражает высокую степень экономического развития и благосостояния жителей страны, в случае отрицательной тенденции – замедление или снижение темпов роста российской экономики и уровня жизни населения. Показатели инфраструктурного обеспечения в целом имеют отрицательную динамику в 2015–2020 гг., однако начиная с 2021 г. отмечается стабильный рост показателя.

Оценка устойчивости индустриализации базируется на темпах развития обрабатывающей промышленности. Эффективное функционирование отраслей обрабатывающей промышленности способствует росту занятости путем создания дополнительных рабочих мест, а также активизации инновационных процессов в экономике посредством внедрения инноваций и интеграции науки и реального сектора экономики. Кроме того, обрабатывающая промышленность играет ключевую роль в создании доходной части бюджета страны.

Результаты динамического анализа ключевых показателей развития обрабатывающей промышленности наглядно отображены на рис. 5, где четко прослеживается положительная тенденция развития данной отрасли за 2016–2020 гг.

Доля обрабатывающей промышленности в ВВП страны минимальное значение имеет в 2016 г. – 13 %, максимальное в 2020 г. – 14,9 %. С 2020 и по 2022 г. данный показатель имел отрицательную динамику, что обусловлено снижающимися темпами роста обрабатывающей отрасли в 2021 г. и спадом российской экономики в 2022 г.

Занятость в обрабатывающей промышленности стабильно сохраняется на уровне 14 %, что свидетельствует об отсутствии межотраслевой миграции, а также подчеркивает тот факт, что российская промышленность остается

устойчивой к глобальным вызовам. При этом важно подчеркнуть, что стабильные темпы индустриализации обеспечивают рост доли промышленной продукции в ВВП и способствуют наращиванию экономического потенциала страны.



Рис. 5. Динамика показателей обрабатывающей промышленности России в 2015–2022 гг.

Стоит отметить базовые тезисы, заложенные в приоритетную цель Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (ЮНИДО) и характеризующие устойчивую индустриализацию: всеобщее процветание благодаря промышленному развитию; экономическая конкурентоспособность; экологически устойчивая промышленность; искусственный интеллект в устойчивом развитии.

Промышленному сектору отводится ключевая роль в поиске решений многих проблем в области устойчивого развития, что мотивирует правительства многих стран к реализации амбиционных инициатив и инновационных проектов в промышленной политике, согласованной с ЦУР.

В Докладе о промышленном развитии за 2024 г.¹ представлен новый подход к комплексной оценке прогресса в области устойчивой индустриализации, содержится призыв начать новую эру современной промышленной политики, которая ставит во главу угла сотрудничество, обеспечение готовности к будущему, согласование деятельности с ЦУР и региональную координацию. Доклад имеет подзаголовок «Трансформируя проблемы в устойчивые решения: Новая эпоха промышленной политики», что очередной раз показывает актуальность устойчивого промышленного развития и перспективность устойчивой промышленной политики как на уровне государства, так и на уровне корпоративного сектора.

¹ Доклад о промышленном развитии. 2024. URL: <https://www.unido.org/idr2024>

Для оценки устойчивого развития России в контексте ЦУР 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура» проводят анализ деятельности мелких предприятий, которые выступают стимулятором роста национальной экономики и обеспечивают сохранение и улучшение экологических характеристик производственного процесса. Индикаторами расширения доступа малых промышленных и других предприятий к финансовым услугам, включая доступные кредиты и их интеграцию в производственно-сбытовые цепочки и рынки, выступают:

- доля мелких предприятий в совокупном объеме чистой продукции промышленности;
- доля мелких предприятий, имеющих кредит или кредитную линию (рис. 6).



Рис. 6. Характер развития мелких предприятий в 2015–2022 гг.

На рис. 6 отображена нестабильная динамика доли мелких предприятий в совокупном объеме чистой продукции промышленности. Наибольшее значение показателя было достигнуто в 2022 г. – 11,2 %, наименьшее в 2016, 2018 гг. – 9,2 %. Доля мелких предприятий, имеющих кредит, в целом имеет тенденцию снижения, при этом в анализе представлена информация за три года в связи с отсутствием данных на официальном сайте Федеральной службы статистики за 2015–2019 гг. Такое поведение показателей обусловлено нестабильной макроэкономической ситуацией, что отразилось на формировании устойчивой индустриализации.

Значения показателя «Выбросы углекислого газа в атмосферу» имеют стабильную отрицательную динамику, что можно идентифицировать как положительный факт экологического обеспечения производственной деятельности предприятия. Однако сохраняются достаточно высокие значения анализируемого показателя в международном разрезе. Так, Россия находится на 5-м месте после Туркменистана, Узбекистана, Боснии и Герцеговины, Казахстана в мировом рейтинге стран по показателю «Выбросы углекислого газа на единицу ВВП, кг CO₂ в постоянных ценах 2010 года, долл. США». На рис. 7 наглядно представлена вариация изучаемого показателя.

Рис. 7. Выбросы CO₂ на единицу добавленной стоимости

Представленная на рис. 7 отрицательная динамика выбросов CO₂ свидетельствует о модернизации непосредственно производственного процесса, а также инфраструктурного обеспечения функционирования промышленных предприятий, заключающейся в повышении ресурсоэффективности и интеграции чистых и экологических безопасных технологий, внедряемых хозяйствующими субъектами.

Для расширения научных исследований и повышения технологического потенциала промышленных секторов экономики важно наращивать качественную составляющую человеческого потенциала, а также увеличивать затраты на НИОКР. Оценка инновационной составляющей показателей мониторинга выполнения ЦУР 9 является следующим шагом аналитической части исследования. В среднем доля расходов на НИОКР равна 1 %, тогда как в развитых европейских странах значение показателя составляет более 3 %. Динамика количества исследователей и доли среднетехнологичной и высокотехнологичной продукции в общем объеме произведенных товаров представлена на рис. 8.



Рис. 8. Динамика компонент инновационного развития страны

На рис. 8 продемонстрирована устойчивая тенденция снижения количества исследователей, что негативно отражается на интенсивности инновационных разработок и их внедрении. В 2015 г. значение показателя составляло 3051,9 человек на млн жителей страны, в 2022 г. значение снизилось на 13 % и составило 2656,6 человек. Доля добавленной стоимости продукции среднетехнологичных и высокотехнологичных отраслей в общем объеме добавленной стоимости характеризуется положительными темпами прироста в 2015–2017 гг. и 2018–2020 гг., начиная с 2020 г. отмечается отрицательная динамика показателя, причем с высокой степенью интенсивности. Данный факт обусловлен среди прочего динамикой ранее описанных показателей инновационного вектора страны.

При проведении анализа показателей мониторинга выполнения ЦУР 9 стоит также акцентировать внимание на совокупном объеме официальной международной поддержки, направляемой на инфраструктуру. Значение данного показателя в среднем за 6 лет уменьшилось в 50 раз и составило 2,27 млн долл. США по сравнению с 2015 г. Исследуемый показатель отражает возможности международной поддержки (финансовой, технологической и технической) для развития стран.

Обсуждение

В начале 2023 г. в президентском Послании Федеральному Собранию было объявлено «о новом курсе страны, направленном на устойчивое развитие» [6, 17], т.е. вопросы устойчивого развития в России начинают новый исследовательский виток, учитывая современные макроэкономические и политические условия развития страны.

В данном контексте интересны предложения С. Н. Митякина о новых целях устойчивого развития России и проведенный сравнительный анализ по сопоставлению их с классическими ЦУР ООН (рис. 9).



Рис. 9. Цели устойчивого развития России в сопоставлении с ЦУР ООН, предложенные С. Н. Митякиным

ЦУР 9 особо актуальна в социально-экономической национальной модели развития России, так как отражает прежде всего ориентацию на инновационный подход.

Новые национальные цели развития России на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г., подписанные президентом 7 мая 2024 г., отражают «экологическое благополучие, а также создание устойчивой и динамичной экономики» [17], что подтверждает ориентацию страны на активное применение принципов устойчивого развития в своей государственной политике.

Проведенный анализ показателей достижения ЦУР 9 и полученные результаты подтверждают гипотезу исследования о необходимости интенсивного развития науки, инноваций и промышленного производства как приоритетных направлений экономического роста и стратегического развития России, учитывая имеющиеся проблемы перехода страны на инновационные рельсы.

Заключение

Реализация концепции устойчивого развития в России исследована на базе ЦУР 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура» (создание устойчивой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям). Проведенные теоретический обзор и динамический анализ индикаторов достижения ЦУР 9 в России свидетельствуют о необходимости интенсивного и качественного развития промышленности, науки и инноваций, соответствующей инфраструктуры. Интеграция инноваций и промышленного сектора экономики является, по нашему мнению, одним из ключевых факторов стабильного экономического роста. Внедрение инноваций на всех стадиях производственного процесса гарантирует промышленному предприятию экономическую эффективность. При этом уровень развития инфраструктурного обеспечения будет напрямую коррелировать с финансовыми результатами функционирования предприятий, ориентированных на создание и использование инноваций.

Полученные результаты в целом показывают активную реализацию концепции устойчивого развития в стране, находящую отражение в национальных приоритетах, стратегических целях, проектах и программах.

Список литературы

1. Официальный сайт ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda>
2. Цели устойчивого развития: ООН и Россия : доклад // Ac.gov.ru. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/SDG_Russia_2023_RUS.pdf
3. UN. 2020. Background document for the Note by the Secretary-General transmitting the report of the Global Working Group on Big Data for Official Statistics (E/CN.3/2020/24) : [Документ подготовлен к 51-й сессии Статистической комиссии. 3–6 марта. Нью-Йорк]. URL: https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/UN_BigData_report_v6.0-E.html
4. Рубан Д. А. Диверсификация подходов к изучению устойчивого развития: краткий обзор новейших монографий российских ученых // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2023. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/>

- n/diversifikatsiya-podhodov-k-izucheniyu-ustoychivogo-razvitiya-kratkiy-obzor-noveyshih-monografiy-rossiyskih-uchenyh
5. Бобылев С. Н., Михайлова С. М., Кирюшин П. А. [и др.]. Зеленая экономика и цели устойчивого развития для России : кол. моногр. М. : Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2019. 284 с.
 6. Митяков С. Н. Новые цели устойчивого развития России // Развитие и безопасность. 2023. № 1. URL: <https://ds.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2023/01/021.pdf>
 7. Гагарина Г. Ю., Чайникова Л. Н., Архипова Л. С. Роль анализа устойчивого развития регионов России в стратегическом планировании // Федерализм. 2019. № 4. С. 5–21.
 8. Цели устойчивого развития в Российской Федерации. 2023 : крат. стат. сб. М. : Росстат, 2023. 100 с. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/SDG_Russia_2023_RUS.pdf
 9. Introduction to Small Area Estimation Techniques: A Practical Guide for National Statistics Offices // Азиатский банк развития. 2020. URL: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/609476/small-area-estimationguide-nsos.pdf>
 10. Устойчивое развитие // Департамент по экономическим и социальным вопросам. URL: <https://dashboards.sdgindex.org/>
 11. Профиль РФ по достижению ЦУР (отчет об устойчивом развитии 2024). URL: <https://dashboards.sdgindex.org/static/profiles/pdfs/SDR-2024-russian-federation.pdf>
 12. Отчет об устойчивом развитии 2024. URL: <https://s3.amazonaws.com/sustainable-development.report/2024/sustainable-development-report-2024.pdf>
 13. Доклад о целях в области устойчивого развития, 2023 год: специальный выпуск. На пути к выработке плана спасения людей и планеты. URL: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Russian.pdf
 14. Ежегодный интерактивный Индекс достижения ЦУР для всех государств-членов ООН. URL: <https://dashboards.sdgindex.org/map>
 15. Международная статистика // Межгосударственный статистический комитет Содружества Независимых Государств. URL: https://eias.cisstat.org/biportal/?solution=International&allsol=1&project=%2FInternational%2FSDG_CIS
 16. «О Целях устойчивого развития». Данные по показателям ЦУР // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики России. URL: <https://rosstat.gov.ru/sdg/data/goal9>
 17. Стенограмма Послания Президента Федеральному Собранию. URL: <http://prezident.org/tekst/stenogramma-poslanija-prezidenta-federalnomu-sobraniyu-21-02-2023.html>

References

1. *Ofitsial'nyy sayt OON= The official website of the United Nations.* (In Russ.). Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda>
2. Sustainable Development Goals: The UN and Russia : a report. *Ac.gov.ru.* (In Russ.). Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/SDG_Russia_2023_RUS.pdf
3. *UN. 2020. Background document for the Note by the Secretary-General transmitting the report of the Global Working Group on Big Data for Official Statistics (E/CN.3/2020/24):* [Document prepared for the 51st session of the Statistical Commission. March 3-6. New York]. Available at: https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/UN_BigData_report_v6.0-E.html
4. Ruban D.A. Diversification of approaches to the study of sustainable development: a brief review of the latest monographs of Russian scientists. *Vestnik Taganrogskego*

- instituta upravleniya i ekonomiki* = *Bulletin of the Taganrog Institute of Management and Economics*. 2023;(1). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/diversifikatsiya-podhodov-k-izucheniyu-ustoychivogo-razvitiya-kratkiy-obzor-nov-eyshih-monografiy-rossiyskih-uchenyh>
5. Bobylev S.N., Mikhaylova S.M., Kiryushin P.A. et al. *Zelenaya ekonomika i tseli ustoychivogo razvitiya dlya Rossii: kol. monogr.* = *Green economy and sustainable development Goals for Russia : a collective monograph*. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet im. M.V. Lomonosova, 2019:284. (In Russ.)
 6. Mityakov S.N. New goals of sustainable development of Russia. *Razvitie i bezopasnost'* = *Development and safety*. 2023;(1). (In Russ.). Available at: <https://ds.ntnu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2023/01/021.pdf>
 7. Gagarina G.Yu., Chaynikova L.N., Arkhipova L.S. The role of analysis of sustainable development of Russian regions in strategic planning. *Federalizm* = *Federalism*. 2019;(4):5–21. (In Russ.)
 8. *Tseli ustoychivogo razvitiya v Rossiyskoy Federatsii. 2023: krat. stat. sb.* = *Sustainable Development Goals in the Russian Federation. 2023 : short. stat. coll.* Moscow: Rosstat, 2023:100. (In Russ.). Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/media-bank/SDG_Russia_2023_RUS.pdf
 9. Introduction to Small Area Estimation Techniques: A Practical Guide for National Statistics Offices. *Aziatskiy bank razvitiya* = *Asian Development Bank*. 2020. Available at: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/609476/small-area-estimationguide-nsos.pdf>
 10. Sustainable development. *Departament po ekonomicheskim i sotsial'nyim voprosam* = *The Department of Economic and Social Affairs*. (In Russ.). Available at: <https://dashboards.sdindex.org/>
 11. *Profil' RF po dostizhenii TsUR (otchet ob ustoychivom razvitii 2024)* = *Profile of the Russian Federation on achieving the SDGs (Sustainable Development Report 2024)*. (In Russ.). Available at: <https://dashboards.sdindex.org/static/profiles/pdfs/SDR-2024-russian-federation.pdf>
 12. *Otchet ob ustoychivom razvitii 2024* = *Sustainability Report 2024*. (In Russ.). Available at: <https://s3.amazonaws.com/sustainable-development.report/2024/sustainable-development-report-2024.pdf>
 13. *Doklad o tselyakh v oblasti ustoychivogo razvitiya, 2023 god: spetsial'nyy vypusk. Na puti k vyrabotke plana spaseniya lyudey i planet* = *Report on the Sustainable Development Goals, 2023: special issue. On the way to developing a plan to save people and the planet*. (In Russ.). Available at: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023-Russian.pdf>
 14. *Ezhegodnyy interaktivnyy Indeks dostizheniya TsUR dlya vseh gosudarstvchlenov OON* = *The annual interactive SDG Achievement Index for all UN Member States*. (In Russ.). Available at: <https://dashboards.sdindex.org/map>
 15. International statistics. *Mezhgosudarstvennyy statisticheskiy komitet Sodruzhestva Nezavisimyykh Gosudarstv* = *Interstate Statistical Committee of the Commonwealth of Independent States*. (In Russ.). Available at: https://eias.cisstat.org/biportal/?solution=International&allsol=1&project=%2FInternational%2FSDG_CIS
 16. "On Sustainable Development Goals". Data on SDG indicators. *Ofitsial'nyy sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki Rossii* = *Official website of the Federal State Statistics Service of Russia*. (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/sdg/data/goal9>
 17. *Stenogramma Poslaniya Prezidenta Federal'nomu Sobraniyu* = *Transcript Of The President's Message To The Federal Assembly*. (In Russ.). Available at: <http://prezident.org/tekst/stenogramma-poslanija-prezidenta-federalnomu-sobraniyu-21-02-2023.html>

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Николаевна Титова

кандидат экономических наук,
доцент кафедры менеджмента
и маркетинга,
Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет
(Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85)
E-mail: titova@bsu.edu.ru

Irina N. Titova

Candidate of economical sciences,
associate professor of the sub-department
of management and marketing,
Belgorod State National
Research University
(85 Pobedy street, Belgorod, Russia)

Юлия Леонидовна Растопчина

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры мировой экономики,
Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет
(Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85)
E-mail: rastopchina@bsu.edu.ru

Yulia L. Rastopchina

Candidate of economical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of world economy,
Belgorod State National
Research University
(85 Pobedy street, Belgorod, Russia)

Андрей Дмитриевич Жуковский

кандидат экономических наук,
ассистент кафедры стратегического
и инновационного развития,
Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации
(Россия, г. Москва,
Ленинградский пр-кт, 49/2)
E-mail: jukoffsky@gmail.com

Andrey D. Zhukovskii

Candidate of economical sciences,
assistant at the sub-department
of strategic and innovative development,
Financial University under the Government
of the Russian Federation
(49/2 Leningradsky avenue,
Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 10.07.2024

Поступила после рецензирования/Revised 18.08.2024

Принята к публикации/Accepted 25.08.2024

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕГИОНОВ-ИНИЦИАТОРОВ И УНИВЕРСИТЕТОВ- УЧАСТНИКОВ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ МИРОВОГО УРОВНЯ

Г. В. Суровицкая¹, Л. А. Гамидуллаева²

¹ Пензенский казачий институт технологий (филиал)
Московского государственного университета технологий и управления
имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), Пенза, Россия

^{1, 2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
¹ gvs_kachestvo@inbox.ru, ² gamidullaeva@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Ключевые проблемы функционирования научно-образовательных центров мирового уровня, получивших государственную поддержку в 2019 и 2020 гг., связаны с недостаточной эффективностью взаимодействия их участников. Рассматриваются результаты анализа конкурентоспособности регионов Приволжского федерального округа, инициировавших создание таких центров, их ведущих университетов, а также существующие модели взаимодействия регионов и университетов. *Материалы и методы.* Для характеристики конкурентоспособности регионов-инициаторов использован индекс научно-технологического развития субъектов Российской Федерации, формируемого РИА Рейтинг, для характеристики конкурентоспособности университетов-участников – рейтинг «Инновации» Национального рейтинга университетов, формируемого Международной информационной группой «Интерфакс». Вместе с бенчмаркинговым анализом использован сравнительный анализ конкурентоспособности регионов-инициаторов и университетов-участников научно-образовательных центров мирового уровня. *Результаты.* Ряд исполнительных органов государственной власти регионов-инициаторов и их подведомственных учреждений получили статус управляющих организаций научно-образовательных центров. Реализация национальных проектов потребует внедрения механизмов проектного управления в практику управляющих организаций. Эффективность деятельности научно-образовательных центров мирового уровня зависит от уровня научно-технологического развития и качества инновационной политики регионов-инициаторов, что выражается соответствующими индексами, а также от позиции университетов-участников в рейтинге «Инновации» Национального рейтинга университетов, что может быть выражено соответствующими баллами. *Выводы.* В качестве инструмента повышения эффективности деятельности научно-образовательных центров мирового уровня предлагается модель взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников, построенная с использованием основной концепции новой теории государственного управления. При этом в практику взаимодействия предлагается внедрить хорошо зарекомендовавшие в бизнесе механизмы цифровой трансформации, проектного управления, риск-менеджмента в рамках систем менеджмента качества. Формированию данных механизмов в исполнительных органах государственной власти регионов будет способствовать реализация стратегий цифровой трансформации регионов. Для университетов-участников эффективной может оказаться реализация актуализированных программ развития в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». Предложенная модель взаимодействия является инновационной для практики российских регионов.

Ключевые слова: регион, университет, научно-образовательный центр, взаимодействие, эффективность

Для цитирования: Суровицкая Г. В., Гамидуллаева Л. А. Модель взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников научно-образовательных центров мирового уровня // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 21–29. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-2

MODEL OF INTERACTION BETWEEN THE INITIATOR REGIONS AND THE PARTICIPATING UNIVERSITIES OF WORLD-CLASS SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CENTERS

G.V. Surovitskaya¹, L.A. Gamidullaeva²

¹ Penza Cossack Institute of Technology (branch) of the K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Penza, Russia

^{1, 2} Penza State University, Penza, Russia

¹ gvs_kachestvo@inbox.ru, ² gamidullaeva@gmail.com

Abstract. *Background.* The key problems of functioning of world-class scientific and educational centers that received state support in 2019 and 2020 are related to insufficient efficiency of interaction between their participants. Here we aim to discuss: the results of the analysis of competitiveness of the regions of the Volga Federal District that initiated the creation of such centers, their leading universities and the existing models of interaction between regions and universities. *Materials and methods.* To characterize the competitiveness of the initiating regions, the index of scientific and technological development of the constituent entities of the Russian Federation, formed by RIA Rating, was used, and to characterize the competitiveness of the participating universities, the Innovation rating of the National University Ranking formed by the Interfax International Information Group was used. Together with benchmarking analysis, a comparative analysis of the competitiveness of the initiating regions and participating universities was used. *Results.* A number of executive bodies of state power of the initiating regions and their subordinate institutions received the status of managing organizations of scientific and educational centers. The implementation of national projects will require the introduction of project management mechanisms into the practice of managing organizations. The efficiency of world-class scientific and educational centers depends on the level of scientific and technological development and the quality of innovation policy of the initiating regions, which is expressed by the corresponding indices, as well as on the position of the participating universities in the Innovation rating of the National University Ranking, which can be expressed by the corresponding points. *Conclusions.* As a tool for increasing the efficiency of world-class scientific and educational centers, a model of interaction between the initiating regions and the participating universities is proposed, built using the basic concept of the new theory of public administration. At the same time, it is proposed to introduce into the practice of interaction the mechanisms of digital transformation, project management, risk management within the framework of quality management systems that have proven themselves in business. The formation of these mechanisms in the executive bodies of state power of the regions will be facilitated by the implementation of digital transformation strategies for the regions. For the participating universities, the implementation of updated development programs within the framework of the strategic academic leadership program Priority 2030 may be effective. The proposed model of interaction is innovative for the practice of Russian regions.

Keywords: region, university, scientific and educational center, interaction, efficiency

For citation: Surovitskaya G.V., Gamidullaeva L.A. Model of interaction between the initiator regions and the participating universities of world-class scientific and educational centers. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):21–29. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-2

Введение

На современном этапе развития субъектов Российской Федерации наблюдаемая диверсификация моделей управления региональными инновационными экосистемами вытекает из необходимости реализации национальных проектов. В рамках национального проекта «Наука и университеты» получили государственную поддержку научно-образовательные центры мирового уровня (НОЦ). Они созданы по инициативе ряда регионов страны (регионы-инициаторы), включают в качестве ключевых участников университеты (университеты-участники), находящиеся на территории регионов-инициаторов.

Специфика совмещения различных направлений реализации региональной экономической политики, исходя из общих стратегических целевых установок, выражается в необходимости ориентации региональных органов власти на создание и продвижение совместно с университетами региональных брендов [1]. При этом общие цели и перспективные направления регионального развития с учетом территориальных особенностей на региональном уровне находят свое отражение в региональных проектах [2]. Причинами взаимодействия университетов с органами власти и другими стейкхолдерами становятся скорость обновления знаний, цифровизация, изменение общих внешних социально-экономических условий взаимодействия, нехватка ключевых ресурсов, в частности человеческих [3].

Концентрация управленческих полномочий в сфере высшего образования на федеральном уровне до недавнего времени обуславливала недостаточную вовлеченность исполнительных органов государственной власти регионов в реализацию программ развития университетов. В этой связи целесообразно рассматривать некоторые аспекты деятельности научно-образовательных центров как объекта государственного управления, в том числе в контексте расширения практик разработки региональных программ развития высшего образования [4].

В рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» на региональном уровне получит развитие такая типовая модель трансформации опорных университетов, как становление технологического лидера в регионе, одной из задач которого является поиск и выстраивание эффективных механизмов взаимодействия между основными акторами региональной инновационной системы на основе модели тройной спирали Г. Ицковича [5].

Конкурентоспособность регионов-инициаторов и университетов-участников научно-образовательных центров мирового уровня обуславливает особенности их взаимодействия в каждом конкретном случае.

Для характеристики конкурентоспособности регионов-инициаторов использован индекс научно-технологического развития субъектов Российской Федерации, формируемый РИА Рейтинг, для характеристики конкурентоспособности университетов-участников – рейтинг «Инновации» Национального

рейтинга университетов, формируемого Международной информационной группой «Интерфакс». На рис. 1 приведена диаграмма по итогам 2019 г. – года запуска проекта по созданию научно-образовательных центров мирового уровня.

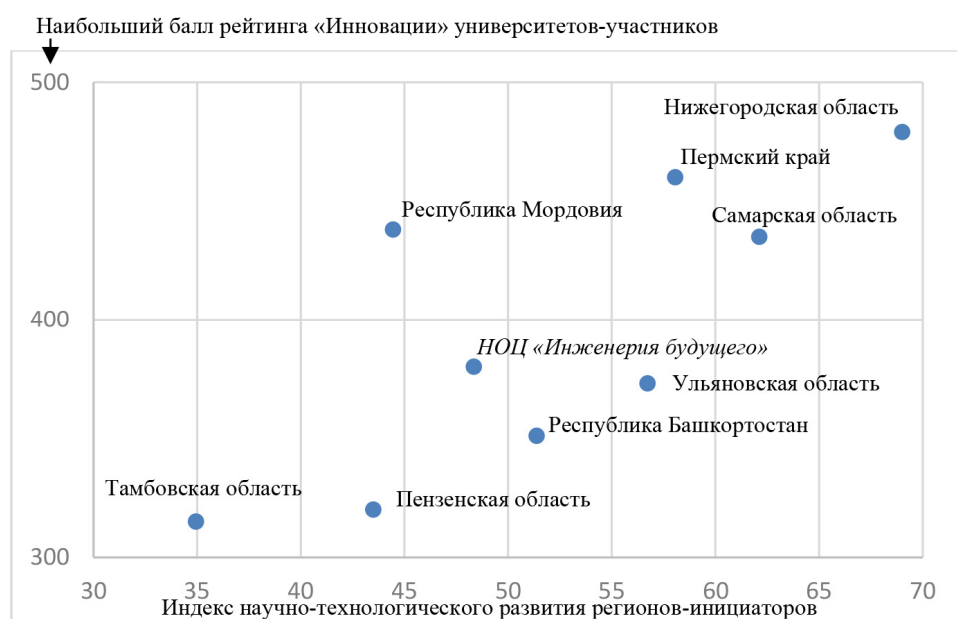


Рис. 1. Показатели конкурентоспособности регионов-инициаторов и университетов-участников по итогам 2019 г.¹

Как видно из рис. 1, Нижегородская область демонстрирует наибольшую конкурентоспособность как в части научно-технологического развития, так и в части баллов в рейтинге «Инновации» ведущего университета региона – Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. Лидирующие позиции занимают также Пермский край и Самарская область. К аутсайдерам следует отнести Пензенскую и Тамбовскую области.

По итогам 2019 г. в рамках рейтинга инновационного развития субъектов Российской Федерации, сформированного Институтом статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», представлен индекс «Качество инновационной политики», характеризующий вклад исполнительных органов государственной власти в инновационное развитие региона (рис. 2).

Как видно из рис. 2, качество инновационной политики региона существенно влияет на его конкурентоспособность. Причем состав групп лидеров и аутсайдеров идентичен показанному на рис. 1.

В табл. 1 представлена динамика рассматриваемых показателей в срезе НОЦ «Инженерия будущего».

¹ http://vid1.rian.ru/ig/ratings/regions_R&D_20.pdf; <https://academia.interfax.ru/ru/ratings/?rating=8&year=2019&page=1>

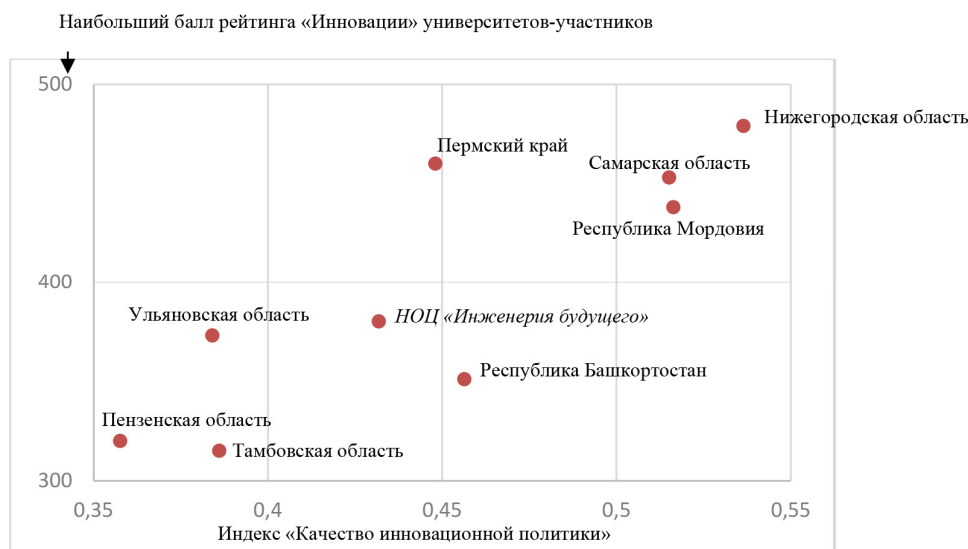


Рис. 2. Показатели конкурентоспособности университетов-участников и качества инновационной политики регионов-инициаторов по итогам 2019 г.¹

Таблица 1

Динамика рассматриваемых показателей для НОЦ «Инженерия будущего»

Регион	Динамика индекса научно-технологического развития регионов		Динамика индекса качества инновационной политики региона		Средний балл университетов-участников в рейтинге «Инновации»	
	2019	2022	2019	2021	2019	2022
Самарская область	62,13	59,45	0,5152	0,8421	308	302
Пензенская область	43,51	42,17	0,3577	0,5754	354	288
Тамбовская область	34,95	32,78	0,3861	0,5303	328	405
Ульяновская область	56,74	55,64	0,3841	0,8217	322	312
Республика Мордовия	44,46	48,42	0,5164	0,5939	387	422
Чувашская Республика	46,76	40,52	0,3009	0,6266	241	263
В среднем по НОЦ	48,09	46,50	0,4101	0,6650	323	332

Как видно из табл. 1, повышение качества инновационной политики в Тамбовской области и Республики Мордовии в 2021 г. обусловило прирост баллов рейтинга «Инновации» у ведущих университетов данных регионов в 2022 г.

¹ <https://www.hse.ru/primarydata/rir>; <https://academia.interfax.ru/ru/ratings/?rating=8&year=2019&page=1>

В ходе исследования проведен анализ организационных механизмов взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников, а также систем управления научно-образовательных центров мирового уровня. При этом объектом исследования являются научно-образовательные центры мирового уровня, создание которых инициировали регионы Приволжского федерального округа.

Анализ официальных сайтов научно-образовательных центров позволил уточнить статус управляющих организаций научно-образовательных центров мирового уровня, создание которых инициировано регионами Приволжского федерального округа. Управляющей организацией Евразийского научно-образовательного центра мирового уровня является Правительство Республики Башкортостан, научно-образовательного центра «ТЕХНОплатформа 2035» (Нижегородская область) – Министерство образования, науки и молодежной политики Нижегородской области. Управляющая организация научно-образовательного центра «Инженерия будущего» (Самарская область, Пензенская область, Ульяновская область, Тамбовская область, Республика Мордовия) – Автономная некоммерческая организации «Институт регионального развития» – учреждена Правительством Самарской области. В Пермском крае создана Автономная некоммерческая организация «Пермский научно-образовательный центр мирового уровня "Рациональное недропользование"», учредителем которой является Министерство образования и науки Пермского края.

Взаимодействие регионов-инициаторов в лице управляющих организаций научно-образовательных центров и университетов-участников, как правило, строится на базе устоявшихся механизмов взаимодействия органов власти и вузов. В рамках данных механизмов создаются коллегиальные органы в формате советов и рабочих групп, полномочия которых в ряде случаев недостаточны для обеспечения эффективности деятельности центров.

Эффективность деятельности научно-образовательных центров мирового уровня должна быть обеспечена нормативной и методической базами взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников.

В программных документах научно-образовательных центров мирового уровня, получивших государственную поддержку, отражены механизмы управления с некоторой детализацией в части взаимодействия с органами власти или их подведомственными учреждениями. Однако такая детализация недостаточна в части выявления предпосылок создания новых механизмов взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников.

В рамках реализации программ развития университеты модернизируют системы управления. Возникает закономерный вопрос: необходима ли на современном этапе модернизация механизмов управления в исполнительных органах государственной власти регионов для повышения эффективности взаимодействия с университетами, например, в рамках научно-образовательных центров мирового уровня? По мнению авторов, она не только необходима, но и реализуется в соответствии с новой теорией государственного управления, основной концепцией которой является внедрение в практику органов власти механизмов управления, хорошо зарекомендовавших себя в бизнесе. К таким механизмам следует отнести механизмы проектного управления и механизмы цифровой трансформации.

Основным направлением цифровой трансформации регионов и университетов является формирование такой клиентоцентричной бизнес-модели, объединяющей группы продуктов, услуг, информации для удовлетворения конечных потребностей клиентов, как цифровая экосистема. Поддержка создания цифровых экосистем реализуется в рамках национальной программы «Цифровая экономика в Российской Федерации», включающей и федеральный проект «Нормативное регулирование цифровой среды». По мнению авторов, в нормативной правовой базе необходимо отразить принципы и механизмы взаимодействия цифровых экосистем органов власти региона и университетов.

Формированию новых механизмов взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников способствует реализация проектов по разработке стратегий цифровой трансформации регионов и проектов по актуализации программ развития университетов в рамках программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030» с созданием консорциумов научных и образовательных организаций.

Предложенная модель взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников научно-образовательных центров мирового уровня, получивших государственную поддержку в 2019 и 2020 гг., существенно расширяет совокупность механизмов и инструментов обеспечения эффективности их деятельности. Управление региональными системами высшего образования должно позволять концентрировать федеральные и региональные ресурсы на определенных вузовских программах и проектах развития [6].

Результаты ранжирования регионов-инициаторов и университетов-участников в определенной мере коррелируют с результатами ранжирования регионов с использованием рейтинга инвестиционной привлекательности рейтингового агентства «Эксперт РА» и ранжирования региональных сетей высшего образования с использованием данных мониторинга эффективности вузов Минобрнауки России [4]. Так, лидерами среди рассматриваемых регионов также стали Нижегородская, Самарская области и Пермский край, аутсайдерами – Пензенская и Тамбовская области.

В последние годы наибольшее распространение получили такие организационные модели взаимодействия, как модель сотрудничества на уровне регионального правительства (как правило, сопровождается созданием специальной структуры для координации работ субъектов взаимодействия) и контрактная модель (взаимодействие организуется на основе соглашений отдельных вузов о сотрудничестве с региональными властями с целью реализации региональных программ социально-экономического развития и совместных проектов отраслевого и межотраслевого уровня) [7]. Данные модели могут оказаться недостаточно эффективными для достижения целей деятельности научно-образовательных центров мирового уровня.

В связи с вышесказанным предлагаемая модель взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников включает следующие механизмы:

- механизмы совместной цифровой трансформации в отдельных сферах;
- механизмы взаимодействия цифровых экосистем органов власти и университетов, например, в части поддержки систем проектного управления участников взаимодействия;

- механизмы взаимодействия систем проектного управления, в первую очередь в части обеспечения необходимого уровня компетентности исполнителей проектов научно-образовательных центров мирового уровня;
- механизмы реализации инновационной политики университетов [8];
- механизмы риск-менеджмента на основе международных стандартов ИСО серии 9000, внедрение которых может потребовать разработки и сертификации систем менеджмента качества управляющих организаций научно-образовательных центров.

Заключение

В результате реализации региональных инновационных политик и программ развития университетов сформирован определенный уровень конкурентоспособности регионов и университетов, получили развитие некоторые формы их взаимодействия. Однако обеспечение деятельности научно-образовательных центров мирового уровня и повышение ее эффективности обусловили насущную необходимость диверсификации модели взаимодействия регионов-инициаторов и университетов-участников.

Перспективным направлением решения накопившихся проблем может стать формирование новых механизмов взаимодействия на основе цифровой трансформации и организационных форм реализации региональных и федеральных проектов развития.

Список литературы

1. Савельев Ю. В. Управление конкурентоспособностью региона: от теории к практике : монография. Петрозаводск : Карельский науч. центр РАН, 2010. 477 с.
2. Хрипко С. В. Формирование конкурентоспособной экономики региона как условие перехода к устойчивому развитию : автореф. дис. ... канд. эконом. наук. Казань, 2012. 25 с.
3. Вертинова А. А., Лебедева В. М. Характеристика взаимодействий университета с субъектами экономики региона // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10, № 3. С. 1721–1736. doi: 10.18334/vinec.10.3.110557
4. Лешуков О. В., Ликсюткин М. А. Управление региональными системами высшего образования России: возможные подходы // Университетское управление: практика и анализ. 2015. № 6. С. 29–40.
5. Барышникова М. Ю., Вашурина Е. В., Шарыкина Э. А. [и др.]. Роль опорных университетов в регионе: модели трансформации // Вопросы образования. 2019. № 1. С. 8–43.
6. Лешуков О. В. Модель федерально-региональных отношений в управлении высшим образованием в РФ // Экономика региона. 2020. Т. 16, вып. 1. С. 201–212.
7. Коган Е. Я., Посталюк Н. Ю., Кутейницына Т. Г. Модели взаимодействия вузов с экономикой и социальной сферой региона // Высшее образование в России. 2019. Т. 28, № 7. С. 9–18. doi: 10.31992/0869-3617-2019-28-7-9-18
8. Суровицкая Г. В. Модели реализации инновационной политики университетов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 2. С. 77–86. doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-5

References

1. Savell'ev Yu.V. *Upravlenie konkurentosposobnost'yu regiona: ot teorii k praktike: monografiya* = *Regional competitiveness management: from theory to practice : monograph*. Petrozavodsk: Karel'skiy nauch. tsentr RAN, 2010:477. (In Russ.)

2. Khripko S.V. *The formation of a competitive economy in the region as a condition for the transition to sustainable development*. PhD abstract. Kazan', 2012:25. (In Russ.)
3. Vertinova A.A., Lebedeva V.M. Characteristics of university interactions with regional economic entities. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki = Issues of innovative economics*. 2020;10(3):1721–1736. (In Russ.). doi: 10.18334/vinec.10.3.110557
4. Leshukov O.V., Liksyutkin M.A. Management of regional higher education systems in Russia: possible approaches. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz = University management: practice and analysis*. 2015;(6):29–40. (In Russ.)
5. Baryshnikova M.Yu., Vashurina E.V., Sharykina E.A. et al. The role of supporting universities in the region: models of transformation. *Voprosy obrazovaniya = Education issues*. 2019;(1):8–43. (In Russ.)
6. Leshukov O.V. Model of federal-regional relations in the management of higher education in the Russian Federation. *Ekonomika regiona = The economy of the region*. 2020;16(1):201–212. (In Russ.)
7. Kogan E.Ya., Postalyuk N.Yu., Kuteynitsyna T.G. Models of interaction between universities with the economy and social sphere of the region. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher education in Russia*. 2019;28(7):9–18. (In Russ.). doi: 10.31992/0869-3617-2019-28-7-9-18
8. Surovitskaya G.V. Models for the implementation of university innovation policy. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(2):77–86. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-5

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Владимировна Суrowицкая
доктор экономических наук, доцент,
начальник отдела менеджмента качества,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40);
профессор,
Пензенский казачий институт
технологий (филиал)
Московского государственного
университета технологий
и управления имени К. Г. Разумовского
(Первый казачий университет)
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 6)
E-mail: gvs_kachestvo@inbox.ru

Galina V. Surovitskaya
Doctor of economical sciences,
associate professor,
head of quality management department,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);
professor,
Penza Cossack Institute of Technology
(branch) of the K.G. Razumovsky
Moscow State University of Technology
and Management (First Cossack University)
(6 Volodarsky street, Penza, Russia)

Лейла Айваровна Гамидуллаева
доктор экономических наук,
заведующий кафедрой менеджмента
и государственного управления,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: gamidullaeva@gmail.com

Leyla A. Gamidullaeva
Doctor of economical sciences,
head of the sub-department of management
and public administration,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 12.06.2024

Поступила после рецензирования/Revised 28.06.2024

Принята к публикации/Accepted 03.07.2024

ИННОВАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РОССИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ

А. Д. Шматко¹, П. А. Хильченко²

^{1, 2} Институт проблем региональной экономики Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

¹ info@iresras.ru, ² hilchenko.pa@tkgse.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цели исследования: рассмотреть текущее состояние и возможности России по внедрению инноваций на железнодорожном транспорте, оценить их влияние на экономическое развитие регионов и страны в целом; определить сектора железнодорожной отрасли, в которых активно используются инновационные технологии, апробированные и подтвержденные конкретными проектами. *Задачи:* определить основные направления развития инноваций на железнодорожном транспорте в России, оценить на примере пилотных инновационных проектов их влияние на развитие регионов и страны в целом как фактор, способствующий повышению качества жизни населения, продукции и поставляемых на рынок услуг, а также обеспечения технологической безопасности России; рассмотреть вопрос развития национальных стандартов как необходимого инструмента для развития и продвижения отечественных технологий. *Материалы и методы.* В работе были использованы общие методы научного познания, методы сравнительного анализа и статистические методы для выявления основных тенденций внедрения инновационных решений на железнодорожном транспорте в ряде регионов Российской Федерации, где проводились пилотные проекты. *Результаты.* Внедрение инновационных решений в железнодорожную отрасль позволит решить ряд приоритетных задач на региональном и федеральном уровнях, например, таких как технологическая безопасность за счет использования собственных разработок, повышение безопасности условий труда, улучшение экологической составляющей практически во всех регионах страны, а также повлияет на развитие других отраслей промышленности и сельского хозяйства в регионах, что позволит увеличить объем перевозок, сформирует условия для создания новых рабочих мест, повысит мобильность населения. *Выводы.* Изучение основных мировых достижений инновационного развития в железнодорожной отрасли, приоритетном использовании в создании новых продуктов отечественных разработок позволяет решать задачи обеспечения государственной и общественной безопасности, эффективно использовать возможности регионов, создавать условия для воспроизводства высококвалифицированных кадров. Для успешного решения такого комплекса сложных задач требуется использовать возможности государственной поддержки и инструментов государственно-частного партнерства с целью формирования программ развития отраслей, регионов и страны в целом. Важную роль необходимо уделять инструментам экономики качества, в первую очередь это касается обновлений нормативной и законодательной базы, разработки новых национальных стандартов.

Ключевые слова: инновационное развитие, железнодорожная отрасль, беспилотные поезда, квантовые технологии, региональное развитие, безопасность движения

Для цитирования: Шматко А. Д., Хильченко П. А. Инновации на железнодорожном транспорте в России и их влияние на экономическое развитие регионов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 30–42. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-3

INNOVATIONS IN RAILWAY TRANSPORT IN RUSSIA AND THEIR IMPACT ON THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF REGIONS

A.D. Shmatko¹, P.A. Hilchenko²

^{1,2} Institute For Regional Economic Studies RAS, Saint Petersburg, Russia

¹info@iresras.ru, ²hilchenko.pa@tkgse.ru

Abstract. *Background.* To consider the current state and opportunities of the Russian Federation for the introduction of innovations in railway transport, to assess their impact on the economic development of regions and the country as a whole. Identify sectors of the railway industry that actively use innovative technologies that have been tested and confirmed by specific projects. *Materials and methods.* To identify the main directions for the development of innovations in railway transport in Russia, to assess the effectiveness of their impact on improving the quality of life of the population, products and services supplied to the market, habitat, management, ensuring technological safety, as well as on the development of the regional economy as a whole using the example of the introduction of pilot innovative projects in the Russian Federation. *Results.* The introduction of innovative solutions in the railway industry will allow solving a number of priority tasks at the regional and federal levels, for example, such as technological safety through the use of own developments, improving the safety of working conditions, improving the environmental component in almost all regions of the country. It will also affect the development of other industries and agriculture in the regions, which, in turn, will increase the volume of transportation, create conditions for creating new jobs, and increase the mobility of the population. *Conclusions.* The study of the main global achievements of innovative development in the railway industry, the priority use of domestic developments in the creation of new products, allows us to solve the tasks of ensuring state and public safety, effectively use the opportunities of the regions, create conditions for the reproduction of highly qualified personnel. To successfully solve such a complex of complex tasks, it is necessary to use the possibilities of state support and tools of public-private partnership in order to form programs for the development of industries, regions and the country as a whole. An important role should be given to the tools of the quality economy, first of all, this concerns the updating of the regulatory and legislative framework, the development of new national standards.

Keywords: innovative development, railway industry, unmanned trains, quantum technologies, regional development, traffic safety

For citation: Shmatko A.D., Hilchenko P.A. Innovations in railway transport in Russia and their impact on the economic development of regions. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):30–42. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-3

Введение

Инновационные процессы, происходящие в мире и в России, не следует рассматривать как некоторую самоцель или удовлетворение амбиций, позволяющее сказать: «Мы можем сделать так, как пока еще никто до нас не делал». Инновационные технологии – это в первую очередь инструмент, с помощью которого решаются крайне важные многофакторные задачи, затрагивающие

экономическую, социальную, экологическую и другие сферы жизни страны и регионов. К основным таким задачам следует отнести повышение качества жизни населения, продукции и поставляемых на рынок услуг, среды обитания, управления, а также обеспечение технологической безопасности государства. Все это неразрывно связано с инструментами экономики качества, без которой невозможно добиться устойчивого экономического развития предприятий, отраслей, регионов и страны в целом.

Инновации на железнодорожном транспорте как фактор влияния на развитие регионов

Инновации на железнодорожном транспорте, которые в последние годы внедряются в отрасли, не исключение. Пилотные проекты, которые были опробованы в ряде регионов, показали свою эффективность, что оказывает положительное влияние на развитие экономики этих регионов.

В первую очередь такие проекты помогают решать вопросы технологической безопасности России. Достигается это приоритетным использованием собственных технологических и программных разработок, а также агрегатов и комплектующих, способствующих реализации государственной стратегии по импортозамещению. Важно отметить, что с февраля 2022 г. зарубежное программное обеспечение РЖД не закупается.

В социальной сфере развитие инноваций создает условия для повышения безопасности условий труда сотрудников предприятий, формирования запроса на новое качество знаний и образования кадров, повышения удовлетворенности клиентов качеством оказываемых предприятиями отрасли услуг.

Железнодорожный транспорт является наиболее экологически чистым. По данным Eurasian Rail Alliance Index, на железнодорожный транспорт приходится 7 % мировых грузоперевозок, но только 3 % энергии, используемой мировой транспортной отраслью, и менее 1 % выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Новейшие инновационные технологии, применяемые в железнодорожной отрасли России, например «умные» системы управления, улучшение энергоэффективности поездов с использованием рекуперации энергии, позволяют дополнительно улучшить общую экологическую картину практически во всех регионах страны.

Необходимо отметить, что железнодорожная отрасль напрямую влияет на развитие и других отраслей промышленности и сельского хозяйства в регионах, в первую очередь в секторах строительства и производства. Повышение качества железнодорожных услуг позволяет увеличить объем перевозок, формирует условия для создания новых рабочих мест, способствует развитию социально-культурных связей между регионами, повышает мобильность населения. Как потребитель новейших инновационных технологий, ОАО «РЖД» является крупным заказчиком в научной сфере, что оказывает большое влияние на развитие научно-технического прогресса. Согласно утвержденным планам Комплексной программы инновационного развития объем финансирования НИОКР, выполненных вузами и научными организациями по заказам ОАО «РЖД» в 2024–2025 гг., составит 5,46 млрд руб.

Партнерство в сфере науки осуществляется с Российской академией наук, Российским фондом фундаментальных исследований, МГУ им. М. В. Ломоносова, Росстандартом и рядом других государственных организаций, вузов

и фондов [1]. Новейшие технологии, применяемые на железнодорожном транспорте, требуют и подготовки новых высококвалифицированных кадров для отрасли, что, в свою очередь, стимулирует повышение качества образования в регионах. Министерством транспорта Российской Федерации согласована Программа взаимодействия РЖД с университетскими комплексами железнодорожного транспорта до 2025 г., благодаря которой в государственных университетах путей сообщения создаются бизнес-инкубаторы и бизнес-акселераторы, открываются гранты для студентов на реализацию выпускных квалификационных работ по темам, являющимся актуальными для РЖД и имеющим практический и инновационный характер, организовываются мастер-классы по внедрению изменений и развитию новаторского мышления.

В целом влияние инновационных технологий на железнодорожном транспорте на развитие региональной экономики представлено в табл. 1.

Таблица 1

Влияние инновационных технологий на железнодорожном транспорте на развитие региональной экономики (составлено автором)

Новые возможности для экономики России	Факторы влияния на экономику регионов	Экономический эффект
– повышение связанности территорий; – технологическая, информационная и транспортная безопасность; – стимулирование роста выпуска продукции; – создание новых рабочих мест; – повышение качества жизни; – социальная стабильность; – развитие научного потенциала и качества образовательных услуг; – развитие конкурентоспособности регионов	– новые инфраструктурные возможности; – улучшение географического покрытия территорий; – увеличение скорости перевозки пассажиров и грузов; – повышение качества предоставляемых услуг населению и владельцам грузов; – увеличение производительности труда; – улучшение экологии	Кумулятивный экономический эффект от цифровой трансформации составит в 2019–2025 гг. 153 млрд руб.* Совокупный мультипликационный эффект составит в 2019–2025 гг. приблизительно 400 млрд руб.*

П р и м е ч а н и е : * – оценка экспертов ОАО «РЖД».

Рассмотрим примеры мировых трендов инновационного развития на железнодорожном транспорте, реализуемые ОАО «РЖД».

Железнодорожный транспорт в России с ее протяженностью и огромными расстояниями между отдельными регионами, с многообразием климатических зон и погодными факторами влияет на различные стороны жизни государства и имеет особое значение. Железнодорожные перевозки обеспечивают 87 % всего грузооборота страны и около трети пассажиропотока. Выступая на пленарном заседании IV Железнодорожного съезда 15 декабря 2023 г.,

президент России В. В. Путин охарактеризовал железнодорожную отрасль как флагман экономики страны в области внедрения инноваций и цифровых решений [2].

Рассмотрим некоторые основные мировые тренды инновационного развития в железнодорожной отрасли, которые успешно реализуются ОАО «РЖД» в России.

Инновационные робототехнические комплексы позволяют реализовать автономность эксплуатации поезда на железнодорожных станциях на всех циклах, начиная от контроля его технического состояния до расформирования прибывших на станцию поездов и дальнейшего диагностирования.

Примером реализации подобных технологий в России является проект «Цифровая железнодорожная станция» (ЦЖС), который позволяет увеличить доходность за счет эффективного использования существующей инфраструктуры. При реализации проекта используются новейшие отечественные информационные технологии, что позволяет осуществить цифровизацию процессов управления железнодорожным транспортом (по сути, создается цифровой двойник железнодорожной станции).

Реализация проекта позволяет повысить безопасность на железной дороге, производительность труда, сократить количество ремонтов и замены устройств и оборудования, а также случаи срывов сроков доставки грузов, что способствует повышению качества обслуживания пассажиров и грузовладельцев, уменьшению межоперационных затрат и бумажного документооборота. Так, например, внедрение модуля учетных данных на пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочной станции Челябинск-Главный Южно-Уральской железной дороги позволил снизить суммарную длины окон между отцепами более чем в два раза (с 124 до 60 м), на 8 % увеличить заполняемость путей сортировочного парка и перерабатывающую способность сортировочных горок. В 2022 г. проект ЦЖС уже введен в действие на 66 станциях.

В перспективе ЦЖС позволит организовать полностью роботизированное обслуживание грузовых вагонов, осуществив вывод человека из опасных зон на железнодорожных станциях, повысить эффективность выполнения повторяющихся производственных процессов и выполнить ряд элементов безотцепочного ремонта.

С 2014 г. научно-отраслевой комплекс РЖД ведет разработки в этой сфере, и Россия – один из мировых лидеров в беспилотных технологиях на железной дороге. Такие технологии использованы в разработках институтов НИИАС и ВНИКТИ по заказу РЖД по проекту «Создание современных систем управления движением поездов и обеспечения безопасности движения» (КНП-5).

В рамках проекта разработаны и внедрены системы:

- управления горочным локомотивом без участия машиниста;
- автоматического регулирования скорости надвига и роспуска;
- дистанционного управления тепловозом (без машиниста).

В результате тепловоз способен выполнять в автоматическом режиме надвиг состава на сортировочную горку, съезд с сортировочной горки и заезд под состав. При этом благодаря блоку обнаружения препятствий при движении локомотивом вперед обеспечивается остановка перед барьерами, а также трансляция изображения с камер локомотива на пульт машиниста-оператора.

Кроме того, изготовлены стационарный и переносной пульты управления локомотивом, дающие возможность одному машинисту-оператору вести дистанционный контроль над несколькими локомотивами [3].

Другой пример применения подобной технологии – беспилотный поезд «Ласточка» (серия ЭС2Г), который РЖД планирует в тестовом режиме с присутствием машиниста в кабине запустить в 2024 г.

С помощью бортовой расширяемой системы управления и обеспечения безопасности движения и пульта в центре управления один машинист-оператор сможет управлять четырьмя поездами одновременно. Безопасность беспилотного поезда обеспечивается несколькими системами (рис. 1) [4].



Рис 1. Системы обеспечения безопасности беспилотного поезда

Заместитель генерального директора ОАО «РЖД» Евгений Чаркин отмечает: «Полученные результаты позволяют ожидать существенные эффекты от применения этой технологии – рост пропускной способности станций на 20 %, сокращение интервала на МЦК до трех минут с увеличением пассажиропотока на 200 тысяч человек в сутки, экономию операционных расходов».

Для реализации программы импортозамещения на заводе «Уральские локомотивы» в Верхней Пышме был создан полностью российский аналог «Ласточки» – новый поезд «Финист» (серия ЭС104). Технологические решения и программный продукт, разработанные для поезда «Ласточка», полностью российские, однако агрегаты у «Ласточки» импортные. Новый поезд создан с использованием исключительно отечественных агрегатов и комплектующих. В РЖД намерены запустить беспилотные электропоезда «Финист» в 2026 г., которые к тому же имеют лучшие характеристики (416 мест (в «Ласточке» их 346)) и более комфортны для пассажиров (три туалета вместо двух). Важным преимуществом электропоезда «Финист» является российское тяговое оборудование, позволяющее электропоезду быстро разогнаться до скорости 160 км/ч и эффективно тормозить с рекуперацией электроэнергии в контактную сеть [5].

Технологии Интернета вещей (IoT, Internet of things) представляют собой глобальную вычислительную сеть, объединяющую материальные объекты, каждый из которых обладает устройствами связи и соответствующими

датчиками, с другими объектами этой сети и внешним миром, позволяющую идентифицировать все объекты сети и их параметры.

Такая сеть предоставляет возможность обмениваться данными с любыми объектами инфраструктуры (поездами, мостами, туннелями и др.), получать данные о ее состоянии, погодных условиях, иных внешних факторах в режиме реального времени. Анализ полученных данных позволяет своевременно оценить риск возникновения инцидента и произвести предупреждающие либо аварийные действия.

Кроме того, IoT-технологии позволяют улучшить контроль за грузами и их движением, скоростью их погрузки и разгрузки, отслеживать возможные задержки, местоположение и состояние грузов на протяжении всего процесса транспортировки и складирования, что делает возможным с высокой точностью построить оптимальную логистику и рассчитать точное время прибытия на место назначения. Это помогает сократить потери времени и грузов и повысить эффективность доставки, координацию управления инцидентами, эффективность и надежность всей железнодорожной системы.

Подобные системы передают всю необходимую информацию с помощью специальных датчиков, установленных на поездах, например об открытых дверях, смещении осей, работе кондиционеров и других устройств и оборудования локомотива и подвижного состава в центр управления движением, где на основе анализа полученных данных практически мгновенно автоматически принимается ситуативное решение.

Системы датчиков контролируют состояние железнодорожного полотна, колесных пар, стрелок и т.д. Крайне важно, что подобные системы (в отличие, скажем, от мобильной связи) могут работать на мостах и в тоннелях, где обычные виды связи не имеют устойчивого покрытия.

Ряд подобных проектов в области информационной безопасности, внедрения технологий Интернета вещей, импортозамещения цифровых решений, а также развития услуг технологической и корпоративной связи РЖД реализует с государственной корпорацией «Ростех» и крупнейшими IT-компаниями России, такими как ПАО «Ростелеком» и ПАО «Мегафон».

Так, например, система мониторинга инженерных конструкций моста через реку Кола на 1436 км перегона Кола – Выходной в Мурманской области (цифровой двойник) с 2021 г. в тестовом режиме контролирует исправность переправы. Непрерывно считывают состояние искусственного сооружения и анализируют информацию о состоянии опор, уровне вибраций, нагрузке от проходящих грузовых поездов 26 датчиков. Если показатели датчиков попадут в «красную зону», железнодорожники успеют быстро перекрыть движение по мосту и вызвать ремонтную бригаду [6].

Система Inspark Platform IoT (Российская инновационная IoT-платформа для «умного города» и систем технологического мониторинга объектов) заложена при строительстве моста в Химках через канал имени Москвы, который будет использоваться для высокоскоростной магистрали (ВСМ) Москва – Санкт-Петербург. Она позволяет получать данные телеметрии от оборудования, установленного на объектах мониторинга, удаленного и автоматического управления оборудованием объектов, используется для поддержки функций диспетчеризации распределенного комплекса инженерного оборудования и позволяет взаимодействовать с различными устройствами, приложениями

и данными таким образом, чтобы пользователи без дополнительных интеграций могли сразу же применять полученные результаты. Серверная платформа обеспечивает практически неограниченные возможности по обработке данных [7].

Использование подобных технологий дает возможность получать полную информацию о состоянии всех объектов, осуществлять их непрерывный мониторинг и контроль, что позволяет значительно повысить безопасность железнодорожных перевозок и уменьшить эксплуатационные расходы.

Говоря о роботизации, эксплуатации беспилотных поездов, Интернете вещей, нельзя обойти стороной и квантовые технологии. Все вышеперечисленные технологии предусматривают работу с большими массивами данных (Big Data), представляемых из разных источников (не только из внутренних баз данных), с использованием различных сетей. Таким образом, первоочередными становятся проблемы повышения безопасности информации, обеспечения конфиденциальности и эффективного управления различными источниками данных, используемыми автоматизированными системами, являющимися, как правило, объектами критической информационной безопасности. К объектам критической информационной структуры железнодорожного транспорта относятся большинство видов автоматизированных систем подготовки и оформления перевозочных документов, управления подвижным составом, железнодорожными станциями, систем контроля и др. [8].

Квантовые технологии позволяют:

- обрабатывать данные, решать сложные алгоритмы и крупномасштабные задачи оптимизации и принятия решений со скоростью и точностью, которая на порядки превышает вычислительные возможности современных технологий;

- обеспечить конфиденциальность и безопасность передачи данных и работы с ними, а следовательно, и достоверность принятых в автоматизированном режиме решений для всех уровней систем управления объектами на железной дороге, станциях, узлах и т.д.

Физическая основа квантовых технологий – это магистральные оптоволоконные каналы РЖД. Передаваемые по ним данные шифруются алгоритмом квантового распределения ключей, что делает их практически недоступными для взлома. В случае осуществления попытки незаконного получения доступа к передаваемой информации без ключа дешифровки сами данные будут искажены, так как измерение квантового состояния фотона невозможно без внесения в него изменений. Данный принцип лежит в основе квантовой криптографии.

В 2021–2022 гг. были построены участки квантовой магистральной сети между Москвой и Санкт-Петербургом и Москвой и Нижним Новгородом. Общая протяженность квантовой сети составила 1147 км.

К концу 2024 г. к квантовой сети также должны быть присоединены такие города, как Сочи, Волгоград, Самара, Уфа, Пермь, Екатеринбург, Челябинск и др. В 2025 г. должен быть построен участок от Уфы до Магнитогорска.

Но квантовые сети РЖД – это не только железная дорога. В планах РЖД создать 7000 км первичных квантовых каналов связи к концу 2024 г. и 15 000 км к 2030 г. Реализация проекта позволит защитить данные государства и корпораций и станет важным этапом решения стратегических национальных приоритетов (Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»):

- государственная и общественная безопасность;
- информационная безопасность;
- научно-технологическое развитие.

Для развития квантовых коммуникаций и вычислений правительство совместно с отраслью еще в 2019 г. сформировало соответствующие дорожные карты: «Квантовые вычисления» и «Квантовые коммуникации». На освоение и прикладное применение этих технологий до 2026 г. предусмотрены средства в размере 41 млрд руб., из которых 24 млрд руб. – бюджетные.

Национальные стандарты в области квантовых коммуникаций и квантового интернета вещей

В самом начале работы были затронуты вопросы экономики качества как одного из важнейших направлений экономической науки. Важнейшими инструментами этого научного направления являются метрология, стандартизация, сертификация и контроль качества. Рассуждая об инновационном технологическом развитии, академик В. В. Окрепилов писал: «Высокого качества можно достичь, с одной стороны, постоянным внедрением инноваций, с другой – совершенствованием инструментов управления качеством, одним из которых является стандартизация» [9].

Хорошо понимая, что стандартизация является комплексным инструментом реализации эффективной деятельности по формированию экосистемы и рынка товаров и услуг квантовых коммуникаций, РЖД предложило создать национальные стандарты в области квантовых коммуникаций и квантового интернета вещей.

В 2023 г. Росстандарт утвердил четыре первых предварительных национальных стандарта в области квантовых коммуникаций и квантового интернета вещей:

- ПНСТ 829-2023 «Квантовые коммуникации. Общие положения» приказом от 11 июля 2023 г. № 22-пнст;
- ПНСТ 830-2023 «Квантовые коммуникации. Термины и определения» приказом от 11 июля 2023 г. № 23-пнст;
- ПНСТ 831-2023 «Квантовый интернет вещей. Общие положения» приказом от 11 июля 2023 г. № 24-пнст;
- ПНСТ 832-2023 «Квантовый интернет вещей. Термины и определения» приказом от 11 июля 2023 г. № 25-пнст [10].

Разработка национальных стандартов квантовых коммуникаций ведется в рамках технического комитета по стандартизации № 194 «Киберфизические системы» (ТК 194).

Стандарты призваны обеспечить возможности для продвижения российских технологий, а также позволяют решить проблему совместимости, в результате чего заказчики технологий ИИТ смогут использовать решения и оборудование различных разработчиков и предприятий-изготовителей, проводить корректные испытания решений и оборудования на совместимость и ускорять внедрение технологических решений на промышленных предприятиях как на территории Российской Федерации, так и во всем мире.

Важное значение стандарты имеют и для научного сообщества, поскольку дают возможность сформировать единый подход при проведении научных исследований и систематизировать понятийный аппарат.

Необходимость системной поддержки инновационного развития в железнодорожной отрасли для развития регионов и страны в целом

Вопросы инновационного развития в железнодорожной отрасли, развития национальной нормативной базы, метрологии, систем управления вышеперечисленными процессами, их влияние на развитие регионов России, улучшение качества жизни населения чрезвычайно важны и требуют дополнительного детального изучения. С уверенностью можно сказать, что эпоха больших данных как одного из элементов сквозных цифровых технологий требует совершенно новых подходов к их сбору, хранению, обработке средствами анализа и управлению результатами этого анализа. По данным немецкой компании Statista, специализирующейся на рыночных и потребительских данных, каждый день создается примерно 328,77 млн терабайт данных. Это составляет примерно 2,31 зеттабайта в неделю и 120 зеттабайт в год, и объем информации в мире растет каждый год с экспоненциальной зависимостью. Те предприятия и организации, кто не сможет адаптироваться и уделить должное внимание основам управления данными, столкнутся с серьезными трудностями в конкурентной борьбе и могут даже оказаться на грани выживания. Чтобы не допустить этого, необходимо продолжать фундаментальные и прикладные исследования и формировать условия для более быстрого и эффективного внедрения инновационных продуктов. В рамках федерального проекта «Цифровые технологии» для поддержки только региональных проектов, использующих преимущественно отечественные продукты, сервисы и платформенные решения, созданные на базе сквозных цифровых технологий, из средств федерального бюджета в 2024 г. выделено более 20 млрд руб. Это немало, но и регионам необходимо все больше использовать свои ресурсы и возможности для достижения поставленных государством целей в вопросах технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры, от чего напрямую зависит успешное развитие инновационных проектов в регионах.

Важность ускоренного инновационного развития хорошо понимают и в ОАО «РЖД». В рамках реализации КПИР-2025 в части развития структуры управления инновационной деятельностью в холдинге выстроена система планирования, прогнозирования и формирования приоритетов инновационного и научно-технологического развития. В частности, ежегодно проводится сравнительный анализ холдинга «РЖД» и зарубежных компаний-аналогов по показателям деятельности и применяемым технологиям, а также комплексное сопоставление уровня технологического развития холдинга «РЖД» с зарубежными компаниями-аналогами и анализ влияния сопоставляемых технологий на экономическую эффективность холдинга «РЖД» [1]. Подобные мероприятия помогают своевременно определить те технологии, по которым у компании имеются резервы развития и по которым для сохранения лидирующих позиций требуется особая фокусировка своих усилий. Впервые подобный бенчмаркинг был осуществлен по 26 технологиям при подготовке Комплексной программы инновационного развития холдинга «РЖД» на период до 2025 г. в 2018–2019 гг. Тогда сравнение выявило сопоставимый уровень развития по 17 технологиям и имеющийся резерв по 9 технологиям.

Говоря о развитии регионов и о том влиянии, которое оказывают на это развитие инновации в железнодорожной отрасли, нельзя обойти вниманием и то, как вопрос затрагивает развитие страны в целом. Институт проблем

естественных монополий провел анализ инвестиционной программы ОАО «РЖД» и ее влияния на прямые, косвенные и индуцированные эффекты на экономику РФ и регионы: прирост ВВП; отчисление налогов в федеральный бюджет; отчисление налогов в региональные бюджеты; социальные отчисления. Согласно исследованиям общий эффект на ВВП России от реализации инвестиционной программы ОАО «РЖД» в 2014–2022 гг. составил 9,77 трлн руб., процесс реализации инвестиционной программы ОАО «РЖД» обеспечил среднегодовой вклад в ВВП РФ в размере 1,03 %, из чего можно сделать вывод, что реализация инвестиционной программы ОАО «РЖД» оказывает существенное влияние на социально-экономическое положение России как на федеральном, так и на региональном уровне [11].

Важная роль при внедрении и последующей эксплуатации инновационных технологий на железнодорожном транспорте отводится и системе высшего и среднего образования. Перед ней ставится задача повышения уровня преподавания, создания новых программ обучения для подготовки достаточного количества высококвалифицированных кадров в регионах, без которых невозможно будет пользоваться созданными инновационными продуктами.

Заключение

Инновационное развитие на железнодорожном транспорте направлено на достижение стратегических целей развития России, определенных указами президента и отраженных в стратегических документах развития страны.

Основным инструментом инновационного развития на железнодорожном транспорте является Комплексная программа инновационного развития холдинга «РЖД». Основной тренд инновационного развития РЖД – цифровая трансформация отрасли.

Сравнительный анализ РЖД с компаниями-аналогами показал ряд технологий, по которым холдинг имеет резерв развития. В рамках реализации Комплексной программы инновационного развития холдинга «РЖД» выстроена система планирования, прогнозирования и формирования приоритетов инновационного и научно-технологического развития, которая включает инструменты выработки и корректировки приоритетов на средне- и долгосрочную перспективу. Система позволяет обеспечивать технологическое лидерство и конкурентоспособность холдинга на рынке транспортно-логистических услуг.

Внедрение инноваций на железнодорожном транспорте охватывает практически все регионы России, оказывая существенное положительное влияние на их развитие и на развитие страны в целом.

Опыт инновационного развития ОАО «РЖД» представляется интересным для дальнейшего детального изучения и анализа, и можно предположить, что при соответствующей адаптации имеются основания для успешного его тиражирования в другие отрасли экономики и в сельское хозяйство.

Список литературы

1. Об утверждении паспорта комплексной программы инновационного развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года : распоряжение ОАО «РЖД» № 2274/р от 06.09.2023.
2. IV Железнодорожный съезд. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/72996>

3. Розенберг Е. Н., Абрамов А. А., Батраев В. В. Интервальное регулирование движения поездов // Железнодорожный транспорт. 2017. № 9. С. 19–24.
4. Попов П. А. Безопасность беспилотных поездов. Требования и методы контроля.
5. Перспективные технологии развития отрасли железнодорожного транспорта III квартал 2023 г. / ФГБОУ ВО РГУПС. С. 23–24.
6. ОАО «РЖД». URL: <https://rzdvtv.ru/2023/08/15/cifrovoy-most-cherez-r-kola-gotov-k-tirazhirovaniyu>
7. Портал документации // Inspark IoT Platform. URL: <https://docs.inspark.ru/ru/platform/concept>
8. Перечень типовых отраслевых объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующих в сфере транспорта : [утв. 15.05.2023 заместителем министра транспорта Российской Федерации Д. В. Бакановым].
9. Окрепилов В. В. Перспективы развития стандартизации как инструмента инновационного развития // Проблемы прогнозирования. 2013. № 1. С. 52–62.
10. Каталог национальных стандартов // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational>
11. О вкладе инвестпрограммы ОАО РЖД в экономику РФ // Институт проблем естественных монополий. URL: <https://ipem.ru/content/multiplikativnyy-effekt-investitsiy>

References

1. On approval of the passport of the integrated program of innovative development of the Russian Railways Holding for the period up to 2025: Order of JSC Russian Railways No. 2274/r dated 09/06/2023. (In Russ.)
2. *IV Zheleznodorozhnyy s"ezd = IV Railway Congress*. (In Russ.). Available at: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/72996>
3. Rozenberg E.N., Abramov A.A., Batraev V.V. Interval regulation of train movement. *Zheleznodorozhnyy transport = Rail transport*. 2017;(9):19–24. (In Russ.)
4. Popov P.A. *Bezopasnost' bespilotnykh poezdov. Trebovaniya i metody kontrolya = Safety of unmanned trains. Requirements and methods of control*. (In Russ.)
5. *Perspektivnye tekhnologii razvitiya otrasli zheleznodorozhnogo transporta III kvartal 2023 g. / FGBOU VO RGUPS = Promising technologies for the development of the railway transport industry in the III quarter of 2023 / FGBOU VO RGUPS*. 2023:23–24. (In Russ.)
6. *OAO «RZhD» = JSC "Russian Railways"*. (In Russ.). Available at: <https://rzdvtv.ru/2023/08/15/cifrovoy-most-cherez-r-kola-gotov-k-tirazhirovaniyu>
7. Documentation Portal. *Inspark IoT Platform*. (In Russ.). Available at: <https://docs.inspark.ru/ru/platform/concept>
8. List of typical industry objects of critical information infrastructure operating in the field of transport : [approved 05/15/2023 Deputy Minister of Transport of the Russian Federation D. V. Bakanov]. (In Russ.)
9. Okrepilov V.V. Prospects for the development of standardization as an instrument of innovative development. *Problemy prognozirovaniya = Forecasting problems*. 2013;(1):52–62. (In Russ.)
10. Catalog of national standards. *Federal'noe agentstvo po tekhnicheskoy regulirovaniyu i metrologii (Rosstandart) = Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart)*. (In Russ.). Available at: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational>
11. On the contribution of the investment program of JSC Russian Railways to the economy of the Russian Federation. *Institut problem estestvennykh monopoliy = Institute of Problems of Natural Monopolies*. (In Russ.). Available at: <https://ipem.ru/content/multiplikativnyy-effekt-investitsiy>

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Дмитриевич Шматко

доктор экономических наук, профессор,
профессор Российской академии образования,
директор,
Институт проблем региональной
экономики Российской академии наук
(Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Серпуховская, 38)
E-mail: info@iresras.ru

Aleksey D. Shmatko

Doctor of economical sciences, professor,
professor of RAO, director,
Institute For Regional Economic
Studies RAS
(38 Serpukhovskaya street,
Saint Petersburg, Russia)

Павел Александрович Хильченко

научный сотрудник,
Институт проблем региональной
экономики Российской академии наук
(Россия, г. Санкт-Петербург)
E-mail: hilchenko.pa@tkgse.ru

Pavel A. Hilchenko

Research associate,
Institute For Regional Economic
Studies RAS
(38 Serpukhovskaya street,
Saint Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 04.08.2024

Поступила после рецензирования/Revised 19.08.2024

Принята к публикации/Accepted 24.08.2024

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРАМИ

В. М. Володин¹, Т. Ю. Пащенко², Д. В. Сенаторов³

^{1, 2} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

³ Центр кластерного развития, Пенза, Россия

¹ 7volodin7@mail.ru, ² tania.pashchenko@gmail.com, ³ zam@ckr58.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Результаты исследования системы управления в кластерах всегда вызывают большой интерес у исследователей. Проведена большая аналитическая работа по кластерам Пензенской области. Показаны как сходства, так и различия в отдельных кластерах, где основным из них является единодушное принятие решений, и, наоборот, в практике есть такие, которые больше напоминают другие виды объединений. Актуальность исследования связана с решением задач роста производительного труда, числа рабочих мест, конкурентоспособностью и устойчивостью предприятия, а также с большими проблемами в выстраивании интересов участников кластеров, направленных на повышение конкурентоспособности предприятий. Главный интерес – получение все большей прибыли как объединения в целом, так и каждого в отдельности, а также в устойчивой работе кластеров и предприятий. *Материалы и методы.* В исследовании представлены первичные материалы предприятий и объединений мебельного кластера Пензенской области, а также результаты полученных исследований ведущих специалистов объединений кластеров. Использованы методы кластеризации предприятий и выделения главного звена, формы финансовой поддержки сетевого межрегионального взаимодействия. *Результаты.* Доказано, что интересы предприятий по вхождению в объединения (кластеры) присутствуют. Это связано с устойчивостью работы предприятий, в условиях пандемии и санкций управление в кластерах не порождает антагонистических противоречий в сравнении с другими объединениями, а способствует оперативному воздействию при выявлении проблемных вопросов. *Выводы.* В нормальных условиях кластеры являются эффективной формой управления, однако при решении инновационных проблем динамика их роста остается незначительной. К участию в скачкообразном росте (к которому сегодня готовы только отдельные предприятия) кластер не готов.

Ключевые слова: кластеры, современное управление объединениями, интересы в кластере, современные подходы к созданию кластеров

Для цитирования: Володин В. М., Пащенко Т. Ю., Сенаторов Д. В. Развитие системы управления кластерами // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 43–54. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-4

CLUSTERS: DEVELOPMENT OF MANAGEMENT SYSTEM

V.M. Volodin¹, T.Yu. Pashchenko², D.V. Senatorov³

^{1, 2} Penza State University, Penza, Russia

³ Center for Cluster Development, Penza, Russia

¹ 7volodin7@mail.ru, ² tania.pashchenko@gmail.com, ³ zam@ckr58.ru

Abstract. *Background.* The results of research into control systems in clusters always arouse great interest among researchers. A lot of analytical work has been carried out on

clusters in the Penza region. We saw both similarities and differences in individual clusters, where the main one is unanimous decision-making, and, conversely, in practice there are also those that are more reminiscent of other types of associations. The relevance of the study is related to solving the problems of growth of productive labor, the number of jobs, competitiveness and sustainability of the enterprise. The relevance is associated with major problems in building the interests of cluster participants aimed at increasing the competitiveness of enterprises. Undoubtedly, the main interest is to obtain increasing profits both for the association as a whole and for each individual, as well as in the sustainable operation of clusters and enterprises. *Materials and methods.* The study presents primary materials from enterprises and associations of the furniture cluster of the Penza region, as well as the results of the research obtained from leading specialists of associations, incl. clusters. The work used methods of clustering enterprises and identifying the main link, forms of financial support for network interregional interaction. *Results.* It has been proven that the interests of enterprises in joining associations (clusters) are present. This is due to the sustainability of enterprises, including in the context of a pandemic and sanctions; management in clusters does not give rise to antagonistic contradictions in comparison with other associations, but contributes to operational impact in identifying problematic issues. *Conclusions.* Under normal conditions, clusters are an effective form of management. However, when solving innovative problems, the dynamics of their growth remains insignificant; for participation in leapfrog growth (which today requires only individual enterprises of the association to be ready for it), the cluster as a whole is not ready.

Keywords: clusters, modern management of associations, interests in the cluster, modern approaches to creating clusters

For citation: Volodin V.M., Pashchenko T.Yu., Senatorov D.V. Clusters: development of management system. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):43–54. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-4

Введение

Применительно к условиям России проблемой кластеров занимались такие ученые, как О. Иншаков, Е. Иншакова, В. Королев, Л. Гохберг, Л. Шаховская, А. Бабкин, Е. Терешин, Л. Гамидуллаева и др. [1–11].

Нам интересен подход к развитию кластеров в разработках шведских теоретиков. Их кластерная теория главным образом формируется на структуре национальной экономики и основывается на тезисе Е. Дахмена «о блоках развития» [12].

Основоположник кластерной теории М. Портер [13] в своих исследованиях акцентировал внимание не на экономике в целом, а на определенных отраслях и подотраслях экономики.

Исходя из вышесказанного, целью исследования является поиск факторов эффективного и устойчивого объединения предприятий. Объектом исследования выступает мебельный кластер Пензенской области.

Исходя из основных положений теории М. Портера, следует, что если в регионе есть кластер, то регион обязательно является конкурентоспособным, что не всегда верно в действительности.

Мы считаем целесообразным определить место для кластеров в системе объединений (рис. 1).

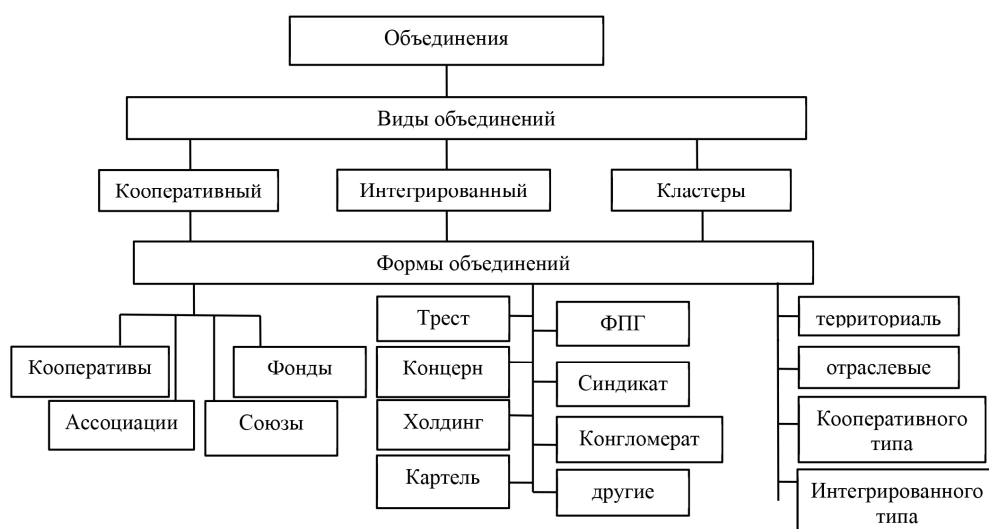


Рис. 1. Классификация объединений

В аналитической части попробуем сделать анализ работы исследуемых кластеров и выделить наиболее значимые для кластеров факторы. Экономическая устойчивость работы кластера в современных условиях носит определяющий характер при реализации интересов участников кластера.

Экономическая устойчивость характеризуется интегральными свойствами кластера: гибкостью производства (как восприимчивостью, так и диверсификацией); конкурентоспособностью при ориентации на новизну и новации; эффективностью коммерческой деятельности в параметрах доходности; финансовой стабильностью.

На основе анализируемых кластеров попытаемся внести предложения по повышению эффективности предприятий в кластерах. Все формы кластеров мы рассмотрим в нескольких публикациях на примере рассматриваемых кластеров (начнем с мебельного кластера), сформируем факторы совершенствования системы управления, выделим точки роста.

Наибольшая концентрация мебельного производства наблюдается в Центральном и Приволжском федеральных округах, на долю которых приходится 69 % всего российского производства мебели.

Пензенская область занимает второе место среди 10 регионов после Московской области по объемам производства мебели в России. По производству мебели для кухни Пензенская область занимает третье место в России, по производству мягкой мебели – шестое место, а по производству мебели на металлическом каркасе – пятое место.

Мебельное производство развито во всех районах Пензенской области. Наибольшая концентрация производителей мебели наблюдается в г. Пензе, г. Кузнецке, Пензенском и Кузнецком районах.

Таким образом, мебельное производство региона сконцентрировано в нескольких районах, что способствовало созданию мебельного кластера.

Ключевые направления мебельного производства в Пензенской области представлены на рис. 2.



Рис. 2. Специализация производителей мебели в Пензенской области

Материалы и методы

В состав Пензенского мебельного кластера наряду с производственными предприятиями входят образовательные организации: ФГБОУ ВО «ПГУАС», ГАПОУ «Пензенский колледж современных технологий переработки и бизнеса», ГАПОУ «Кузнецкий многопрофильный колледж», Центр профессиональной подготовки «ПРАКТИКА», институты развития бизнеса (ООО «ЦКР», ГКУ «ПРОБИ», АО «Корпорация развития Пензенской области») и Министерство экономического развития и промышленности Пензенской области. Структура представлена на рис. 3.

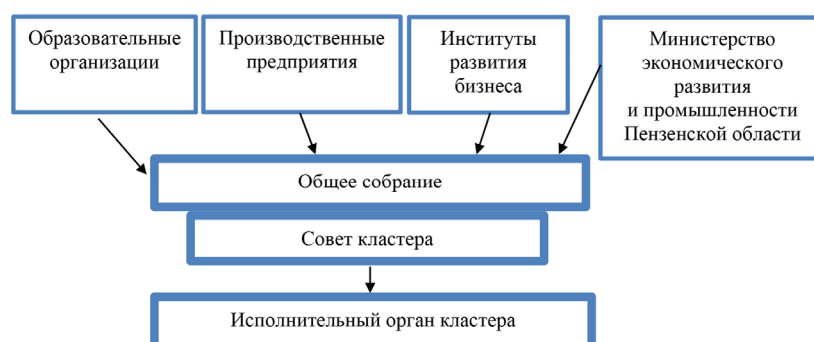


Рис. 3. Структура управления Пензенского мебельного кластера

Высокая концентрация и территориальное обеспечение производственной кооперации между участниками кластера и перспективы ее интенсификации создают предпосылки для реализации совместных проектов.

Все жизненно важные решения принимаются собранием участников (100 % присутствующих).

Базовыми объектами образовательной инфраструктуры выступают ФГБОУ ВО «ПГУАС», ГАПОУ «Пензенский колледж современных технологий переработки и бизнеса», ГАПОУ «Кузнецкий многопрофильный колледж». Образовательные организации ведут подготовку кадров, исследования и разработки в интересах предприятий кластера.

Функционирующие в г. Пензе и Пензенской области бизнес-инкубаторы содействуют развитию инновационных субъектов малого и среднего предпринимательства (МСП), входящих в кластер, посредством предоставления в аренду помещений и специализированного оборудования, оказания услуг

дизайна, а также консультационной помощи по экономическому, финансовому, правовому обеспечению деятельности предприятий кластера. Так, в г. Кузнецке Пензенской области созданы офисно-производственный бизнес-инкубатор «Смирнов» со специализацией поддержки мебельных производств, производственные площади, оснащенные современными деревообрабатывающими станками, производственными принтерами. Общая площадь офисных и производственных помещений инкубатора составляет около 10 тыс. кв. м.

Технология функционирования скоординированной сбытовой сети основана на консолидации товаров в рамках специально созданной торгово-логистической компании. Цель и задачи создания независимой региональной управляющей торгово-логистической компании представлены на рис. 4.

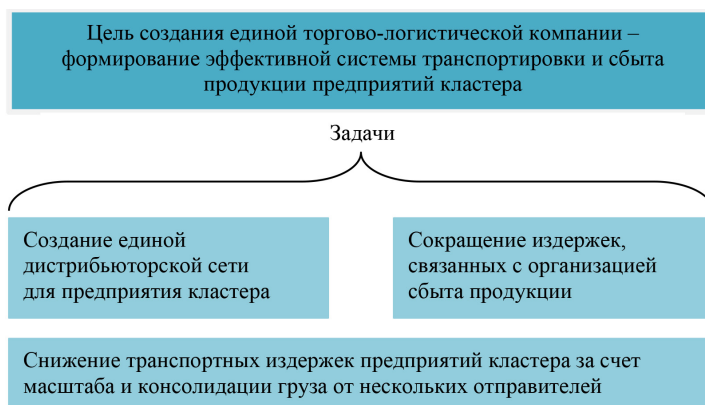


Рис. 4. Цель и задачи создания независимой региональной управляющей торгово-логистической компании кластера

Деятельность торгово-логистической компании связана с принятием на себя функции организатора транспортного процесса, выполнением по поручению и от имени промышленного предприятия всего комплекса работ, связанных с отправлением и получением грузов, т.е. оказанием транспортно-экспедиционных услуг. К задачам торгово-логистической компании относятся организация доставки товара и оказание посреднических услуг сторонним организациям.

Создание специализированной управляющей торгово-логистической компании позволит расширить спектр оказания транспортно-экспедиционных услуг (рис. 5).

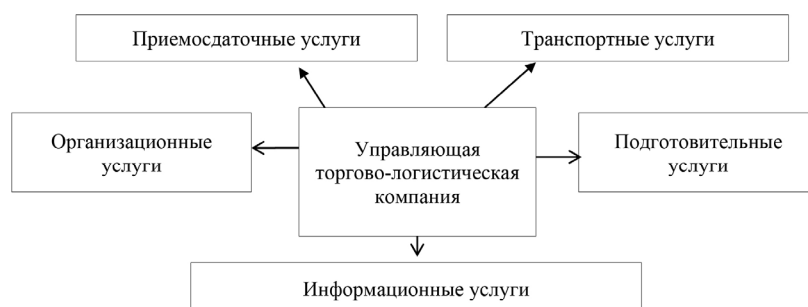


Рис. 5. Услуги, оказываемые управляющей торгово-логистической компанией предприятиям Пензенского мебельного кластера

Основной задачей в области развития кадровой политики кластера является создание условий для обеспечения предприятий деревообработки и мебельного производства квалифицированными специалистами.

Направлениями и целевыми мероприятиями для решения данных задач выступают:

- участие ведущих предприятий кластера в разработке и экспертизе образовательных программ профессионального образования;
- организация площадок для стажировок по формированию навыков инновационного предпринимательства;
- реализация программы финансовой поддержки привлечения на мебельные предприятия региона молодых работников;
- привлечение лучших отечественных и мировых специалистов для регулярного проведения обучающих мероприятий для руководителей и специалистов кластера;
- проведение конкурсов профессионального мастерства для повышения престижа работы в отрасли.

Активная роль в данном направлении отводится профессиональным образовательным учреждениям, готовящим кадры для отрасли: ФГБОУ ВО «ПГУАС», ГАПОУ «Пензенский колледж современных технологий переработки и бизнеса», ГАПОУ «Кузнецкий многопрофильный колледж», Центр профессиональной подготовки «ПРАКТИКА».

Совместно с Центром профессиональной подготовки «ПРАКТИКА» будут реализованы следующие образовательные программы:

- технология проектирования корпусной мебели;
- прием заказов на производство мебели;
- настройка и техническое обслуживание станков с ЧПУ;
- охрана труда и производственная безопасность.

Основные факторы конкурентоспособности продукции предприятий кластера – это качественное обеспечение бизнес-процессов и внедрение на предприятиях новых международных стандартов качества продукции и менеджмента. Другие факторы конкурентоспособности кластера:

- привлекательность цены поставки продукции;
- постоянное повышение качества продукции, подтвержденное многолетним опытом, и наличие постоянных потребителей;
- наличие запаса производственных мощностей, позволяющего оперативно обслуживать крупные заказы;
- широкий и постоянно увеличивающийся ассортимент продукции.

Предпосылками и ресурсной основой развития мебельного кластера являются:

1) удобное с точки зрения логистики географическое положение региона между потенциальными крупными потребителями на западе, востоке и юге. По территории региона проходит семь транспортных коридоров: в областные центры Саратовской, Рязанской, Ульяновской, Тамбовской областей и Республику Мордовия. 80 % – транзитные перевозки. В Пензе пересечение автомобильных федеральных трасс и железнодорожных путей: Центр – Восток и Юг – Север;

2) в регионе активно развивается производство оборудования для мебельной промышленности;

3) ведется подготовка кадров для мебельного производства: вузы г. Пензы, ГАПОУ «Пензенский колледж современных технологий переработки и бизнеса», ГБПОУ «Кузнецкий многопрофильный колледж»;

4) осуществляется поддержка региональными органами власти развития кластеров. Кластерная политика – приоритетное направление промышленного развития Пензенской области. В рамках кластера предприятия получают государственную поддержку по продвижению на российских и зарубежных выставках, участию руководителей и специалистов в образовательных программах, проведению маркетинговых исследований, содействию реализации совместных проектов по развитию и модернизации производства.

Для успешного функционирования кластера, а также организации внутрикластерных проектов используются следующие виды поддержки (табл. 1).

Таблица 1

Из программы поддержки малого и среднего бизнеса Пензенской области

Поддержка в области повышения квалификации кадров	
Министерство образования Пензенской области, ФГБОУ ВО «ПГУАС», ГАПОУ «Пензенский колледж современных технологий переработки и бизнеса», ГАПОУ «Кузнецкий многопрофильный колледж»	Подготовка квалифицированных кадров с начальным профессиональным образованием. Сетевое межрегиональное взаимодействие с учреждениями профессионального образования соответствующего профиля в целях обмена опытом. Информационно-образовательные мероприятия в области инновационных технологий швейного производства. Разработка нормативной документации на новые виды продукции швейного производства
Фонд поддержки предпринимательства Пензенской области	Ведение бухгалтерского и налогового учета, освоение новых рынков сбыта
Центры влияния на внешнеэкономическую деятельность	
Пензенская торгово-промышленная палата	Региональные, межрегиональные выставки и ярмарки. Организация участия предприятий Пензенской области в международных выставках в странах ближнего и дальнего зарубежья
Центр экспорта Пензенской области	Поиск бизнес-партнеров в странах СНГ и дальнего зарубежья. Продвижение продукции предприятий Пензенской области на международных торговых площадках. Организация участия предприятий Пензенской области в международных выставках

Устойчивость работы кластера связана во многом с уверенностью участников в стабильности работы, порой с небольшими темпами роста.

Важное значение отводится совместному планированию ресурсного обеспечения работы объединения (табл. 2, 3).

Таблица 2
Ресурсное обеспечение программы

Наименование мероприятия/проекта	Объем финансирования, млн руб.											
	2022				2023				2024			
	Средства внебюджетных источников	Средства бюджета Пензенской области	Средства федерального бюджета	Итого в 2022 г.	Средства внебюджетных источников	Средства бюджета Пензенской области	Средства федерального бюджета	Итого в 2023 г.	Средства внебюджетных источников	Средства бюджета Пензенской области	Средства федерального бюджета	Итого в 2024 г.
1. Реализация маркетинговой стратегии	1,3	–	0,3	1,6	1,5	–	1,0	2,5	2,0	–	1,0	2,0
2. Реализация логистической стратегии	1,0	–	0,1	1,1	1,0	–	0,1	1,1	10,0	–	–	10,0
3. Реализация кадровой стратегии	0,4	–	0,1	0,5	0,5	–	0,1	0,6	0,5	–	0,1	0,6
									25,0	–	–	25,0
									2,5	–	–	2,5
									Средства внебюджетных источников	Средства бюджета Пензенской области	Средства федерального бюджета	Итого в 2025 г.
									7,3	–	–	7,3
									Средства внебюджетных источников	Средства бюджета Пензенской области	Средства федерального бюджета	Итого
									1,9	–	–	1,9
									0,3	–	–	0,3
									37,0	–	–	37,0
									2,3	–	–	2,3
									9,6	–	–	9,6

Таблица 3

Ключевые показатели эффекта реализации программы

Наименование показателя	Единица измерения	Годы			
		2021	2022	2023	2024
1. Объем товаров и услуг	млн руб.	135	200	250	300
2. Количество рабочих мест на предприятиях МСП – участниках кластера	ед., на конец года	52	100	140	155
3. Количество созданных рабочих мест на предприятиях МСП – участниках кластера	ед., на конец года	10	15	15	20
4. Размер инвестиций предприятий МСП – участников кластера – в новые производственные проекты	млн руб.	5	10	25	25
5. Количество МСП – участников кластера	ед.	10	16	20	22

Результаты

Можно отметить поддержку (небольшого) федерального бюджета.

Исследование показало, что возрастание поддержки повышает интерес к кластерам. Однако создание кластерного фактора за счет вступительных и ежегодных взносов пока в стадии обсуждения – это один из факторов устойчивого роста.

Обсуждение

Для современной России актуальность концепции кластеров несомненна. М. Портер предлагает постоянно выявлять кластеры, помогать их становлению, развивать и поддерживать на всех уровнях управления.

По М. Портеру, способность конкурировать зависит от роста микроэкономического потенциала страны и усиления конкуренции между фирмами [14–15].

В Пензенской области и в Российской Федерации в целом, к сожалению, не все кластеры демонстрируют эффективность функционирования.

В свою очередь, как показало исследование, в мебельном кластере постоянно идет согласование выпуска новой продукции с целью минимизации внутренней конкуренции, делается упор на внешнюю конкурентоспособность (за пределами региона), а также разработку в экспортном исполнении.

Заключение

В кластере не возникает вопросов, по которым нет единодушного решения, но они могут появиться. Практика их решения будет видна в других кластерах.

При рассмотрении неформальных объединений интерес участников к данной форме, которая призвана ежедневно оказывать содействие по определенному алгоритму управления предприятием. В рассматриваемом объединении противоречий в управлении не выявлено. У всех участников кластера единая цель – укреплять связи как сегодня, так и в будущем.

Одной из особенностей рассматриваемого кластера является равномерное распределение предприятий по районам области, что уменьшает транзакционные издержки.

Список литературы

1. Иншаков О. В., Иншакова Е. И. Политика инновационной кластеризации на основе государственно-частного партнерства в современной России // Вестник Волгоградского государственного университета. 2016. № 3 (36). С. 79–93.
2. Королев В. И. Инновационные территориальные кластеры: зарубежный опыт и российские условия // Российский внешнеэкономический вестник. 2013. № 1. С. 20–27. URL: [http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/\\$file/20-27.pdf](http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/$file/20-27.pdf)
3. Абашкин В. Л., Куценко Е. С., Рудник П. Б. [и др.]. Методические материалы по разработке и реализации программ развития инновационных территориальных кластеров и региональной кластерной политике / науч. ред. Л. М. Гохберг, А. Н. Клепач, П. Б. Рудник [и др.] ; Минэкономразвития России, Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М. : НИУ ВШЭ, 2016. С. 20. URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/212169934>
4. Шаховская Л. С., Гончарова Е. В. Особенности инфраструктурной организации региональных инновационных кластеров // Экономика и управление: теория и практика. 2020. Т. 6, № 4. С. 67–78. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42903912_19351785.pdf
5. Королев В. И. Инновационные территориальные кластеры: зарубежный опыт и российские условия // Российский внешнеэкономический вестник. 2013. № 1. С. 20–27. URL: [http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/\\$file/20-27.pdf](http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/$file/20-27.pdf)
6. Терешин Е. М., Володин В. М. Современная дефиниция понятия «кластер» и подходы к формализации этого явления // Экономические науки. 2010. № 63.
7. Терешин Е. М., Володин В. М. Координация и системно-синергетический подход к координации в кластерах // Экономические науки. 2010. № 65.
8. Бабкин А. В., Батукова Л. Р. Концептуальные основы многомерного системного моделирования механизма устойчивого ESGC-развития киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 3 (47). С. 17–37. doi: 10.21685/2227-8486-2023-3-2 EDN: JHEPJR
9. Гамидуллаева Л. А., Страхов Е. П. Эволюция концепции кластерного развития: от агломерационной теории к экосистемам // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2023. Т. 14, № 1. С. 106–125. doi: 10.18184/2079-4665.2023.14.1.106-125 EDN: ZVXPJN
10. Гамидуллаева Л. А. Промышленный кластер региона как локализованная экосистема: роль факторов самоорганизации и коллаборации // π-Economy. 2023. Т. 16, № 1. С. 62–82. doi: 10.18721/JE.16105 EDN: WHMFFY
11. Гамидуллаева Л. А., Страхов Е. П., Ржевская Т. А. Систематизация факторов кластеризации хозяйствующих субъектов с позиции жизненного цикла кластера // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 4 (44). С. 5–31. doi: 10.21685/2227-8486-2022-4-1 EDN: OEFXXY
12. Dahmen E. Entrepreneurial Activity and the Development of Swedish Industry, 1919–1939. Stockholm, 1950.
13. Porter M. E. The Competitive Advantage of Nations: With a New Introduction. New York : The Free Press, 1990.
14. Портер М. Конкуренция. М. : Вильямс, 2005. 602 с.
15. Портер М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость : пер. с англ. 2-е изд. М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. 715 с.

References

1. Inshakov O.V., Inshakova E.I. The policy of innovative clustering based on public-private partnership in modern Russia. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Volgograd State University*. 2016;(3):79–93. (In Russ.)
2. Korolev V.I. Innovative territorial clusters: foreign experience and Russian conditions. *Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik = Russian Foreign Economic Bulletin*. 2013;(1):20–27. (In Russ.). Available at: [http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/\\$file/20-27.pdf](http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/$file/20-27.pdf)
3. Abashkin V.L., Kutsenko E.S., Rudnik P.B. et al. *Metodicheskie materialy po razrabotke i realizatsii programm razvitiya innovatsionnykh territorial'nykh klasterov i regional'noy klasternoy politike = Methodological materials on the development and implementation of programs for the development of innovative territorial clusters and regional cluster policy*. Moscow: NIU VShE, 2016:20. (In Russ.). Available at: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/212169934>
4. Shakhovskaya L.S., Goncharova E.V. Features of the infrastructural organization of regional innovation clusters. *Ekonomika i upravlenie: teoriya i praktika = Economics and Management: theory and practice*. 2020;6(4):67–78. (In Russ.). Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_42903912_19351785.pdf
5. Korolev V.I. Innovative territorial clusters: foreign experience and Russian conditions. *Rossiyskiy vneshneekonomicheskiy vestnik = Russian Foreign Economic Bulletin*. 2013;(1):20–27. (In Russ.). Available at: [http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/\\$file/20-27.pdf](http://www.rfej.ru/rvv/id/50045d15c/$file/20-27.pdf)
6. Tereshin E.M., Volodin V.M. The modern definition of the concept of "cluster" and approaches to the formalization of this phenomenon. *Ekonomicheskie nauki = Economic sciences*. 2010;(63). (In Russ.)
7. Tereshin E.M., Volodin V.M. Coordination and system-synergetic approach to coordination in clusters. *Ekonomicheskie nauki = Economic sciences*. 2010;(65). (In Russ.)
8. Babkin A.V., Batukova L.R. Conceptual foundations of multidimensional system modeling of the mechanism of sustainable ESG development of a cluster-type cybersocial industrial ecosystem. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(3):17–37. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-3-2 EDN: JHEPJR
9. Gamidullaeva L.A., Strakhov E.P. Evolution of the concept of cluster development: from agglomeration theory to ecosystems. *MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie) = MID (Modernization. Innovation. Development)*. 2023;14(1):106–125. (In Russ.). doi: 10.18184/2079-4665.2023.14.1.106-125 EDN: ZVXPJN
10. Gamidullaeva L.A. The industrial cluster of the region as a localized ecosystem: the role of factors of self-organization and collaboration. *π -Economy*. 2023;16(1):62–82. (In Russ.). doi: 10.18721/JE.16105 EDN: WHMFFY
11. Gamidullaeva L.A., Strakhov E.P., Rzhetskaya T.A. Systematization of clusterization factors of economic entities from the perspective of the cluster life cycle. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(4):5–31. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2022-4-1 EDN: OEFXXY
12. Dahmen E. *Entrepreneurial Activity and the Development of Swedish Industry, 1919–1939*. Stockholm, 1950.
13. Porter M.E. *The Competitive Advantage of Nations: With a New Introduction*. New York: The Free Press, 1990.
14. Porter M. *Konkurentsiya = Competition*. Moscow: Vil'yams, 2005:602. (In Russ.)
15. Porter M. *Konkurentnoe preimushchestvo: kak dostich' vysokogo rezul'tata i obespechit' ego ustoychivost': per. s angl. 2-e izd. = Competitive advantage: how to achieve a high result and ensure its sustainability: trans. from English 2nd ed.*. Moscow: Al'pina Biznes Buks, 2006:715. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Виктор Михайлович Володин

доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры социологии
и экономической теории
и международных процессов,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: 7volodin7@mail.ru

Viktor M. Volodin

Doctor of economical sciences, professor,
professor of the sub-department
of sociology, economic theory
and international processes,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Татьяна Юрьевна Пашченко

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры экономики и финансов,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tania.pashchenko@gmail.com

Tatyana Yu. Pashchenko

Candidate of economical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department
of economics and finance,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Дмитрий Викторович Сенаторов

кандидат экономических наук,
врио генерального директора,
Центр кластерного развития
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 2)
E-mail: zam@ckr58.ru

Dmitry V. Senatorov

Candidate of economical sciences,
acting CEO,
Center for Cluster Development
(2 Volodarsky street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 25.06.2024

Поступила после рецензирования/Revised 10.07.2024

Принята к публикации/Accepted 12.07.2024

АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ НА ЭТАПЕ ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ

С. В. Зинченко

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
slatynova@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Исследование направлений трансформации логистических процессов, связанных с развитием электронной коммерции и изменением потребительских привычек, позволило определить, что логистика на этапе последней мили является одним из самых важных и в то же время сложных звеньев в управлении цепями поставок современных организаций. От эффективности управления логистикой на этапе последней мили зависят качество клиентского опыта и позиция организации среди конкурентов, что и обусловило актуальность данного исследования, целями которого являются изучение структуры рынка логистики на этапе последней мили и определение основных игроков, выявление тенденций развития рынка, исследование особенностей, проблем его функционирования и аспектов управления логистикой на этапе последней мили. *Материалы и методы.* Методологическую базу исследования составили общенаучные и специальные методы. Были использованы методы сбора, обработки и анализа данных о развитии рынка электронной коммерции в Российской Федерации, методы сравнения и обобщения информации, анализа и синтеза, вторичные и первичные маркетинговые исследования. Информационной базой исследования послужили результаты научных и маркетинговых исследований рынка электронной коммерции, публикации экспертов, аналитические отчеты исследовательских компаний «Data Insight», «Shoppers», «КНОРУС КОНСАЛТИНГ», данные интернет-магазинов и маркетплейсов, сервисов доставки, собственные исследования автора. *Результаты.* Было рассмотрено устройство рынка логистики на этапе последней мили, выявлены произошедшие на российском рынке логистики последней мили изменения, основные тенденции, направления и проблемы его развития, а также предложены актуальные решения. Выделено несколько определяющих аспектов, влияющих на процесс управления логистикой на этапе последней мили: рост рынка электронной коммерции и трансформация запросов онлайн-потребителей к организации доставки продукции на этапе последней мили; усложнение и цифровая трансформация логистических процессов, появление новых игроков рынка и развитие коллабораций, экологизация логистики последней мили в контексте политики устойчивого развития. *Выводы.* Логистика на этапе последней мили является одним из самых ресурсоемких звеньев в цепочке поставок. Для осуществления эффективного управления логистическими бизнес-процессами на этапе последней мили организациям необходимо учитывать различные аспекты: организационные, конкурентные, ценностные, технологические и экологические.

Ключевые слова: логистика для электронной торговли, логистика последней мили, электронная коммерция, предпочтения онлайн-потребителей, доставка продукции

Для цитирования: Зинченко С. В. Аспекты управления логистикой на этапе последней мили // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 55–70. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-5

ASPECTS OF LOGISTICS MANAGEMENT AT THE LAST MILE STAGE

S.V. Zinchenko

Penza State University, Penza, Russia
slatynova@mail.ru

Abstract. *Background.* A study of the directions of transformation of logistics processes associated with the development of e-commerce and changes in consumer habits made it possible to determine that logistics at the last mile stage is one of the most important and at the same time complex links in supply chain management of modern organizations. The quality of customer experience and the organization's position among competitors depend on the effectiveness of logistics management at the last mile stage, which determines the relevance of this research. The purpose of the study is to study the structure of the logistics market at the last mile stage and identify the main players, identify market development trends, study the features, problems of its functioning and aspects of logistics management at the last mile stage. *Materials and methods.* The methodological basis of the study consisted of general scientific and special methods. The work used methods for collecting, processing and analyzing data on the development of the e-commerce market in the Russian Federation, methods for comparing and summarizing information, analysis and synthesis, secondary and primary marketing research. The information base for the study was the results of scientific and marketing research of the e-commerce market, expert publications, analytical reports from research companies Data Insight, Shoppers, KNORUS CONSULTING, data from online stores and marketplaces, delivery services, and the author's own research. *Results.* As a result of the research, the structure of the logistics market at the last mile stage was examined, changes that occurred in the Russian last mile logistics market, the main trends, directions and problems of its development were identified, and current solutions were proposed. Several defining aspects have been identified that influence the process of logistics management at the last mile stage: the growth of the e-commerce market and the transformation of online consumer requests for organizing product delivery at the last mile stage; increasing complexity and digital transformation of logistics processes, the emergence of new market players and the development of collaborations, greening last-mile logistics in the context of sustainable development policies. *Conclusions.* Last mile logistics is one of the most resource-intensive parts of the supply chain. To effectively manage logistics business processes at the last mile stage, organizations need to take into account various aspects – organizational, competitive, value, technological and environmental.

Keywords: e-commerce logistics, last mile logistics, e-commerce, online consumer preferences, product delivery

For citation: Zinchenko S.V. Aspects of logistics management at the last mile stage. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):55–70. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-5

Введение

Развитие логистики последней мили обусловлено стремительным ростом электронной коммерции в мире и в России, который значительно ускорился в период пандемии и продолжается в настоящее время. Согласно исследованиям компании Data Insight, в 2023 г. объем продаж на рынке электронной коммерции в России достиг 7,7 трлн руб. и вырос на 49 %. За 2023 г. было

совершено 5,15 млрд заказов, что на 80 % больше, чем в 2022 г. Эксперты компании Data Insight прогнозируют, что далее рост объема продаж на рынке электронной коммерции в России продолжится, но замедлится из-за снижения темпов роста количества заказов и составит:

- в 2024 г. – 38 %, объем рынка достигнет 10,6 трлн руб., количество заказов увеличится на 42 % – до 7,38 млрд шт.;
- в 2025 г. – 26 %, объем рынка достигнет 13,5 трлн руб., количество заказов увеличится на 27 %;
- в 2026 г. – 18 %, объем рынка достигнет 15,9 трлн руб., количество заказов увеличится на 17 %;
- в 2027 г. – 14 %, объем рынка достигнет 18,2 трлн руб.;
- в 2028 г. – 12 %, объем рынка достигнет 20 трлн руб.

На рис. 1, 2 представлена динамика объема и количества заказов по данным компании Data Insight по состоянию на март 2024 г. [1–3].

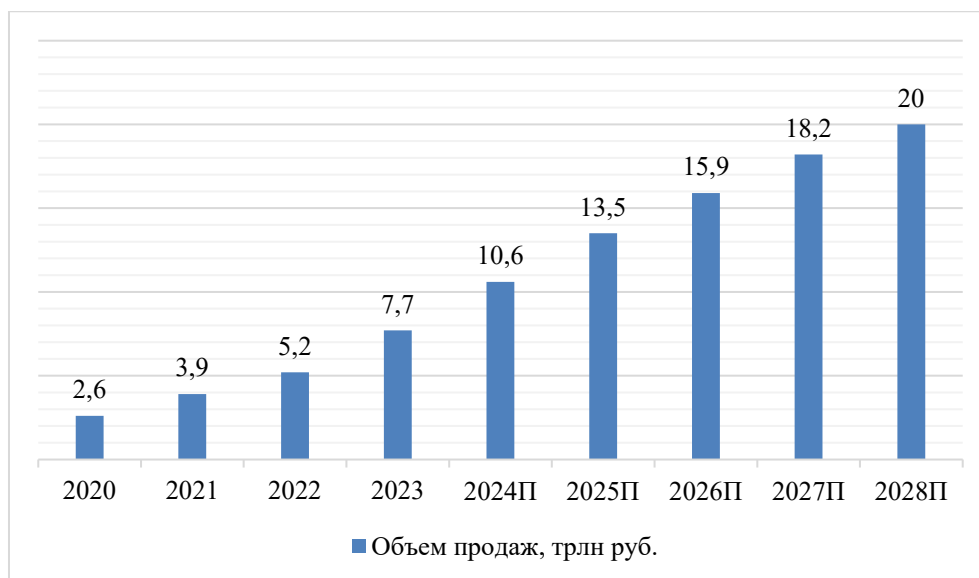


Рис. 1. Динамика объема продаж на рынке электронной коммерции в России

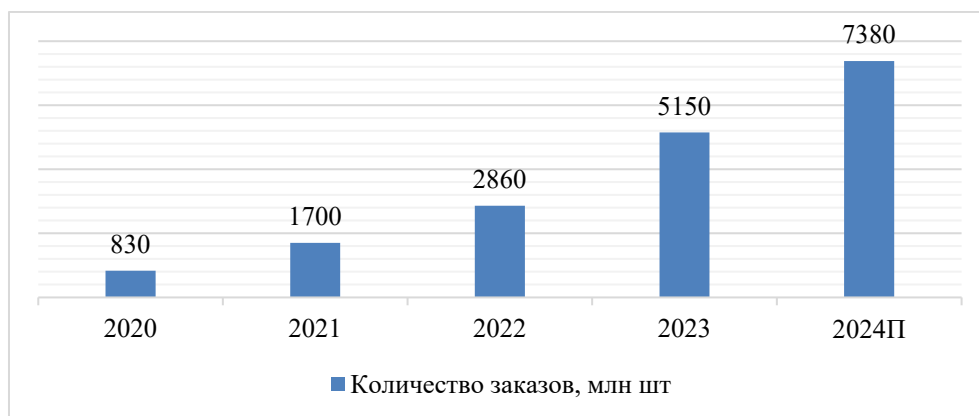


Рис. 2. Динамика количества заказов на рынке электронной коммерции в России

Основной рост рынка электронной коммерции связан с увеличением объемов продаж на маркетплейсах и в интернет-магазинах, которые предлагают широкий спектр товаров и услуг как для конечных потребителей, так и для бизнеса. В рейтинге топ-100 крупнейших российских интернет-магазинов в 2023 г. лидировали Wildberries, Ozon, «Яндекс Маркет», «Мегамаркет», DNS, «Самокат», «ВсеИнструменты.ру», «Ситилинк», «Сбермаркет» и «ВкусВилл» (табл. 1) [4].

Таблица 1

Топ-10 крупнейших российских маркетплейсов и интернет-магазинов

Интернет-магазин/ маркетплейс	Категория	Онлайн- продажи, млн руб.	Рост онлайн-продаж, %	Заказы, тыс. шт.	Рост заказов, %	Средний чек, руб.	Рост среднего чека, %
1. wildberries.ru	Универсальные магазины	2 143 700	73	2 976 200	104	720	–15
2. ozon.ru	Универсальные магазины	1 566 400	103	932 500	105	1680	–1
3. market.yandex.ru	Универсальные магазины	370 600	57	98 700	101	3750	–22
4. megamarket.ru	Универсальные магазины	312 700	417	43 300	199	7220	73
5. dns-shop.ru	Электроника и техника	239 400	17	17 100	5	14 000	11
6. samokat.ru	FMCG	159 900	111	190 600	58	840	33
7. vseinstrumenti.ru	Товары для дома	151 600	56	21 900	47	6920	6
8. citilink.ru	Электроника и техника	151 200	2	9 100	–16	16 600	23
9. sbermarket.ru	FMCG	127 100	50	55 400	68	2290	–11
10. vkusvill.ru	FMCG	126 600	53	98 800	53	1280	0

Одновременно с ростом количества онлайн-платформ и в целом рынка электронной коммерции растет и число покупателей как среди молодежи, так и людей 50+, меняющиеся потребности которых стимулируют развитие новых сервисов, в том числе логистических, особенно на этапе последней мили. Многие онлайн-ритейлеры фокусируют свое внимание на решении проблем логистики последней мили, видя в ней возможности для роста бизнеса и дифференциации от конкурентов. Целями данной работы являются изучение структуры рынка логистики на этапе последней мили и определение основных игроков, выявление тенденций развития рынка, исследование особенностей его функционирования и аспектов управления логистикой на этапе последней мили, включающих организационные, конкурентные, ценностные, технологические и экологические аспекты.

Для достижения поставленной цели были изучены работы ученых А. У. Альбекова, Т. В. Пархоменко, А. А. Полуботко, Д. Дедкова, О. М. Дюковой,

Е. Д. Караваевой, Н. С. Селиверстовой, Р. А. Сабитова, Г. С. Смирновой, К. В. Симонова, С. Г. Холмовского и др. [5–11], в которых рассматриваются вопросы стремительного развития рынка электронной коммерции в России, роста количества онлайн-заказов, что привело к трансформации рынка российской логистики для интернет-торговли, появлению новых игроков на рынке, трансформации функций логистических служб. Исследователи подчеркивают, что логистика становится важным элементом формирования потребительской ценности продукции на рынке электронной коммерции.

Были проанализированы работы Е. В. Вирячевой, М. Г. Трейман, А. А. Курочкиной, Е. В. Шевчук, Т. В. Бикезиной, Г. Г. Левкина, Р. Ж. Скакова, А. В. Мазуриной, Т. В. Степановой, О. В. Плесской, М. Н. Белоусовой, В. В. Бахарева, А. Д. Лычаковой [12–17], в которых авторами рассматриваются тренды и перспективы развития логистики последней мили на рынке электронной коммерции, раскрываются аспекты организации бизнес-процессов для реализации логистических операций на этапе последней мили, выявляются актуальные тенденции и проблемы логистики последней мили. Особое внимание ученые уделяют вопросам цифровой трансформации и экологизации логистических процессов на этапе последней мили, а также подчеркивают, что управление логистикой на этапе последней мили является важным направлением улучшения клиентского опыта и повышения потребительской ценности продукции, что делает исследование научно и практически значимым.

Материалы и методы

Современная цепь поставок – это система процессов и объектов (ее звеньев), обеспечивающая движение материальных, информационных, финансовых и сервисных потоков от поставщиков до конечных потребителей [18]. Она начинается с доставки сырья производителям и заканчивается доставкой готовой продукции потребителю. Последняя миля – завершающий этап цепи поставок, предполагающий доставку продукции непосредственно до конечного потребителя в конкретное место в нужное время и в требуемом количестве. В целом в практике логистической деятельности выделяют:

- логистику первой мили, предполагающую доставку продукции от производителя на основной распределительный склад;
- логистику средней мили, предполагающую доставку продукции со склада в региональный распределительный центр;
- логистику последней мили, предполагающую доставку из регионального распределительного центра до конечного клиента.

Этап последней мили в логистике – один из заключительных этапов Карты пути клиента, влияющий на качество формирования клиентского опыта и уровень удовлетворенности клиентов и при этом являющийся одним из самых дорогостоящих и сложных звеньев в цепи поставок. По данным аналитиков, до 75 % затрат в цепочке поставок приходится на логистику последней мили, что делает ее одним из самых дорогих [19, 20] и в то же время одним из самых сложных звеньев в цепочке поставок. Так, согласно данным компании Pim Solutions, для 67 % организаций разных отраслей и сфер деятельности управление логистикой на этапе последней мили является существенной проблемой [21, 22]. Скорость доставки и качество сервиса на этапе последней мили должно соответствовать ожиданиям клиентов, которые готовы

доплачивать за доставку в тот же день. Таким образом, в условиях развития электронной коммерции, необходимости быстрого выполнения заказов, повышения требований потребителей к удобству взаимодействия и персонализации доставки именно этап последней мили в цепи поставок испытывает огромное давление и требует от бизнеса внедрения новых технологий и сервисов с целью повышения потребительской ценности конечной продукции, что вызывает особый интерес к исследованиям современных практик и методов управления логистикой на этапе последней мили, выявлению актуальных проблем и определению путей их решения.

Методологическую базу исследования составили общенаучные и специальные методы. В работе были использованы методы сбора, обработки и анализа данных о развитии рынка электронной коммерции в Российской Федерации, методы сравнения и обобщения информации, анализа и синтеза, вторичные и первичные маркетинговые исследования.

Информационной базой исследования послужили результаты научных и маркетинговых исследований рынка электронной коммерции, публикации экспертов, аналитические отчеты исследовательских компаний Data Insight, Shoppers, «КНОРУС КОНСАЛТИНГ», данные интернет-магазинов и маркетплейсов, сервисов доставки, собственные исследования автора.

Результаты

В последние годы в России произошли существенные изменения в организации бизнес-процессов и распределении функций между участниками логистических операций на этапе последней мили, что обусловлено развитием электронной коммерции и ускорением движения продукции по цепи поставок.

Ранее доставку продукции на этапе последней мили в основном осуществляли курьерские службы, или заказ можно было получить в отделении «Почты России». На современном этапе развития рынка вариантов стало гораздо больше. У покупателей есть возможность получить заказ разными способами и в разных местах. На современном российском рынке логистики последней мили представлено множество организаций разного профиля и размера, а также используются различные места хранения и форматы доставки продукции до клиента (рис. 3).



Рис. 3. Устройство рынка логистики на этапе последней мили (составлено автором)

Рассмотрим устройство рынка логистики на этапе последней мили подробнее. Основные места хранения и выдачи онлайн-заказов представлены следующими сегментами и игроками рынка:

1. Дарксторы – небольшие локальные склады, закрытые от покупателей, в которых хранится продукция, распределенная по зонам хранения с учетом определенных требований. После поступления и оплаты заказа покупателем сборщики собирают заказ в дарксторе и передают курьеру, который доставляет его покупателям. Как правило, дарксторы размещаются в жилых кварталах городов и обслуживают небольшую территорию, в пределах которой можно доставлять заказы покупателям за 15 мин [20]. Согласно прогнозам аналитиков на 2024 г., количество дарксторов в Российской Федерации продолжает расти, оно представлено дарксторами компаний «Самокат» (2000+ дарксторов), «Яндекс.Лавка» (500+ дарксторов), «ВкусВилл» (150+ дарксторов), «Перекресток», «Пятерочка», «Магнит», Ozon и др. [23–25].

2. Постаматы (локеры) – автоматизированные терминалы для выдачи онлайн-заказов покупателям, откуда продукция забирается ими самовывозом. По данным компании PickPoint, более 15 % покупателей готовы получать онлайн-заказы через постаматы [20], чему способствует увеличение плотности установки терминалов и их удобное расположение в отделениях сетевых организаций, корнерах торговых центров, на кассах офлайн-магазинов, в жилых зданиях, офисах, университетах, расширение их географической представленности, режим работы 24/7. По данным ежегодного рейтинга компании Ecomhub, в сентябре 2023 г. в России было представлено 37 546 постаматов разных организаций [26], на 2024 г. наблюдается тенденция к сокращению количества постаматов, в частности в крупных городах на 8 % [27]. Одновременно на рынке появляются новые типы постаматов: продуктовые, почтовые, мобильные, крупногабаритные. Собственные постаматы есть у таких организаций, как «СберЛогистика», 5Post, «Почта России», «Халва», CDEK, Ozon, «Яндекс Маркет» [28].

3. Пункты выдачи заказов (ПВЗ) – это места, откуда покупатели могут самостоятельно забрать онлайн-заказы, предполагающие наличие обслуживающего персонала. С ростом рынка электронной коммерции растет и количество ПВЗ. По разным оценкам, сейчас на рынке их представлено от 100 до 150 тыс. по всей стране [29], на конец марта 2024 г. у Ozon работало 50 тыс. ПВЗ, у Wildberries – более 37 тыс. ПВЗ в России. Несмотря на то, что темпы открытия ПВЗ замедляются вместе с падением их рентабельности, остается потенциал для их открытия в малых городах и отдаленных населенных пунктах [30].

4. «Почта России» – крупный логистический оператор с развитой инфраструктурой почтовых отделений (более 42 000 отделений [20]) по всей Российской Федерации. Именно широкая географическая представленность и количество отделений делают «Почту России» важным игроком рынка логистики последней мили, предлагающим разные форматы доставки: до отделений, до двери, в собственные почтоматы и партнерские ПВЗ [31].

5. Офлайн-магазины или шоурумы – места выдачи онлайн-заказов после их оплаты покупателями, располагающиеся в точках офлайн-продаж интернет-магазинов, маркетплейсов или в магазинах офлайн-партнеров. Например, доставка возможна на кассы офлайн-магазинов.

Перечисленные места хранения и выдачи онлайн-заказов могут принадлежать как логистической компании-партнеру, так и самому интернет-магазину или маркетплейсу. В последние годы отмечается рост числа коллабораций и партнерств на рынке логистики последней мили, когда компании меньшего размера объединяются с крупными игроками рынка и делят с ними курьеров, транспорт, ПВЗ, постаматы [32].

Отличаются и способы доставки продукции до покупателей, когда могут использоваться следующие:

1. Доставка курьерской службой. Курьеры могут забирать онлайн-заказы не только со складов магазинов или производителей, но и из мест промежуточного хранения: дарксторов, ПВЗ, отделений «Почты России», офлайн-точек. Согласно исследованию компании «Авито Услуги», в 2024 г. спрос на услуги курьеров в Российской Федерации значительно вырос (+123 %), свои курьерские службы есть у всех крупных маркетплейсов [33].

2. Самовывоз, который по-прежнему остается одним из самых популярных способов доставки в России. Особенно популярен самовывоз у клиентов ПВЗ, расположенных в удобном месте, а также для товаров, требующих примерки.

С развитием технологий меняются и форматы доставки, среди которых можно выделить:

- 1) «доставку по запросу» («on demand»), позволяющую покупателю самостоятельно выбрать удобный день и интервал доставки;

- 2) «доставку по клику», когда заказ заранее приезжает на городской мини-склад (даркстор) близко к конечному адресу, а покупатель в дальнейшем сам решает, когда принять доставку, в удобный момент вызывая курьера;

- 3) «срочную доставку» в день заказа (от 15 мин до нескольких часов в зависимости от сервиса), которая, как правило, возможна за счет доставки в ограниченном радиусе через сеть дарксторов или офлайн-партнеров;

- 4) «специализированную доставку», предполагающую работу специализированных служб доставки грузов, для перевозки которых требуются особые условия или лицензии (крупногабаритных, скоропортящихся, опасных грузов, лекарств и т.п.).

Логистика на этапе последней мили – самое ресурсоемкое и ответственное звено в цепочке поставок. Для организации эффективных логистических бизнес-процессов на этапе последней мили организациям необходимо осуществлять постоянный мониторинг изменений на рынке, выявлять новые тенденции и тренды, понимать особенности функционирования рынка, среди которых можно выделить следующие:

1. С ростом рынка электронной коммерции и в условиях трансформации запросов онлайн-потребителей доставка становится частью продукта и определяет его потребительскую ценность [34]. Возможность бесплатной доставки, выбора удобного места и интервала доставки, сокращение времени доставки (до 15 мин) становится серьезным конкурентным преимуществом современных компаний. Кроме того, этап последней мили – это связующее звено, объединяющее бренд с клиентом, где часто происходит последний, а иногда и единственный физический контакт с покупателем. От него во многом зависит уровень удовлетворенности клиента. На этом этапе покупатели часто отмечают следующие проблемы: недостаточно вежливое общение со стороны

курьера, непунктуальность (опоздание или слишком ранняя доставка), отсутствие уведомлений о времени доставки и другие проблемы, решение которых позволит повысить качество обслуживания. Так, эксперты выделяют следующие ключевые требования интернет-магазинов и маркетплейсов к логистическим партнерам, обусловленные запросами клиентов: скорость и пунктуальность, гибкость и адаптивность, возможность дополнительных услуг (возврат, примерка, доставка в выходные, в ночное время), географический охват и, наконец, способность представлять торговую марку или бренд [20].

2. Мультикатегорийность (мультимодальность) становится обязательной функцией доставки на этапе последней мили. С развитием электронной коммерции стирается грань между категориями ритейла. В одной покупательской корзине могут лежать мороженое, корм для животных, цветы. Это усложняет работу логистических служб, так как для доставки разных продуктов требуются свои условия и регламенты. Задача группировки грузов для логистов значительно усложняется, им требуется объединить несколько разных заказов или лучшим образом спланировать несколько точек получения и выдачи на маршруте следования курьера.

3. Гиперлокальность логистики на этапе последней мили, которая вызвана необходимостью быстрой доставки грузов, чему способствует открытие дарксторов, ПВЗ, постаматов в максимальном количестве районов городов.

4. Из-за сложности бизнес-процессов доставка на последней миле становится в большей степени ИТ-продуктом, предполагающим использование информационных систем, специализированных программных продуктов, модулей маршрутизации, предиктивных алгоритмов. Процессы, связанные с последней милей, с каждым годом становятся все сложнее, так как именно здесь появляется множество деталей и сложностей в ответ на запросы клиентов. Узкий интервал доставки, доставка 24/7, мультимодальность, гиперлокальность, персонализация доставки создают необходимость планировать маршрут курьеров в разные периоды времени, в том числе в «час пик», ночное время, вызывают сложности организации взаимодействия с клиентами, требуют использования различных видов транспорта: автомобилей, велосипедов, самокатов и т.п. Организации стремятся сокращать длину маршрута на последней миле, объединять усилия разных логистических операторов и вступать в коллаборации. В ряде компаний логистические функции на этапе последней мили передаются роботам: роверам, дронам и беспилотным автомобилям. Управлять такими сложными и многочисленными логистическими бизнес-процессами возможно только с использованием специализированного программного обеспечения [35].

5. Экологизация логистики становится ответом на требования потребителей, инвесторов, изменения законодательства. Так, с ростом популярности сервисов доставки, увеличением интенсивности использования транспортных средств в городских пространствах логистическим организациям уделяется серьезное внимание в части соответствия их деятельности принципам устойчивого развития [17].

Таким образом, логистика на этапе последней мили становится высокобюджетным направлением деятельности современных организаций, что требует от них повышения ее эффективности и оптимизации с целью снижения операционных затрат. Для этого необходимо:

- исследовать запросы клиентов относительно доставки продукции;
- оценить собственные ресурсы и возможности организации выполнять логистические функции;
- разработать логистическую стратегию с четким обещанием клиенту (от англ. «Customer Value Proposition, CVP») и описанием потребительской ценности, в том числе в части доставки, по которому клиент может легко сопоставить условия, которые предлагает организация, со своими желаниями и потребностями и понять, подходит ему предложение или нет;
- спроектировать модель цепей поставок на этапе последней мили, которая будет поддерживать озвученное обещание, формировать потребительскую ценность и которая предполагает определение логистической инфраструктуры (складские центры, дарксторы, ПВЗ, постаматы, офлайн-точки), выбор транспорта, программного продукта, использование предиктивной аналитики, и убедиться в экономической эффективности модели;
- определить, какие логистические функции организация будет выполнять самостоятельно, а какие будут переданы на аутсорсинг, и выбрать логистических партнеров;
- организовать процесс доставки на этапе последней мили;
- выстроить систему обратной связи от клиентов, осуществлять постоянную оценку метрик с целью внесения изменений в процесс организации логистики на этапе последней мили, улучшения сервиса и повышения качества доставки [36].

Исследования показывают, что к 2040 г. 95 % транзакций будут осуществляться онлайн [37], что требует от современных логистических компаний вложения инвестиций в развитие сервисов для организации логистики на этапе последней мили. При этом важно отметить, что стоимость логистики последней мили будет расти из-за подорожания топлива, роста заработных плат курьеров и водителей и под влиянием других факторов, что будет снижать ее маржинальность и потребует новых управленческих решений.

Обсуждение и выводы

Анализ аналитических отчетов, касающихся развития рынка логистики на этапе последней мили, экспертных мнений, изучение структуры и определение основных игроков рынка позволили выявить произошедшие в российской логистике последней мили изменения, идентифицировать основные тенденции, определить направления развития, существующие проблемы и предложить актуальные решения. Выделено несколько определяющих аспектов, влияющих на процесс управления логистикой последней мили: рост рынка электронной коммерции и трансформация запросов онлайн-потребителей к организации доставки продукции на этапе последней мили; усложнение логистических процессов на этапе последней мили (мультимодальность, гиперлокальность) и появление новых игроков рынка, развитие коллабораций; цифровая трансформация логистических процессов на этапе последней мили в связи с необходимостью контроля влияния множества различных факторов; экологизация логистики в контексте политики устойчивого развития. Результаты анализа комплексного влияния указанных аспектов на процесс управления логистикой на этапе последней мили в новых рыночных реалиях составляют теоретический вклад исследования. Прикладная значимость исследования

заключается в выявлении основных драйверов развития рынка логистики последней мили по состоянию на 2024 г., а также проблем организации бизнес-процессов на этом этапе управления цепями поставок: высокие потребительские запросы, высокие затраты и снижение маржинальности, влияние человеческого фактора (курьеры), необходимость организации доставки в условиях разной погоды, пробок, в интервале 24/7, в отдаленные населенные пункты, что необходимо учитывать в процессе управления цепями поставок.

Полученные частные выводы по результатам исследования рынка логистики последней мили позволяют предположить, что подобные тенденции характерны для рынка логистики в целом, что обусловлено развитием электронной коммерции на разных рынках B2C, B2B, B2G, в разных отраслях и сферах деятельности и изменением требований потребителей в условиях цифровой трансформации. Однако в контексте устойчивого развития столь бурный рост количества логистических операторов и сервисов доставки вызывает необходимость регулирования рынка, что будет рассмотрено нами в рамках будущих исследований. Кроме того, любой из влияющих на развитие рынка логистики последней мили факторов может измениться, и ранее сделанные выводы требуют корректировки, что вызывает необходимость продолжения мониторинга российского логистического рынка, в том числе развития новых тем в рамках будущих научных исследований.

Список литературы

1. Маркетинговое исследование «Интернет-торговля в России 2024» // ООО «Дейта Инсайт». URL: https://datainsight.ru/eCommerce_2023 (дата обращения: 05.09.2024).
2. Маркетплейсы 2024: тренды, стратегии, точки роста // ООО «Дейта Инсайт». URL: https://datainsight.ru/DI_FedorVirin_SellersnMarketplaces_2024 (дата обращения: 05.09.2024).
3. Российский рынок интернет-торговли вырастет на 36 % в 2024 г. // Shoppers. URL: https://shoppers.media/news/14734_rossiiskii-rynok-internet-torgovli-vyrastet-na-36-v-2024-g (дата обращения: 05.09.2024).
4. Рейтинг ТОП-100 крупнейших российских интернет-магазинов // ООО «Дейта Инсайт». URL: <https://top100.datainsight.ru> (дата обращения: 05.09.2024).
5. Альбеков А. У., Пархоменко Т. В., Полуботко А. А. Современное состояние и новые тренды развития логистики под влиянием COVID-19 // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2022. № 1 (77). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-novye-trendy-razvitiya-logistiki-pod-vliyaniem-covid-19> (дата обращения: 05.09.2024).
6. Дедков Д. Роль логистики в экосистемах маркетплейсов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 5-4. doi: 10.24412/2500-1000-2022-5-4-93-98
7. Дюкова О. М. Эволюционное развитие логистики электронной торговли: от интернет-магазинов к маркетплейсам // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 3 (135). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsionnoe-razvitie-logistiki-elektronnoy-torgovli-ot-internet-magazinov-k-marketpleysam> (дата обращения: 05.09.2024).
8. Караваева Е. Д. Планирование логистических затрат при реализации товаров через маркетплейс // Креативная экономика. 2020. № 4. doi: 10.18334/ce.14.4.100799
9. Селиверстова Н. С., Сабитов Р. А., Смирнова Г. С. Подходы к управлению логистическими процессами в условиях цифровой экономики // Russian Journal of Economics and Law. 2022. № 3. doi: 10.21202/2782-2923.2022.3.566-576

10. Симонов К. В. Российская логистика и управление цепями поставок: вызовы и актуальные решения // Управленческие науки. 2024. № 1. doi: 10.26794/2404-022X-2024-14-1-71-87
11. Холмовский С. Г. Развитие российского рынка фулфилмент услуг как следствие роста интернет-торговли // Baikal Research Journal. 2020. № 1. doi: 10.17150/2411-6262.2020.11(1).7
12. Вирячева Е. В., Трейман М. Г. Тренды и перспективы развития логистики в интернет-торговле на примере доставки на последней миле маркетплейсов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2023. № 3. doi: 10.24143/2073-5537-2023-3-82-87
13. Курочкина А. А., Шевчук Е. В., Бикезина Т. В. Трансформация доставки последней мили как метод улучшения клиентского опыта в Российской Федерации // Экономика и управление. 2023. Т. 29, № 2. С. 159–168. doi: 10.35854/1998-1627-2023-2-159-168
14. Левкин Г. Г., Скаков Р. Ж. «Последняя миля» как точка оптимизации при мультимодальных перевозках // Логистика сегодня. 2020. № 1. С. 20–26. URL: <https://grebennikon.ru/article-tvb4.html> (дата обращения: 05.09.2024).
15. Мазурина А. В., Степанова Т. В. Цифровая трансформация логистики «последней мили»: теоретический анализ // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-logistiki-posledney-mili-teoreticheskiy-analiz> (дата обращения: 05.09.2024).
16. Плесская О. В., Белоусова М. Н. Проблема последней мили. Современные подходы и методы решения // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. № 5. doi: 10.38197/2072-2060-2023-243-5-379-390
17. Бахарев В. В., Лычакова А. Д. Направления экологизации логистики последней мили // Прогрессивная экономика. 2023. № 8. doi: 10.54861/27131211_2023_8_37
18. Управление цепями поставок // КНОРУС КОНСАЛТИНГ. URL: <https://korusconsulting.ru/infocenter/upravlenie-tsepyami-postavok-supply-chain-management-scm> (дата обращения: 06.09.2024).
19. Framework of Last Mile Logistics Research: A Systematic Review of the Literature // MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/24/7131> (дата обращения: 07.09.2024).
20. Маркетинговое исследование «Последняя миля для интернет-торговли – 2022» // ООО «Дейта Инсайт». URL: https://datainsight.ru/DI_LastMile2022 (дата обращения: 05.09.2024).
21. Simoni M. D., Kutanoglu E., Claudel C. G. Optimization and analysis of a robot-assisted last mile delivery system // Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review. 2020. Vol. 142. doi: 10.1016/j.tre.2020.102049
22. Peppel M., Ringbeck J., Spinler S. How will last-mile delivery be shaped in 2040? A Delphibased scenario study // Technological Forecasting and Social Change. 2022. Vol. 177. doi: 10.1016/j.techfore.2022.121493
23. Сервис «Самокат» открыл 2000-й даркстор // Retail.ru. URL: <https://www.retail.ru/news/servis-samokat-otkryl-2000-y-darkstor-31-maya-2024-241340> (дата обращения: 02.09.2024).
24. ЯндексЛавка. URL: <https://lavka.yandex.ru/about/franchise#:~:text=Где%20работает%20Яндекс%20Лавка%3F,%2C%20Екатеринбурге%2C%20Новосибирске%20и%20Иркутске> (дата обращения: 02.09.2024).
25. ВкусВилл. URL: <https://vkusvill.ru/about> (дата обращения: 02.09.2024).
26. Сколько постаматов в России в 2023 году. Ежегодный рейтинг Ecomhub // Ecomhub. URL: <https://ecomhub.ru/how-many-parcel-terminals-will-there-be-in-russia-in-2023-ecomhub-annual-ranking/#:~:text=Мы%20продолжаем%20выпуск>

- %20нашего %20ежегодного, в %20России %20за %20много %20лет (дата обращения: 02.09.2024).
27. Постаматы в России // TADVISER. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Постаматы_в_России (дата обращения: 02.09.2024).
 28. Рынок постаматов в мире и России: особенности и перспективы развития, январь 2023 // ГБУ «Агентство инноваций города Москвы». URL: https://portal.inno.msk.ru/uploads/agency-sites/analytics/research/Postamates_AIM.pdf (дата обращения: 02.09.2024).
 29. ПВЗ теряют рентабельность // Коммерсант. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6793211> (дата обращения: 02.09.2024).
 30. Консолидация и нехватка ПВЗ: главные тренды e-com в 2024 году // РБК Франшизы. URL: <https://biztorg.ru/news/664f28459a7947eb46a2e34a> (дата обращения: 02.09.2024).
 31. Доставка товаров и грузов // Почта России. URL: <https://www.pochta.ru/business/parcels> (дата обращения: 02.09.2024).
 32. Как удешевить логистику последней мили // Большие идеи. URL: <https://big-i.ru/management/operatsionnoe-upravlenie/kak-udeshevit-logistiku-posledney-mili> (дата обращения: 03.09.2024).
 33. В 2024 году спрос на курьеров вырос в два раза // Retail.ru. URL: <https://www.retail.ru/news/v-2024-godu-spros-na-kurerov-vyros-v-dva-raza-2-aprelya-2024-239377> (дата обращения: 02.09.2024).
 34. Зинченко С. В., Бижанова Е. М., Хусаинова А. Д. Исследование трансформации потребительского поведения на фэшн-рынке // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 3. С. 74–90. doi: 10.21685/2227–8486-2022-3-5
 35. Егерев Ю. Б., Бахарев В. В. Цифровые логистические платформы как инновационный формат предоставления логистических услуг: критический анализ // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 2. С. 5–24. doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-1
 36. Последняя миля: как получить максимум от ключевого логистического // ООО «РБточкаРУ». URL: <https://rb.ru/opinion/poslednyaya-milya/> (дата обращения: 02.09.2024).
 37. Webinterpret. URL: <https://www.webinterpret.com/us> (дата обращения: 07.09.2024).

References

1. Marketing research "Internet commerce in Russia 2024". ООО «Deyta Insayt» = *Data Insight LLC*. (In Russ.). Available at: https://datainsight.ru/eCommerce_2023 (accessed 05.09.2024).
2. Marketplaces 2024: trends, strategies, growth points. ООО «Deyta Insayt» = *Data Insight LLC*. (In Russ.). Available at: https://datainsight.ru/DI_FedorVirin_SellersnMarketplaces_2024 (accessed 05.09.2024).
3. The Russian e-commerce market will grow by 36% in 2024. *Shoppers*. (In Russ.). Available at: https://shoppers.media/news/14734_rossiiskii-rynok-internet-torgovli-vyrastet-na-36-v-2024-g (accessed 05.09.2024).
4. Rating of the TOP 100 largest Russian online stores. ООО «Deyta Insayt» = *Data Insight LLC*. (In Russ.). Available at: <https://top100.datainsight.ru> (accessed 05.09.2024).
5. Al'bekov A.U., Parkhomenko T.V., Polubotko A.A. The current state and new trends in logistics development under the influence of COVID-19. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINH) = Bulletin of the Rostov State University of Economics (RINH)*. 2022;(1). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-novye-trendy-razvitiya-logistiki-pod-vliyaniem-covid-19> (accessed 05.09.2024).

6. Dedkov D. The role of logistics in marketplace ecosystems. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022;(5-4). (In Russ.). doi: 10.24412/2500-1000-2022-5-4-93-98
7. Dyukova O.M. Evolutionary development of e-commerce logistics: from online stores to marketplaces. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics*. 2022;(3). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsionnoe-razvitiye-logistiki-elektronnoy-torgovli-ot-internet-magazinov-k-marketpleysam> (accessed 05.09.2024).
8. Karavaeva E.D. Planning logistics costs for the sale of goods through the marketplace. *Kreativnaya ekonomika = Creative Economics*. 2020;(4). (In Russ.). doi: 10.18334/se.14.4.100799
9. Seliverstova N.S., Sabitov R.A., Smirnova G.S. Approaches to the management of logical processes in the digital economy. *Russian Journal of Economics and Law*. 2022;(3). (In Russ.). doi: 10.21202/2782-2923.2022.3.566-576
10. Simonov K.V. Russian logistics and supply chain management: challenges and relevant solutions. *Upravlencheskie nauki = Managerial Sciences*. 2024;(1). (In Russ.). doi: 10.26794/2404-022X-2024-14-1-71-87
11. Kholmovskiy S.G. Development of the Russian fulfillment services market as a result of the growth of online commerce. *Baikal Research Journal*. 2020;(1). (In Russ.). doi: 10.17150/2411-6262.2020.11(1).7
12. Viryacheva E.V., Treyman M.G. Trends and prospects of logistics development in Internet trade on the example of delivery on the last mile of marketplaces. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika = Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Economics*. 2023;(3). (In Russ.). doi: 10.24143/2073-5537-2023-3-82-87
13. Kurochkina A.A., Shevchuk E.V., Bikezina T.V. Transformation of last-mile delivery as a method of improving customer experience in the Russian Federation. *Ekonomika i upravlenie = Economics and management*. 2023;29(2):159–168. (In Russ.). doi: 10.35854/1998-1627-2023-2-159-168
14. Levkin G.G., Skakov R.Zh. "The last mile" as an optimization point in multimodal transportation. *Logistika segodnya = Logistics today*. 2020;(1):20–26. (In Russ.). Available at: <https://grebennikon.ru/article-tvb4.html> (accessed 05.09.2024).
15. Mazurina A.V., Stepanova T.V. Digital transformation of logistics "the last mile": a theoretical analysis. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie = Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Economics and management*. 2022;(4). (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-logistiki-posledney-mili-teoreticheskiy-analiz> (accessed 05.09.2024).
16. Plesskaya O.V., Belousova M.N. The problem of the last mile. Modern approaches and methods of solution. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii = Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2023;(5). (In Russ.). doi: 10.38197/2072-2060-2023-243-5-379-390
17. Bakharev V.V., Lychakova A.D. Directions of ecologization of logistics of the last mile. *Progressivnaya ekonomika = Progressive economics*. 2023;(8). (In Russ.). doi: 10.54861/27131211_2023_8_37
18. Supply chain management. *KNORUS KONSALTING*. (In Russ.). Available at: <https://korusconsulting.ru/infohub/upravlenie-tsepyami-postavok-supply-chain-management-scm> (accessed 06.09.2024).
19. Framework of Last Mile Logistics Research: A Systematic Review of the Literature. *MDPI*. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/24/7131> (accessed 07.09.2024).

20. Marketing research "The last mile for online commerce - 2022". ООО «Deyta Insayt» = *Data Insight LLC*. (In Russ.). Available at: https://datainsight.ru/DI_LastMile2022 (accessed 05.09.2024).
21. Simoni M.D., Kutanoglu E., Claudel C.G. Optimization and analysis of a robot-assisted last mile delivery system. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*. 2020;142. doi: 10.1016/j.tre.2020.102049
22. Peppel M., Ringbeck J., Spinler S. How will last-mile delivery be shaped in 2040? A Delphibased scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*. 2022;177. doi: 10.1016/j.techfore.2022.121493
23. The «Samokat» servis opened the 2000th darkstore. *Retail.ru*. (In Russ.). Available at: <https://www.retail.ru/news/servis-samokat-otkryl-2000-y-darkstor-31-maya-2024-241340> (accessed 02.09.2024).
24. *YandeksLavka*. (In Russ.). Available at: <https://lavka.yandex.ru/about/franchise#:~:text=Gde%20rabotaet%20Yandeks%20Lavka%3F,%2C%20Ekaterinburge%2C%20Novosibirske%20i%20Irkutske> (accessed 02.09.2024).
25. *VkusVill*. (In Russ.). Available at: <https://vkusvill.ru/about> (accessed 02.09.2024).
26. How many posts are there in Russia in 2023. Annual Ecomhub rating. *Ecomhub*. (In Russ.). Available at: <https://ecomhub.ru/how-many-parcel-terminals-will-there-be-in-russia-in-2023-ecomhub-annual-ranking/#:~:text=My%20prodolzhaem%20vypusk%20nashego%20ezhegodnogo,v%20Rossii%20za%20mnogo%20let> (accessed 02.09.2024).
27. Postamates in Russia. *TADVISER*. (In Russ.). Available at: https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:Postamaty_v_Rossii (accessed 02.09.2024).
28. The market of postamates in the world and Russia: features and prospects of development, January 2023. *GBU «Agentstvo innovatsiy goroda Moskvy» = GBU "Agency of Innovations of the city of Moscow"*. Available at: https://portal.inno.msk.ru/uploads/agency-sites/analytics/research/Postamates_AIM.pdf (accessed 02.09.2024).
29. PVZ are losing profitability. *Kommersant = Kommersant*. (In Russ.). Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/6793211> (accessed 02.09.2024).
30. Consolidation and shortage of PVZ: the main trends of e-com in 2024. *RBK Franshizy = RBC Franchises*. (In Russ.). Available at: <https://biztorg.ru/news/664f28459a7947eb46a2e34a> (accessed 02.09.2024).
31. Delivery of goods and cargoes. *Pochta Rossii = Russian Post*. (In Russ.). Available at: <https://www.pochta.ru/business/parcels> (accessed 02.09.2024).
32. How to reduce the cost of last mile logistics. *Bol'shie idei = Big ideas*. (In Russ.). Available at: <https://big-i.ru/management/operatsionnoe-upravlenie/kak-udeshevit-logistiku-posledney-mili> (accessed 03.09.2024).
33. In 2024, the demand for couriers doubled. *Retail.ru*. (In Russ.). Available at: <https://www.retail.ru/news/v-2024-godu-spros-na-kurerov-vyros-v-dva-raza-2-aprelya-2024-239377> (accessed 02.09.2024).
34. Zinchenko S.V., Bizhanova E.M., Khusainova A.D. Research on the transformation of consumer behavior in the fashion market. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(3):74–90. (In Russ.). doi: 10.21685/2227–8486-2022-3-5
35. Egereva Yu.B., Bakharev V.V. Digital logistics platforms as an innovative format for providing logistics services: a critical analysis. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(2):5–24. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-2-1
36. The last mile: how to get the most out of the key logistics. ООО «RBtochkaRU» = *Rbtochkaroo LLC*. (In Russ.). Available at: <https://rb.ru/opinion/poslednyaya-milya/> (accessed 02.09.2024).
37. *Webinterpret*. Available at: <https://www.webinterpret.com/us> (accessed 07.09.2024).

Информация об авторах / Information about the authors

Светлана Владимировна Зинченко
кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры менеджмента
и государственного управления,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: slatynova@mail.ru

Svetlana V. Zinchenko
Candidate of economical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of management
and public administration,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 15.06.2024

Поступила после рецензирования/Revised 21.06.2024

Принята к публикации/Accepted 07.07.2024

НЕЛИНЕЙНЫЕ ФЕНОМЕНЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЦИФРОВИЗИРУЕМОЙ ЭКОНОМИКЕ

С. В. Чупров¹, А. В. Бабкин²

¹ Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

¹ ChuprovSV@yandex.ru, ² al-vas@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* С нарастанием цифровизации российской экономики приобретает теоретическую и практическую значимость осмысление доминирующих тенденций в сфере распространения и защиты информационных потоков в нестационарном пространстве. Погружаемая в подобные среды эволюционирующая индустриальная система отличается сильно возмущаемыми процессами и метаморфозами, отображаемыми нелинейными феноменами, мерами хаотизации и порядка ее поведения. На этом основании с учетом обсуждаемых феноменов исследование направлено на анализ и обеспечение устойчивости функционирования индустриальной системы перед лицом воздействия на нее как потоков технологических и продуктовых инноваций цифровизируемой экономики, так и отягощающих поведение системы геополитических и экономических угроз. *Материалы и методы.* Теоретико-методологическую базу исследования составили учения о термодинамике, статистической физике, нелинейной динамике, концепции и методы теорий катастроф, связи и информации, кибернетики и синергетики, эволюционной и инновационной экономики и производственного менеджмента. *Результаты.* С привлечением их представлений и аналитики раскрываются понятия об энтропии, хаосе и эффекте функционирования системы, поддерживаемого поступающей в нее управляющей информацией. В рамках теории информации охарактеризовано влияние параметров сигнала и шума на информационные процессы в экономике, особенности их передачи и искажения. В контексте статистической зависимости эффекта деятельности экономической системы от накопленной в ней управляющей информации выполнены преобразование и трактовка этой экспоненциальной зависимости с мерами порядка поведения индустриальной системы. Интерпретированы нелинейные феномены этой зависимости и эволюции индустриальной системы с целью достижения ее устойчивого эффекта. *Выводы.* Выполненное исследование дополняет теоретические представления о факторах обеспечения устойчивости функционирования модернизируемых индустриальных систем и аргументирует необходимость симбиоза естественных и экономических наук для углубления анализа и толкования феноменов эволюции хаотизированных индустриальных систем в цифровизируемой экономике.

Ключевые слова: инновация, информация, нелинейность, порядок, устойчивость, хаос, цифровизация, эволюция, энтропия, эффект

Финансирование: исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика» (URL: <https://rscf.ru/project/23-28-01316>).

Для цитирования: Чупров С. В., Бабкин А. В. Нелинейные феномены и устойчивость функционирования индустриальной системы в цифровизируемой экономике // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 71–85. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-6

NONLINEAR PHENOMENA AND STABILITY OF FUNCTIONING OF THE INDUSTRIAL SYSTEM IN A DIGITALIZED ECONOMY

S.V. Chuprov¹, A.V. Babkin²

¹ Baikal State University, Irkutsk, Russia

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

¹ ChuprovSV@yandex.ru, ² al-vas@mail.ru

Abstract. *Background.* With the increasing digitalization of the Russian economy, understanding the dominant trends in the distribution and protection of information flows in a non-stationary space is gaining theoretical and practical significance. An evolving industrial system immersed in such environments is characterized by highly disturbed processes and metamorphoses displayed by nonlinear phenomena, measures of chaos and order of its behavior. On this basis, taking into account the discussed phenomena, the article is aimed at analyzing and ensuring the stability of the industrial system in the face of the impact of both flows of technological and product innovations of the digitalized economy and geopolitical and economic threats that aggravate the behavior of the system. *Materials and methods.* The theoretical and methodological basis of the study was formed by the doctrines of thermodynamics, statistical physics, nonlinear dynamics, concepts and methods of theories catastrophe, communication and information, cybernetics and synergetics, evolutionary and innovative economics and production management. *Results.* Using their ideas and analytics, the concepts of entropy, chaos and the effect of the functioning of the system supported by the control information coming into it are revealed. Within the framework of information theory, the influence of signal and noise parameters on information processes in the economy, the features of their transmission and distortion are characterized. In the context of the statistical dependence of the effect of the economic system's activity on the control information accumulated in it, the transformation and interpretation of this exponential dependence with measures of the order of behavior of the industrial system are performed. Nonlinear phenomena of this dependence and the evolution of the industrial system are interpreted in order to achieve its stable effect. *Conclusions.* The study complements theoretical ideas about the factors ensuring the stability of the functioning of modernized industrial systems and argues for the need for a symbiosis of natural and economic sciences to deepen the analysis and interpretation of the phenomena of the evolution of chaotic industrial systems in a digitalized economy.

Keywords: innovation, information, nonlinearity, order, stability, chaos, digitalization, evolution, entropy, effect

Financing: the research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant № 23-28-01316 «Strategic management of effective sustainable ESG development of a multi-level cyber-social industrial ecosystem of a cluster type in a circular economy based on the concept of Industry 5.0: methodology, tools, practice» (URL: <https://rscf.ru/project/23-28-01316>).

For citation: Chuprov S.V., Babkin A.V. Nonlinear phenomena and stability of functioning of the industrial system in a digitalized economy. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):71–85. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-6

Введение

Глобальные вызовы и угрозы, ускоряемые стремительным развитием наукоемкого производства, порождают в пространстве мировой и национальной экономик неординарные динамичные процессы, побуждающие адаптировать их реальный сектор к ошеломительным возмущениям своего окружения. В пору формирования и укоренения закономерного технологического уклада с очевидностью возрастает теоретическая и прикладная ценность исследований по анализу и поддержанию эффективной и устойчивой деятельности российских компаний в среде инновационно-технологического прорыва [1, 2]. В разрезе цифровизации промышленности, по данным отчета Industry 4.0 Market, ожидается, что размер рынка индустрии 4.0 вырастет с 94,42 млрд долл. США в 2023 г. до 241,58 млрд долл. США к 2028 г. при среднегодовом темпе роста 20,67 % в течение прогнозируемого периода (2024–2029) [3] и к 2030 г. достигнет 367,50 млрд долл. США [4]. По правительственному межотраслевому проекту «Умное производство» цифровая зрелость основных производственных процессов предприятий промышленности РФ в 2023 г. оценивалась величиной 50 %, она должна увеличиваться каждый год на 5 % и составит в 2030 г. уже 85 % [5].

Испытывая возрастающий напор потока технологических и продуктовых инноваций цифровизируемой экономики и ужесточение внешних рынков, отечественные промышленные предприятия претерпевают метаморфозы своего хаотического функционирования и подвергаются риску нарушения воспроизводства и истощения ресурсов, потери устойчивости и угасания деловой активности. Ввиду этого встраивание индустриальных систем в инновационную экономику и обретение эффективной и устойчивой деятельности актуализировало задачу поступательного развития и апробации теоретико-методологического и прикладного оснащения адаптивного промышленного менеджмента.

Вместе с тем констатируем: в тени исследований нередко остаются проблематика информационной природы прогресса экономических систем, поиск и интерпретация зависимости их организованности и эффекта поведения от энтропии систем и объема поступившей в них управляющей информации с позиций теории информации К. Шеннона [6] и статистической концепции В. А. Трапезникова [7]. Проектирование и освоение механизмов адаптации индустриальных систем востребовали как построения и внедрения интеллектуальных технологий производства и управления, так и компетентного применения в концепциях моделирования симбиоза естественных и общественных наук.

Современные исследования охватывают широкий спектр концептуальных и прикладных разработок по продуцированию и модернизации информационно-коммуникационных технологий и перспективам их революционизирующего воздействия на отечественную промышленность. Конструирование инструментов нейтрализации или ослабления влияния критических помех и создания экономики знаний объясняют притягательность тематики изысканий по устойчивости экономических систем [8], аналитике процессов обеспечения устойчивости инновационного развития в условиях неопределенной и динамичной внешней среды [9], влиянию инноваций в промышленности на структурные изменения в российской экономике [10] и формированию нового технологического уклада хозяйственных структур [11].

Приращению научных знаний посвящены публикации по проблемам активизации инновационного и инвестиционного потенциалов промышленных предприятий регионов [12], технологическим аспектам образования единого информационного пространства предприятия и переходу от экономики данных к экономике знаний [13], нейрокомпьютеризации производственного процесса, цифровой веб-трансформации и продвижению цифровых продуктов и технологий [14] и др.

Замысел проводимого авторами исследования заключается в инструментализации адаптивного управления эффектом и устойчивостью индустриальных систем благодаря использованию и обобщению учений о сложных системах для экономической интерпретации устойчивости, энтропии, хаоса, порядка и информации в промышленном производстве.

Материалы и методы

Теоретико-методологическую ценность для поиска и толкования энтропийно-информационного условия эффекта функционирования индустриальной системы и ее устойчивости представляют классические работы физиков Л. Больцмана [15], Дж. Гиббса [16], Э. Шредингера [17], кибернетиков Н. Винера [18], К. Шеннона [6] и их авторитетных последователей лауреата Нобелевской премии И. Пригожина и И. Стенгерс [19], Г. Хакена [20], Г. Ферстера [21], В. А. Трапезникова [7], В. И. Арнольда [22] и др.

Сущность обсуждаемой проблемы и метод ее решения определили объектом исследования функционирование индустриальной системы, а предметом исследования – динамичные энтропийно-информационные процессы и управление ими в индустриальной системе под углом зрения порядка и организованности ее поведения, устойчивости и эффекта деятельности.

Цель исследования – развитие информационной аналитики нелинейных феноменов и условий поддержания эффекта и устойчивости функционирования эволюционирующей индустриальной системы в возмущенном пространстве.

Сформулированная цель подводит к необходимости решения взаимосвязанных задач исследования:

- на базе учения К. Шеннона о системе связи и передаче информации в канале с шумами воспроизвести его статистическую концепцию в приложении к информационным потокам в экономическом пространстве;
- воспользовавшись фундаментальными учениями об энтропии, хаосе, порядке поведения систем и информации в них, предложить толкование атрибутов упорядоченности и организованности, эффекта и устойчивости функционирования индустриальных систем в хаотизированных средах;
- исходя из формализованной В. А. Трапезниковым статистической зависимости эффекта поведения индустриальных систем от энтропийных и информационных процессов, раскрыть и интерпретировать нелинейный феномен влияния параметров порядка поведения этих систем на эффект их функционирования;
- с опорой на качественные выводы математической теории перестроек (по В. И. Арнольду) предложить трактовку волнообразной траектории эволюции индустриальной системы с ростом ее эффекта и нелинейным феноменом последовательности «устойчивое – неустойчивое – устойчивое» состояний модернизируемой системы.

Междисциплинарную методологическую основу работы составляет симбиоз естественно-научных и общественных учений: термодинамики, статистической физики, нелинейной динамики, теорий катастроф, связи и информации, кибернетики и синергетики, эволюционной и инновационной экономики и производственного менеджмента.

Исследование оснащалось общенаучными методами анализа, синтеза и сравнения, макроподхода, статистической теории, математики. Информационную поддержку исследованию оказали официальные документы органов государственного управления, данные аналитических агентств, монографии, научные статьи в ведущих журналах, представленных в системе научного цитирования РИНЦ и базах данных Scopus и др.

Результаты и обсуждение

Парадигма об энтропии и хаосе и их взаимовлиянии на организованность и информационное содержание динамических систем восходит к фундаментальным исследованиям по термодинамике и статистической физике. Учение об энтропии замкнутых систем не только открыло возможности статистического изучения их поведения, свойств равновесия и устойчивости, но и обогатило аналитический арсенал специалистов, занятых изучением функционирования и перестроек экономической системы. Случайные воздействия вносят в ее поведение беспорядок и неопределенность, которая оценивается термодинамической величиной энтропии, поэтому не вызывает сомнений ее сходство с присущей системе неупорядоченностью, возникающей из-за несогласованности и хаотизации действий ее подсистем и тем самым сдерживающей повышение эффекта деятельности системы в целом.

С цифровизацией экономики беспрецедентное наполнение ее потоками ценной информацией (по оценкам Мэривилльского университета, к 2025 г. по всему миру будет создаваться более 180 трлн Гб данных ежегодно [3]) вместе с тем сопровождается и наращиванием ее антипода – шума, который действует на полезные сигналы и может изрядно исказить содержание воспринимаемой информации. Такого рода процессы находятся в центре внимания теорий связи и информации, раскрывающих сущность и влияние сигнала и шума и анализирующих их соотношение в каналах передачи информации. При этом шумовой фон в экономике создают как объективно порождаемое асимметричное знание о состоянии и тенденциях сегментов рынка и взаимодействиях контрагентов, так и сознательное отступление от полноты оповещаемой информации, введение в заблуждение партнеров по бизнесу и другие преднамеренные акции вплоть до фальсификации и вбросов лживых сведений в интересах конкретных заказчиков. Многократно растиражированные специальными IT-технологиями в экономическом пространстве, эти шумы способны извратить передаваемую полезную информацию.

В своих пионерских работах по теории связи и информации К. Шеннон аргументировал, что существует зависимость между мощностью передатчика сигнала, полосой его частот, пропускной способностью канала и соотношением «сигнал/шум». Доказано и интерпретировано, что отношение «пропускная способность канала / полоса частот» есть логарифмическая функция от величины отношения «средняя мощность передатчика / мощность шума» [23, с. 34–36].

Математически парадигма К. Шеннона представлена нелинейным выражением следующего вида [24]:

$$C = W \log_2 \left(\frac{P + N}{N} \right), \quad (1)$$

где C – пропускная способность канала передачи сигнала (бит/с); W – полоса частот сигнала; P – мощность сигнала; N – мощность шума.

Какие выводы можно сформулировать из этой логарифмической зависимости?

Во-первых, при постоянной пропускной способности C канала передачи информации сокращение полосы частот W возможно при условии доминирования сигнала над шумом (увеличения соотношения $\frac{P}{N}$), вредное влияние которого снижается, и полезный сигнал P искажается в меньшей степени. Видим, что сохранение фиксированной скорости передачи сообщения равнозначно сужению полосы частот сигналов W и уменьшению шума N в канале. И наоборот, если наращивать скорость передачи полезной информации, то с расширением полосы частот W шумы N усиливаются, что «загрязняет» сигнал P .

Сравнение фиксированного широкополосного доступа к интернету в российских организациях по годам показывает рост числа организаций (в процентах от общего их количества) в пользу максимальных скоростей доступа: уменьшение от 35,4 до 31,2 % (скорость 256 Кбит/с – 30,0 Мбит/с) и от 26,2 до 25,8 % (скорость 30,1–100,0 Мбит/с) с увеличением от 12,3 до 15,3 % (скорость свыше 100,0 Мбит/с) в 2022 г. по сравнению с 2021 г. [25, с. 185]. Причем по максимальной скорости передачи данных (свыше 100,0 Мбит/с) в предпринимательском секторе экономики в 2022 г. наша страна с показателем 13 % организаций значительно уступает Дании (85 %), Румынии (77 %), Швеции (77 %), Португалии (76 %), Испании (75 %), утверждают авторы статистического сборника [25, с. 186].

Во-вторых, можно сделать вывод о средней мощности передатчика сообщений. Если его не ограничивать, то пропускная способность канала могла быть бесконечной даже с появлением шума, поскольку остается возможность уловить полезный сигнал. Однако при ограничении мощности передатчика и наличии шума пропускная способность канала становится конечной. Действительно, глобальные источники информации с «прессингом» и массовостью ее распространения способны тотально «настигать» пользователей информации пусть и с искажением содержания, тогда как ограниченные по мощности источники информации на шумовом фоне теряют скорость ее передачи.

В-третьих, отметим уточнение К. Шеннона по поводу полосы частот сигнала и мощности шума согласно выражению (1). С увеличением полосы частот W мощность шума N возрастает пропорционально, а если соотношение «сигнал/шум» $\frac{P}{N}$ велико, то «сокращение полосы очень невыгодно с точки зрения мощности» [23, с. 37]. Речь, по-видимому, идет о том, что при чрезмерно сильном по сравнению с шумом полезном сигнале его передачу может

лимитировать недостаточная мощность передатчика сообщения, и в итоге посылаемый ослабленный радиосигнал ограничит возможности его приема.

Экономически весьма реально: чем больше объем передаваемого потока разнообразной информации, тем больше шума она способна «навлечь», чтобы быть испорченной. Расширение полосы частот вызывает усиление шумового противодействия передаваемой полезной информации. Вместе с тем при маломощном источнике информации даже емкая по количеству информация с шумовым сопровождением будет иметь стесненный для пользователей доступ.

Понятно, что мощность передатчика сообщений имеет экономическое измерение, поскольку непомерное совершенствование передатчика и приемника информации оборачиваются их чрезмерным усложнением и дороговизной. Ввиду этого, по К. Шеннону, должно быть достигнуто «экономическое равновесие» между различными факторами.

Согласно исследованию, опубликованному Cybercrime Journal, если мировые расходы на киберпреступность в 2021 г. составили 6,0 трлн долл. США, то к 2025 г. они достигнут 10,5 трлн долл. США [3]. В 2022 г. в России 41 % организаций использовал средства шифрования, 28 % – резервное копирование данных на носители, находящиеся физически не на территории организации, тогда как для сравнения в Финляндии – 82 % и 62 %, в Германии – 90 % и 54 % соответственно [25, с. 249].

В продолжение анализа поведения хаотизируемой индустриальной системы в возмущенной среде обратимся к энтропийной зависимости эффекта $\mathcal{E}$ ее работы (объема производства продукции, степени выполнения плана производства, производительности и т.п.) от поступившей в систему управляющей информации I . Для этого раскроем связь относительных величин $\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\max}}$ и $\frac{I}{I_0}$,

в которых эффект $\mathcal{E}$ соизмеряется с теоретически максимальной величиной $\mathcal{E}_{\max}$, а количество введенной информации I – с объемом ее I_0 , характерным для данной системы. Схематично нелинейная зависимость между ними, согласно статистической концепции В. А. Трапезникова [7], отображается экспонентой, рост которой к предельному $\mathcal{E}_{\max}$ сдерживается неупорядоченностью функционирования системы (рис. 1) [7, с. 50].

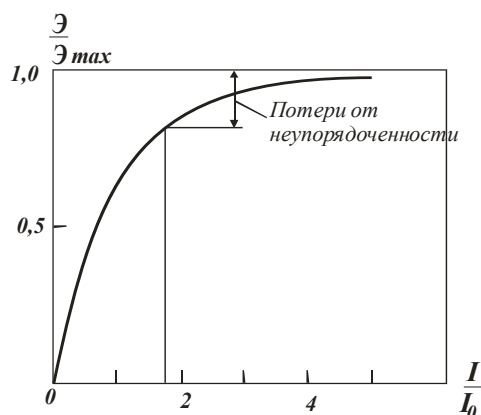


Рис. 1. Зависимость эффективности системы от количества вводимой управляющей информации

Оперируя относительной величиной $\frac{\Theta}{\Theta_{\max}}$, становится возможным оценить не только полезность управляющей информации для уменьшения энтропии системы и погашения возникающих в ней помех, но и успешность регулирующих воздействий модернизируемого адаптивного менеджмента системы. В связи с этим В. А. Трапезников предложил отношением $\frac{\Theta}{\Theta_{\max}}$ измерять уровень совершенства управления экономической системой Y_u [7], и тем самым получаем

$$Y_u = \frac{\Theta}{\Theta_{\max}}. \quad (2)$$

Примем, что уровень совершенства управления Y_u (2) системой будет устойчивым, если, несмотря на оказываемые на нее деструктивные воздействия возмущений, величина Y_u остается в допустимом диапазоне значений от нижней $Y_u^{\text{н}}$ до верхней $Y_u^{\text{в}}$ границы:

$$Y_u^{\text{н}} \leq Y_u \leq Y_u^{\text{в}}.$$

Опуская математические преобразования, приведем искомое энтропийное условие устойчивости уровня совершенства управления Y_u индустриальной системой [26]:

$$\ln(1 - Y_u^{\text{н}})^{-1} \leq \frac{I}{I_0} \leq \ln(1 - Y_u^{\text{в}})^{-1}. \quad (3)$$

График на рис. 2 визуализирует нелинейную связь (3) уровня совершенства управления Y_u эволюционирующей индустриальной системой и количества введенной в нее управляющей информации I при заданной ее величине I_0 в исходном состоянии. Наряду с этим немаловажно, что динамика уровня совершенства управления Y_u (2) индустриальной системой при постоянной величине максимального $\Theta_{\max}$ ($\Theta_{\max} = \text{const}$) определяется достигнутым значением эффекта Θ функционирования системы, и, по сути, неравенство (3) выражает также энтропийное условие устойчивости величины эффекта Θ при изменении количества управляющей информации I в модернизируемой индустриальной системе.

Первый нелинейный феномен неравенства (3) свойствен экспоненциальной зависимости. Так, сравнивая объемы информации I для интервалов одинаковой длины, но различающихся граничными точками $[0,4; 0,5]$ и $[0,8; 0,9]$, найдем, что во втором случае требуется обеспечить ввод управляющей информации в эволюционирующую индустриальную систему (для нижних пределов $Y_u^{\text{н}}$ в $1,61:0,51 \approx 3,16$ и верхних пределов в $Y_u^{\text{в}}$ $2,30:0,69 \approx 3,33$) более чем в три раза.

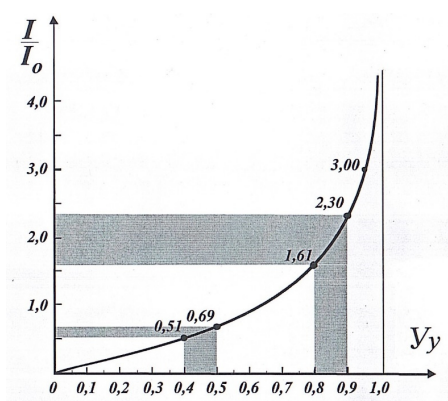


Рис. 2. График нелинейной связи уровня совершенства управления Y_u эволюционирующей индустриальной системой и относительной величины $\frac{I}{I_0}$ количества введенной в нее управляющей информации

Словом, задача сохранения устойчивости уровня совершенства управления Y_u индустриальной системой по мере его максимизации обязывает наполнять систему экспоненциально нарастающим количеством управляющей информации, а это ведет к масштабной модернизации адаптивного менеджмента индустриальной системой и вновь актуализирует вопрос о пределах экономически целесообразного инвестиционного обеспечения такого инновационного проекта.

Второй нелинейный феномен обнаруживает себя в зависимости показателя совершенства управления эволюционирующей индустриальной системой от уровня порядка в ней, оцениваемому по энтропийной формуле Г. Ферстера [21]. Если в исходном состоянии системы величина ее порядка равна R_0 , а после ввода информации стала R , уровень совершенства управления системой определяется по экспоненте отношением $\frac{R}{R_0}$:

$$Y_u = 1 - e^{-\frac{R}{R_0}}. \quad (4)$$

Среди особенностей полученной нелинейной зависимости заслуживает внимания то обстоятельство, что повышение уровня Y_u допускает вместе с этим одновременно рост максимальной энтропии при условии наращивания в эволюционирующей системе количества управляющей информации I . Считаем аналитически существенными для приращения алгоритмизации адаптивного управления модернизируемой индустриальной системой полученные и интерпретированные нами энтропийные условие устойчивости уровня совершенства управления системой (3) и зависимость уровня совершенства управления индустриальной системой от мер порядка ее поведения (4).

Третий нелинейный феномен раскрывается качественными выводами математической теории перестроек, которые интерпретируют волнообразную траекторию перестройки экономической системы с движением от одного устойчивого состояния в другое, предпочтительное с точки зрения его

эффекта. По этому поводу В. И. Арнольд замечает: «Привычные методы управления, при которых результаты пропорциональны усилиям, тут не действуют, и нужно вырабатывать специфически нелинейную интуицию, основанную на порой парадоксальных выводах нелинейной теории» [22, с. 100].

Скованная отсталостью технико-технологических ресурсов производства и управления, эволюционирующая индустриальная система в первое время с трудом преодолевает действие консервативных сил и теряет свои экономические преимущества (система «сопротивляется» прогрессу, и вложения в нее еще не дают быстрого ожидаемого эффекта). Однако коренная инновационная модернизация ресурсов и менеджмента сначала постепенно, а затем с ускорением притягивает систему к лучшему устойчивому состоянию. Потребление и материализация наукоемкой информации как в инструментах управления, так и средствах производства позволяют наращивать упорядоченность и эффект функционирования эволюционирующей индустриальной системы, и темп его роста подчиняется нелинейному характеру изменения.

Уместно предположить, что с прогрессом индустриальной системы она переживает метаморфозы стадий хаотизации и упорядочивания своего поведения под воздействием сил инерции, деструктивных и позитивных факторов, поскольку на начальном этапе модернизации предстояло «раскачать» исходное устойчивое состояние системы, а затем в неустойчивом режиме благоприятствующими условиями ресурсного потенциала и адаптивного менеджмента придать вектору ее движения заданное направление к более высокому эффекту, причем перевес позитивных сил над консервативными создает возможности ускоренного «притягивания» к целевому устойчивому состоянию эволюционирующей индустриальной системы.

Заключение

Наступление эпохи продуцирования и освоения цифровых технологий и платформенных решений кардинально преобразует облик развития национальной экономики и ее промышленного производства. В богатой палитре выполняемых исследований раскрываются тенденции цифровизации отраслей экономики, природа рисков, положительные и негативные плоды внедрения цифровых инструментов и формулируется правдоподобный вывод о повышении нестабильности и неопределенности деловой среды.

Представленные результаты осмысления фундаментальных понятий энтропии, информации и устойчивости с приложением их для экономических исследований следуют традиции интегрирования концепций и методов естественных и общественных наук. Детерминация влияния энтропийных и информационных процессов на функционирование индустриальных систем составляет теоретическую и практическую ценность для понимания и оценки неопределенности, порядка поведения и организованности этих эволюционирующих систем в хаотических средах. С учетом изложенных выводов дополняется прикладное оснащение адаптивного управления индустриальными системами алгоритмами анализа и регулирования для обеспечения необходимых уровней эффекта и устойчивости функционирования этих систем, возмущаемых потоками технологических и продуктовых инноваций цифровизируемой промышленности и дестабилизируемых геополитическими и экономическими рисками.

Приоритеты дальнейших исследований по обсуждаемой тематике ориентируют на скрупулезное теоретико-методологическое обоснование феноменов эволюционирующих индустриальных систем под влиянием энтропийных и информационных процессов в нелинейных средах и воздействием беспрецедентных возмущений, генерируемых внезапными и радикальными переменами цифровизируемой бизнес-среды. Доминантами успешного развития страны становятся запуск инновационных драйверов и ускоренный социально-экономический рост с наращиванием инвестиций в основной капитал и вложений в «экономику знаний» [27]. На повестке дня форсированное освоение наукоемкого производства и овладение методами и средствами преодоления барьеров внедрению инновационных технологий и стимулирования изготовления конкурентоспособной промышленной продукции [28]. При этом обстоятельному изучению подлежат процессы глобализации и глокализации в условиях цифровизации, противоречивое влияние ее на экономический прогресс, в частности, продуктовых и процессных инноваций с совершенствованием методик оценки и анализа эффективности результатов их внедрения.

Продвижение в решении исследовательских задач обеспечения адаптации и модернизации эволюционирующих индустриальных систем и управления ими логично ожидать от привлечения к интерпретации их метаморфоз и феноменов принципов и аналитики теорий устойчивости, катастроф, синергетики, нечетких множеств [8, 19–22, 29, 30], средств экономико-математического и компьютерного моделирования.

Список литературы

1. Глазьев С. Ю. Рынок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах («Коллекция Изборского клуба»). М. : Книжный мир, 2018. 768 с.
2. Афанасьев М. Ю., Бодрунов С. Д., Дементьев В. Е. [и др.]. Основные направления социально-экономического развития России: обоснование и оценка последствий (по итогам модельных исследований ЦЭМИ РАН). М. : ЦЭМИ РАН, 2023. 116 с.
3. Industry 4.0 Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029). URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industry-4-0-market> (дата обращения: 20.09.2024).
4. Industry 4.0 Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030) by Technology Type, Vertical and Region (2024). URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-industry-4-0-market/35222/> (дата обращения: 20.09.2024).
5. Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, относящейся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации : [утв. распоряжением Правительства РФ от 7 ноября 2023 г. № 3113-п]. URL: <http://static.government.ru/media/files/OwFdjc3nMWk3BqAUbjqdJImPl3NxqRIS.pdf> (дата обращения: 20.09.2024).
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М. : Издательство иностранной литературы, 1963. 829 с.
7. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. М. : Наука, 1983. 224 с.
8. Babkin A., Tashenova L., Chuprov S. Management of sustainability and development of systems in the context of the synergetic paradigm // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems. CTS 2017.2. 2017. P. 318–321. doi: 10.1109/CTS.2017.8109556

9. Khudyakova T., Shmidt A. Methodical approaches to managing the sustainability of enterprises in a variable economy // *Espacios*. 2018. № 39 (13).
10. Akberdina V., Smirnova O. Innovations in Industry as a Factor of Structural Changes in the Economy: Russian Experience // *SHS Web of Conferences*. 2021. № 110. P. 01051. doi: 10.1051/shsconf/202111001051
11. Alekseeva N., Babkin A., Makhmudova G., Yung A. Research and Assessment of Innovatively-Active Industrial Cluster Development // *Proceedings of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University International Scientific Conference on innovations in digital economy*. 2020. № 38. P. 1–6. doi: 10.1145/3444465.3444485
12. Воронцова М. А., Исаева А. Г., Красников А. В. Оценка инновационной активности промышленных предприятий региона в условиях структурных преобразований национальной экономики // *Baikal Research Journal*. 2023. Т. 14, № 1. С. 130–140. doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).130-140 EDN: ODUTUJ
13. Хитрова Т. И., Хитрова Е. М., Пешкова О. В. Технологические аспекты концепции формирования единого информационного пространства современного предприятия // *Известия Байкальского государственного университета*. 2023. Т. 33, № 4. С. 735–743. doi: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743 EDN: TBAJYZ
14. Штиллер М. В., Трушкевич И. М. Нейро-компьютеризация как вызов цифровой экономики // *Baikal Research Journal*. 2023. Т. 14, № 1. С. 267–277. doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).267-277 EDN: TRZKDG
15. Больцман Л. Статьи и речи. М. : Наука, 1970. 406 с.
16. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика. М. : Наука, 1982. 584 с.
17. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики. М. : Государственное издательство иностранной литературы, 1947. 146 с.
18. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М. : Наука, 1983. 341 с.
19. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М. : КомКнига, 2005. 296 с.
20. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М. : Мир, 1985. 423 с.
21. Ферстер Г. О самоорганизующихся системах и их окружении // *Самоорганизующиеся системы*. М. : Мир, 1964. С. 113–139.
22. Арнольд В. И. Теория катастроф. М. : Наука, 1990. 128 с.
23. Шеннон К. Современные достижения теории связи // *Информационное общество : сб. М. : АСТ, 2004. С. 23–40.*
24. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication // *The Bell System Technical Journal*. 1948. № 27. P. 379–423, 623–656.
25. Абашкин В. Л., Абдрахманова Г. И., Вишневецкий К. О. [и др.]. Индикаторы цифровой экономики: 2024 : стат. сб. М. : ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. 276 с.
26. Chuprov S. Knowledge in the model of dynamics and stability of an industrial enterprise // *Northern Sustainable Development Forum 2020. SHS. Web of Conferences*. 2021. № 112. P. 00034. doi: 10.1051/shsconf/202111200034
27. Аганбегян А. Г., Порфирьев Б. Н., Широков А. А. О преодолении текущего кризиса и путях развития экономики России // *Научные труды вольного экономического общества России*. 2021. Т. 227. С. 193–213. doi: 10.38197/2072-2060-2021-227-1-193-213
28. Шаститко А. Е. К политической экономии научно-технологического развития (на примере России) // *Управление наукой: теория и практика*. 2021. Т. 3, № 4. С. 51–59. doi: 10.19181/smtp.2021.3.4.6
29. Chuprov S. Industrial enterprise stability management in a globalized economy // *International Scientific Conference «Far East Con» (ISCFEC 2020). Series: Advances in Economics, Business and Management Research*. 2020. № 128. P. 1188–1192. doi: 10.2991/aebmr.k.200312.165

30. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 798 с.

References

1. Glaz'ev S.Yu. *Ryvok v budushchee. Rossiya v novykh tekhnologicheskoy i mirokhozaystvennom ukladakh («Kollektsiya Izborskogo kluba») = A leap into the future. Russia in new technological and world economic structures ("Collection of the Izborsky Club")*. Moscow: Knizhnyy mir, 2018:768. (In Russ.)
2. Afanas'ev M.Yu., Bodrunov S.D., Dement'ev V.E. et al. *Osnovnye napravleniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii: obosnovanie i otsenka posledstviy (po itogam model'nykh issledovaniy TsEMI RAN) = The main directions of socio-economic development of Russia: justification and evaluation of the consequences (based on the results of model studies of the CEMI RAS)*. Moscow: TsEMI RAN, 2023:116. (In Russ.)
3. *Industry 4.0 Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029)*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industry-4-0-market> (accessed 20.09.2024).
4. *Industry 4.0 Market: Global Industry Analysis and Forecast (2024–2030) by Technology Type, Vertical and Region (2024)*. Available at: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-industry-4-0-market/35222/> (accessed 20.09.2024).
5. Strategic direction in the field of digital transformation of manufacturing industries related to the sphere of activity of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation : [approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated November 7, 2023 No. 3113-r]. (In Russ.). Available at: <http://static.government.ru/media/files/OwFdjc3nMWk3BqAUbjqdJImPl3NxqRIS.pdf> (accessed 20.09.2024).
6. Shennon K. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike = Works on information theory and cybernetics*. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1963:829. (In Russ.)
7. Trapeznikov V.A. *Upravlenie i nauchno-tehnicheskii progress = Management and scientific and technical progress*. Moscow: Nauka, 1983:224. (In Russ.)
8. Babkin A., Tashenova L., Chuprov S. Management of sustainability and development of systems in the context of the synergetic paradigm. *Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems. CTS 2017.2*. 2017:318–321. doi: 10.1109/CTSIS.2017.8109556
9. Khudyakova T., Shmidt A. Methodical approaches to managing the sustainability of enterprises in a variable economy. *Espacios*. 2018;(39).
10. Akberdina V., Smirnova O. Innovations in Industry as a Factor of Structural Changes in the Economy: Russian Experience. *SHS Web of Conferences*. 2021;(110):01051. doi: 10.1051/shsconf/202111001051
11. Alekseeva N., Babkin A., Makhmudova G., Yung A. Research and Assessment of Innovatively-Active Industrial Cluster Development. *Proceedings of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University International Scientific Conference on innovations in digital economy*. 2020;(38):1–6. doi: 10.1145/3444465.3444485
12. Vorontsova M.A., Isaeva A.G., Krasnikov A.V. Assessment of the innovative activity of industrial enterprises in the region in the context of structural transformations of the national economy. *Baikal Research Journal*. 2023;14(1):130–140. (In Russ.). doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).130-140 EDN: ODUTUJ
13. Khitrova T.I., Khitrova E.M., Peshkova O.V. Technological aspects of the concept of forming a unified information space of a modern enterprise. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Baikal State University*. 2023; 33(4):735–743. (In Russ.). doi: 10.17150/2500-2759.2023.33(4).735-743 EDN: TBAJYZ
14. Shtiller M.V., Trushkevich I.M. Neuro-computerization as a challenge to the digital economy. *Baikal Research Journal*. 2023;14(1):267–277. (In Russ.). doi: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).267-277 EDN: TRZKDG
15. Bol'tsman L. *Stat'i i rech'i = Articles and speeches*. Moscow: Nauka, 1970:406. (In Russ.)

16. Gibbs J.W. *Termodinamika. Statisticheskaya mekhanika = Thermodynamics. Statistical mechanics*. Moscow: Nauka, 1982:584. (In Russ.)
17. Shredinger E. *Chto takoe zhizn'? S tochki zreniya fiziki = What is life? From the point of view of physics*. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1947:146. (In Russ.)
18. Viner N. *Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine = Cybernetics, or control and communication in an animal and a machine*. Moscow: Nauka, 1983:341. (In Russ.)
19. Prigozhin I., Stengers I. *Poryadok iz khaosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy = Order from chaos. A new dialogue between man and nature*. Moscow: KomKniga, 2005:296. (In Russ.)
20. Haken H. *Sinergetika: ierarkhii neustoychivostey v samoorganizuyushchikhsya sistemakh i ustroystvakh = Synergetics: hierarchies of instabilities in self-organizing systems and devices*. Moscow: Mir, 1985:423. (In Russ.)
21. Ferster G. On self-organizing systems and their environment. *Samoorganizuyushchiesya sistemy = Self-organizing systems*. Moscow: Mir, 1964:113–139. (In Russ.)
22. Arnold V.I. *Teoriya katastrof = Theory of catastrophes*. Moscow: Nauka, 1990:128. (In Russ.)
23. Shennon C. Modern achievements of communication theory. *Informatsionnoe obshchestvo: sb. = Information society : coll.* Moscow: AST, 2004:23–40. (In Russ.)
24. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948;(27):379–423,623–656.
25. Abashkin V.L., Abdrakhmanova G.I., Vishnevskiy K.O. et al. *Indikatory tsifrovoy ekonomiki: 2024: stat. sb. = Indicators of the digital economy: 2024 : stat. coll.* Moscow: ISIEZ VShE, 2024:276. (In Russ.)
26. Chuprov S. Knowledge in the model of dynamics and stability of an industrial enterprise. *Northern Sustainable Development Forum 2020. SHS. Web of Conferences*. 2021;(112):00034. doi: 10.1051/shsconf/202111200034
27. Aganbegyan A.G., Porfir'ev B.N., Shirov A.A. On overcoming the current crisis and ways of developing the Russian economy. *Nauchnye trudy vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii = Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2021;227:193–213. (In Russ.). doi: 10.38197/2072-2060-2021-227-1-193-213
28. Shastitko A.E. Towards the political economy of scientific and technological development (on the example of Russia). *Upravlenie naukoy: teoriya i praktika = Management of science: theory and practice*. 2021;3(4):51–59. (In Russ.). doi: 10.19181/smt.2021.3.4.6
29. Chuprov S. Industrial enterprise stability management in a globalized economy. *International Scientific Conference «Far East Con» (ISCFEC 2020). Series: Advances in Economics, Business and Management Research*. 2020;(128):1188–1192. doi: 10.2991/aebmr.k.200312.165
30. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie = Fuzzy modeling and control*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009:798. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Витальевич Чупров

доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры менеджмента и сервиса,
Байкальский государственный
университет
(Россия, г. Иркутск, ул. Ленина, 11)
E-mail: ChuprovSV@yandex.ru

Sergey V. Chuprov

Doctor of economical sciences,
professor, professor of the sub-department
of management and service,
Baikal State University
(11 Lenin street, Irkutsk, Russia)

Александр Васильевич Бабкин

доктор экономических наук, профессор,
профессор Высшей инженерно-
экономической школы,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
(Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 29)
E-mail: al-vas@mail.ru

Aleksandr V. Babkin

Doctor of economical sciences, professor,
professor of the higher school
of engineering and economics,
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University
(29 Polytechnicheskaya street,
St. Petersburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 05.09.2024

Поступила после рецензирования/Revised 21.09.2024

Принята к публикации/Accepted 22.09.2024

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУБЪЕКТОВ ИННОВАЦИОННОГО РЫНКА ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Е. М. Бижанова¹, В. М. Мыскин², Л. Н. Семеркова³

^{1, 2, 3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
¹ janette@list.ru, ² myskin.vlad97@gmail.com, ³ Lyubov.semerkova55@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Необходимость ускоренно импортозамещать зарубежное программное обеспечение привела к значительному росту относительно нового рынка информационных технологий и промышленной автоматизации. Несмотря на то, что компании занимаются автоматизацией своей деятельности уже более 20 лет, многие из них до последнего времени использовали зарубежное программное обеспечение, что в современных условиях влечет за собой возможные серьезные угрозы для их деятельности. Именно это обусловило рост отечественного рынка промышленной автоматизации и бурный рост новых технологий, особенно в сфере автоматизации, дает основание назвать указанный рынок инновационным. Вместе с тем, как и на большинстве рынков, разрушились устоявшиеся цепочки взаимодействия, и бизнес-процессы стали сложнее. Это подтолкнуло компании, работающие на нем, предлагать собственные решения по автоматизации бизнеса и заново выстраивать эти цепочки: находить новых бизнес-партнеров, разрабатывать новые механизмы взаимодействия. Для повышения эффективности работы компаний на инновационном рынке промышленной автоматизации необходимо описать систему взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации, понять место конкретной компании в этой системе, а также выстроить ее деятельность в соответствии с работающими на рынке механизмами и тенденциями. *Материалы и методы.* Для более глубокого понимания природы взаимодействия субъектов инновационного рынка промышленной автоматизации в исследовании будет использоваться системный подход, который поможет описать не только поведение входящих в систему субъектов, но и существующие между ними отношения, а также объяснить взаимосвязи между ними. Кроме того, системный подход позволит классифицировать субъекты рынка на основе определенной единицы анализа и рассмотреть взаимодействия именно с этих позиций. *Результаты.* Рассмотрены основные элементы системы взаимодействия субъектов инновационного рынка промышленной автоматизации. Выявлена особенность продукта на рынке. Рассмотрены виды компаний-разработчиков на рынке и условия, в которых они вынуждены работать, включая барьеры и ограничения, выставляемые заказчиками рынка. Выявлены особенности взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации. *Выводы.* Сделан вывод о том, что знание особенностей взаимодействия субъектов инновационного рынка промышленной автоматизации повысит эффективность работы компаний-разработчика, а также поможет сформировать ее отличительные рыночные преимущества, которые позволят компании выделиться на фоне конкурентов.

Ключевые слова: модель, система взаимодействия субъектов промышленного рынка, инновационный рынок промышленной автоматизации, автоматизированная система управления

Для цитирования: Бижанова Е. М., Мыскин В. М., Семеркова Л. Н. Модель системы взаимодействия субъектов инновационного рынка промышленной автоматизации // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 86–97. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-7

MODEL OF THE SYSTEM OF INTERACTION BETWEEN SUBJECTS OF THE INNOVATIVE INDUSTRIAL AUTOMATION MARKET

E.M. Bizhanova¹, V.M. Myskin², L.N. Semerkova³

^{1, 2, 3} Penza State University, Penza, Russia

¹ janette@list.ru, ² myskin.vlad97@gmail.com, ³ Lyubov.semerkova55@yandex.ru

Abstract. *Background.* The need to quickly replace foreign software imports has led to significant growth in the relatively new information technology and industrial automation market. Despite the fact that companies have been automating their activities for more than 20 years, many of them have used foreign software until recently, which in modern conditions entails possible serious threats to their activities. This is what caused the growth of the domestic industrial automation market, and the rapid growth of new technologies, especially in the field of automation, gives reason to call this market innovative. At the same time, as in most markets, the established interaction chains have collapsed and business processes have become more complex. This prompted companies operating in it to offer their own business automation solutions and rebuild these chains: find new business partners, develop new interaction mechanisms. To improve the efficiency of companies in the innovative industrial automation market, it is necessary to describe the system of interaction of industrial automation market participants, understand the place of a specific company in this system, and build its activities in accordance with the mechanisms and trends operating in the market. *Materials and methods.* For a deeper understanding of the nature of interaction of innovative industrial automation market participants, the study will use a systems approach that will help not only to describe the behavior of the participants in the system, but also to describe the relationships existing between them and explain the interrelations between them. In addition, a systems approach will allow classifying market participants based on a specific unit of analysis and considering interactions from these positions. *Results.* The main elements of the system of interaction of innovative industrial automation market participants are considered. The peculiarity of the product in the market is revealed. The types of developer companies in the market and the conditions in which they are forced to work are considered, including barriers and restrictions imposed by market customers. The features of interaction of industrial automation market participants are revealed. *Conclusions.* It is concluded that knowledge of the specifics of interaction between innovative industrial automation market participants will increase the efficiency of the developer company and will also help to form its distinctive market advantages that will allow the company to stand out from its competitors.

Keywords: model, system of interaction between industrial market participants, innovative industrial automation market, automated control system

For citation: Bizhanova E.M., Myskin V.M., Semerkova L.N. Model of the system of interaction between subjects of the innovative industrial automation market. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):86–97. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-7

Актуальность и цели

В современных условиях важной является проблема импортозамещения во всех областях. Особенно актуальной эта проблема видится в области автоматизации субъектов промышленного рынка, так как от их бесперебойной деятельности зависят в некоторых случаях безопасность и обороноспособность страны. Необходимость ускоренно импортозамещать зарубежное программное обеспечение привела к значительному росту относительно нового рынка информационных технологий и промышленной автоматизации. Несмотря на то, что компании занимаются автоматизацией своей деятельности уже более

20 лет, многие из них до последнего времени использовали зарубежное программное обеспечение, что в современных условиях влечет за собой возможные серьезные угрозы для их деятельности. Именно это обусловило рост отечественного рынка промышленной автоматизации.

Вместе с тем, как и на большинстве рынков, разрушились устоявшиеся цепочки взаимодействия, и бизнес-процессы стали сложнее. Это подтолкнуло компании, работающие на нем, предлагать собственные решения по автоматизации бизнеса и заново выстраивать эти цепочки: находить новых бизнес-партнеров, разрабатывать новые механизмы взаимодействия.

Специфика данного рынка заключается в том, что компании, работающие на нем, могут выступать в разных ролях: и как конкуренты, и как партнеры. Более того, спектр выполняемых работ и оказываемых услуг достаточно широк: от продажи оборудования и комплектующих до разработки программного обеспечения для уже имеющегося оборудования. Так как в некоторых случаях входные барьеры на рынке достаточно низкие и высока скорость информатизации промышленных объектов, на рынке одновременно действует большое количество компаний различного размера, оказывающих как комплексные, так и отдельные работы. Это дает основание считать рынок высококонкурентным, а работу на нем – достаточно сложной.

Для повышения эффективности работы компаний на рынке промышленной автоматизации необходимо описать систему взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации, понять место конкретной компании в этой системе, а также выстроить ее деятельность в соответствии с работающими на рынке механизмами и тенденциями.

Материалы и методы

Для более глубокого понимания природы взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации в исследовании будет использоваться системный подход, который поможет описать не только поведение входящих в систему субъектов, но и существующие между ними отношения, а также объяснить взаимосвязи между ними. Кроме того, системный подход позволит классифицировать субъекты рынка на основе определенной единицы анализа и рассмотреть взаимодействия именно с этих позиций.

Основные положения системного подхода рассматривались в трудах А. А. Богданова [1], Ч. Барнарда, П. Друкера [3], Дж. Форрестера, Т. Парсонса [5] и др.

Система взаимодействия субъектов промышленного рынка представляет собой совокупность различных компаний, действующих на нем, их взаимосвязей и отношений в процессе реализации предназначения системы и образующих определенную целостность [2]. Важным для описания модели системы взаимодействия является понимание структуры этой системы, которая представляется собой упорядоченный комплекс элементов, выполняющих конкретные задачи для результативного достижения ее общей цели [6]. При этом важным представляется определение оптимального числа элементов системы, их иерархии и системы взаимосвязей [7].

Для описания и анализа модели системы взаимодействия субъектов промышленного рынка важно учитывать ее внешнюю и внутреннюю среды. Внешняя среда называется макросредой и представляет собой неконтролируемые макроэкономические процессы и явления, от которых зависит развитие этой

системы. Микросреда состоит из объектов, с которыми система находится в непосредственном взаимодействии.

В рамках данного исследования особое внимание будет уделено следующим аспектам:

- составу, соотношению и характеру компонентов системы;
- назначению и выполняемым функциям системы и ее элементов;
- источникам и особенностям образования системы, трендам и перспективам дальнейшего развития.

Результаты

В настоящее время рынок промышленной автоматизации активно развивается: в ситуации глобальной цифровизации и минимизации так называемого человеческого фактора производственных процессов все большее количество компаний становятся его участниками. Современные промышленные предприятия для повышения эффективности своей работы все больше обращаются к полной автоматизации бизнес-процессов, тем более что это связано с большей производительностью, меньшей травматичностью и уменьшением численности обслуживающего персонала. Следствием этого является увеличение эффективности работы предприятия в целом.

Основными субъектами рынка промышленной автоматизации являются компании-производители автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и оборудования и потребители их услуг. Изначально под потребителями понимались только промышленные объекты, производство на которых было связано с опасными технологическими процессами. При этом предполагалось, что автоматизированная система управления уже внедрена на них либо предполагается к внедрению в ближайшее время. Постепенно к указанным субъектам добавились другие промышленные предприятия, и в настоящее время потребителем АСУ ТП может быть любая компания вне зависимости от сферы деятельности.

В настоящее время наиболее крупными игроками рынка промышленной автоматизации являются нефтегазовая и нефтехимическая промышленность – 25 % всех потребителей, энергетика – 15 %, военно-промышленный комплекс (ВПК) – 12 %, добыча и обогащение полезных ископаемых и машиностроение – по 10 % (рис. 1) [8]. При этом следует отметить рост доли предприятий ВПК в структуре потребителей рынка промышленной автоматизации.

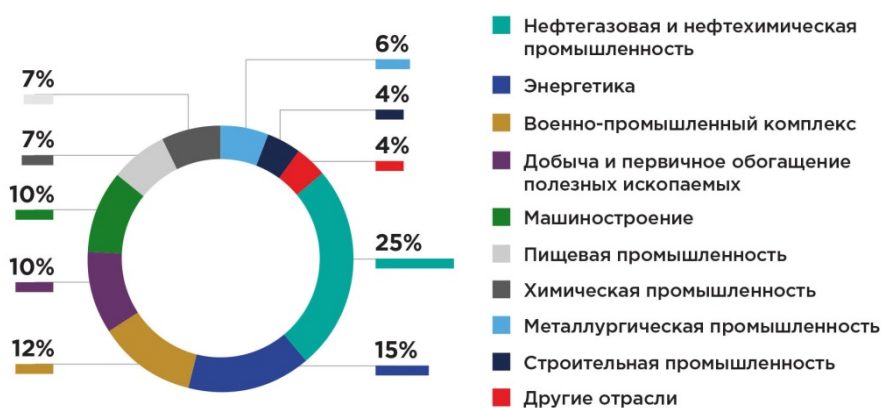


Рис. 1. Структура рынка АСУ ТП, 2023 г.

Результаты исследований академии Technored показали, что, несмотря на очевидные преимущества внедрения автоматизированных систем управления, в 2023 г. всего около 16 % российских промышленных предприятий имеют высокий уровень автоматизации, что говорит о значительном дальнейшем росте рынка. При этом всего 37 % предприятий оценивают уровень собственной автоматизации как средний [8].

О значительном росте интереса к системам промышленной автоматизации говорит тот факт, что до 2020 г. автоматизация промышленности в России проводилась с использованием зарубежных программных продуктов и комплектующих. Кризис случился в 2020 г., когда компании-производители АСУ столкнулись с дефицитом комплектующих для своей работы: из-за сбоя логистических систем значительно увеличились сроки поставки чипов. В 2022 г. с рынка ушли ведущие мировые игроки данного рынка: Siemens, Schneider Electric, ABB, что привело к пониманию важности собственных разработок микроэлектронной продукции [9].

Следует обратить внимание на проблемы, связанные с использованием зарубежных систем АСУ ТП. Во-первых, с уходом зарубежных игроков прекратились поставки комплектующих, что привело к проблемам с функционированием систем. Во-вторых, отказ обозначенных компаний от выполнения обязательств привел к проблемам в работе АСУ ТП вплоть до дистанционного их отключения. Все это говорит о необходимости отечественным производителям АСУ ТП активно развиваться и предлагать потребителям альтернативные решения [10].

Виды субъектов-производителей рынка промышленной автоматизации определяются исходя из специфических свойств предлагаемого ими продукта, которые исходят из этапов проектирования обозначенных систем. При этом следует особо отметить, что компании-производители могут выполнять как отдельные этапы проектирования АСУ ТП, так и все этапы работы «под ключ». Понимание этого объясняет дробление рынка промышленной автоматизации на сегменты и деление компаний на категории:

- 1) производство и реализация технических аппаратных средств;
- 2) разработка и продажа программного обеспечения;
- 3) инжиниринговые услуги: проектирование, монтаж, обслуживание, обучение, разработка должностных инструкций и т.д.

В зависимости от категории и направления работы компании на рынке, связанного с его охватом, фирмы выбирают наиболее подходящую структуру, квалификацию и количество персонала, а управление концентрируется именно на тех бизнес-процессах, которые позволят с наибольшей эффективностью использовать имеющиеся у компании ресурсы.

Кроме того, можно выделить четвертую категорию компаний, которая будет реализовывать все три направления деятельности и осуществлять автоматизацию «под ключ», предлагая потребителю «бесшовные» системы автоматизации предприятия. Возможные барьеры, с которыми могут столкнуться представители всех указанных видов компаний, представлены в табл. 1 [4].

Перейдем к анализу взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации. Результаты исследований рынка промышленной автоматизации позволили выделить его ключевую особенность – разработка и производство масштабных систем автоматизации не могут быть выполнены до окончательного

заключения договора с потребителем. Это объясняется уникальностью каждой АСУ ТП, так как они разрабатываются под конкретные запросы по содержанию и функционалу от заказчика. Именно это объясняет важность при организации взаимодействия между субъектами рынка начинать его с осознания потребности заказчиком и изучения потребности заказчика разработчиком.

Таблица 1

Направления деятельности компаний на рынке АСУ ТП

Вид компании	Характер входного барьера
Компания занимается разработкой технической продукции и аппаратного оборудования АСУ ТП. Ориентируется на поставку «физического» товара на рынок	Высокий входной барьер, связанный с необходимостью разработки определенной технологии производства и производственных мощностей
Компания занимается разработкой цифровых товаров и программно-информационным обеспечением АСУ ТП. Ориентируется на поставку программных товаров на рынок	Средний входной барьер. Для входа на рынок необходимы программные наработки и высокий уровень компетенции управляющего и разрабатывающего персонала
Компания занимается проектированием, инжиниринговыми работами, разработкой, внедрением и сопровождением систем управления. Ориентируется на поставку услуг на рынок и перепродажу товара	Низкий входной барьер. Для входа на рынок требуется средний уровень компетенции персонала, который зачастую нарабатывается с опытом внедрения проектов
Компании, занимающиеся реализацией работ «под ключ». Ориентируются на поставку/перепродажу товаров, в зависимости от наличия собственного производства, и реализацию полного комплекса услуг	Наиболее высокий входной барьер. Выйти на рынок, охватывая весь комплекс работ, практически невозможно из-за необходимости одновременного наличия опыта, технологий и высоких компетенций в разработке аппаратной, программной и информационной частей, а также выполнении всех инжиниринговых работ

Особенностью потребностей на промышленном рынке является их рациональный характер, выраженный в количественных и качественных параметрах, связанных, как правило, с улучшением качества как технологического процесса, так и выпускаемой продукции, а также с ростом производительности. Как правило, заказчик после внедрения АСУ ТП ждет некоторых экономических эффектов, например снижения издержек, повышения надежности и безотказности производства.

Особенностью работы на промышленном рынке является разделение покупателя и конечного пользователя приобретенного продукта [11]. Так, конечным пользователем АСУ ТП является линейный персонал, занимающийся обслуживанием производственного процесса на конкретном промышленном объекте. В связи с этим при разработке АСУ ТП необходимо выяснить их требования и по возможности учесть при разработке, однако помнить, что это не является решающим фактором при заключении сделки – предлагаемая

система, конечно, должна быть удобной для персонала, однако решение о заключении сделки принимается на другом уровне.

Покупателем или лицом, принимающим решение, на промышленном рынке является высшее руководство организации, поскольку покупка и внедрение в деятельность АСУ ТП влекут за собой значительные затраты и полную перестройку работы компании. Конечно, требования к параметрам и функционалу будущей системы автоматизации формулируются по итогам изучения обратной связи от линейного персонала. Однако есть и другие параметры выбора партнера для взаимодействия. Наиболее значимыми среди них являются надежность компании-поставщика, качество его работы.

В современных реалиях многие российские промышленные предприятия входят в состав различных холдингов и корпораций: так, практически в каждом регионе есть такой игрок на рынке, в состав которого входят значительное количество различных промышленных объектов. Именно на этом уровне действует так называемый закупочный центр, который принимает решение о закупке АСУ ТП, и именно на людей, работающих там, необходимо воздействовать. Это значительно усложняет процесс переговоров и принятия решения о покупке, так как цели и представления закупочного центра часто не совпадают с мнением конечного пользователя.

Таким образом, при установлении взаимодействия между субъектами рынка промышленной автоматизации с целью продажи АСУ ТП разработчику необходимо учесть требования всех участников процесса покупки, внедрения и эксплуатации продукта. При этом необходимо обратить внимание на выявленные в ходе исследования особенности рассматриваемого рынка.

Первая особенность состоит в том, что крупные игроки рынка пытаются создать собственные экосистемы, включающие компании, которые занимаются разработкой и внедрением АСУ ТП. Это приводит к некоторым негативным явлениям и стагнации рынка в целом, так как именно у этих компаний есть преимущества перед другими компаниями при прохождении договорного барьера: договор заключается внутри экосистемы между своими компаниями, равно как и финансовые потоки.

Негативные явления в данном случае объясняются тем, что указанные компании не вносят вклад в развитие отрасли в целом, поскольку они решают конкретные задачи по разработке систем под конкретные запросы и поддержанию работоспособности существующих систем. Вместе с тем наличие надежных каналов сбыта, как правило, не стимулирует развитие таких компаний и ведет к уменьшению конкуренции на нем, так как все проекты делятся между известными компаниями еще до начала тендерных закупок.

Второй особенностью являются входные барьеры для разработчиков при реализации АСУ ТП «под ключ». Такой подход требует от компаний не только большого опыта и необходимых компетенций работников, но и значительных производственных мощностей, поэтому системные интеграторы в некоторых случаях для заключения договора преувеличивают масштабы выполняемых работ, а те из них, которые не могут самостоятельно реализовать после заключения договора, передают субподрядчикам. С одной стороны, такая ситуация развивает некоторые отрасли рынка, создавая возможности для небольших компаний специализироваться на конкретных направлениях и участвовать в реализации крупных проектов, а с другой – является причиной появления

компаний-паразитов, самостоятельно не выполняющих работы и являющихся лишь посредниками, не несущими ответственность за качество выполняемых работ и уменьшающих объемы финансирования на собственно процессы разработки и производства, что ведет к снижению качества.

Результаты исследований позволили разделить всех субъектов-производителей рынка промышленной автоматизации на «вендоров» и «системных интеграторов» [12]. «Вендоры», в свою очередь, подразделяются на тех, кто разрабатывает и производит:

- 1) только контроллеры (например, компания TREI);
- 2) только программное обеспечение (например, компания «Атомик»);
- 3) комплексы/ ПТК (например, компании «КРУГ» и «Прософт»).

Анализ результатов проведенного исследования позволил разделить системных интеграторов по отношению к объему выполняемых работ на две категории, в которые не входят компании-паразиты. К первой категории относятся компании, выполняющие полный объем работ за исключением производства узконаправленного, вспомогательного и специализированного оборудования. Ко второй категории относятся специализированные компании, работающие с несколькими направлениями и выполняющие узкоспециализированные заказы.

Результаты исследования взаимодействия компаний-разработчиков с потребителями показали необходимость обязательного сегментирования последних (потребителей) по отраслям, так как в различных сегментах рынка разнится доля и власть холдингов и корпораций, что способствует формированию специфических особенностей конкретных отраслей.

Рассмотрим более подробно механизмы взаимодействия компаний-разработчиков на рынке промышленной автоматизации (рис. 2) [4]. Вне зависимости от вида компаниям-разработчикам необходимо выстроить отношения с поставщиками оборудования, которое не в силах произвести самостоятельно: например, с производителями сетевого, компьютерного и сложного полупроводникового оборудования. Это ставит предприятия перед необходимостью устанавливать отношения с указанными предприятиями, тем самым увеличивая количество транзакций и разрабатывая механизмы взаимодействия с ними для достижения необходимого качества готового продукта. С другой стороны, разработчики АСУ ТП находятся в непрерывном взаимодействии с заказчиком, так как для качественного выполнения работ необходимы исследование промышленных объектов и их оценка на предмет масштабов и состава работ. Все это заставляет компании использовать разные модели долгосрочного экономического взаимодействия с субъектами рынка для более эффективного решения поставленных задач.

Для грамотного выбора модели взаимодействия с субъектами рынка необходимы тщательный анализ и аудит его тенденций, поведения конкурентов, поставщиков, потребителей и других субъектов. Особенное внимание следует уделить анализу конкурентной среды, так как на рассматриваемом рынке она значительна.

Анализ результатов исследования показал, что основным критерием выбора поставщика на рынке промышленной интеграции является стоимость его услуг. Такая ситуация сложилась во многом из-за отсутствия четких и регламентированных критериев оценки качества на рынке, а также однотипности

предлагаемых решений. В то же время для заказчиков важным является оптимальное, по их мнению, соотношение «цена – качество», что они отражают в процессе формирования задания на разработку. Следует пояснить, что в рамках рассмотрения технической системы как продукта качество определяется охватываемым ею функционалом и безотказностью работы. Именно поэтому в технических заданиях особенно крупных заказчиков подробно описаны требования к техническим и функциональным характеристикам будущей системы.

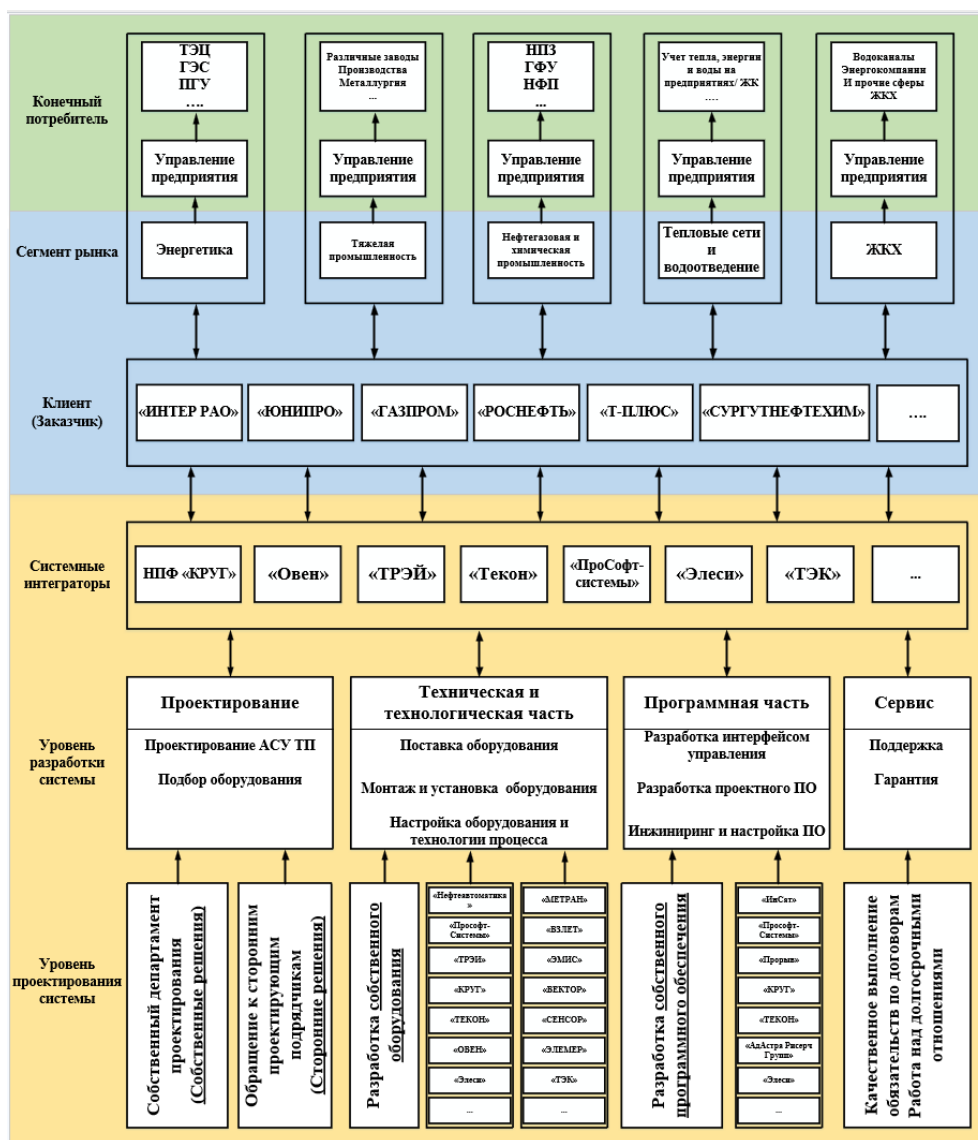


Рис. 2. Взаимодействие компаний на рынке промышленной автоматизации

Еще одним выявленным в процессе исследования фактором, влияющим на выбор компании-поставщика, является формирование дополнительных барьеров участия в тендерах крупными игроками. Этими барьерами могут

выступать, в частности, отсутствие у компаний-разработчиков таких документов, как сертификаты, лицензии, разрешения и т.п. Кроме того, дополнительным барьером может служить отсутствие у компании регистрации в различных государственных и локальных реестрах, например «реестрах доверенных поставщиков», которые создаются крупными игроками рынка. Эти компании рассматривают в качестве исполнителей работ только входящих в указанные реестры разработчиков АСУ ТП. Условиями попадания в реестр является взнос в размере от 1,5 млн руб. (что, видимо, гарантирует устойчивое положение такой компании), а также дополнительная проверка производимой продукции на ее соответствие обозначенным заказчиком требованиям. Присутствие компании-разработчика в реестре является гарантом качества оказываемых услуг, а решающим фактором выбора является только стоимость контракта.

В рамках рассмотрения взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации также следует обратить внимание на договорные отношения между его участниками. Так, некоторые компании в рамках выдвигаемых условий прописывают большое число реализованных проектов, отсутствие предоплаты для большого объема закупки, кредитные взносы на страхование проектов и т.д. Эти условия становятся барьером для небольших компаний, недолгое время работающих на рынке и не имеющих финансовой поддержки.

Выводы

Таким образом, основными элементами системы взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации являются компания-разработчик АСУ ТП и промышленное предприятие-заказчик работ. Они взаимодействуют в рамках сложившихся рыночных условий и нацелены на максимально полное решение поставленных задач. Особенностью продукта на рынке является невозможность его разработки до установления контрактных отношений, поскольку все системы являются уникальными и направлены на решение конкретных задач предприятия-заказчика.

Были рассмотрены виды компаний-разработчиков на рынке и условия, в которых они вынуждены работать, включая барьеры и ограничения, выставляемые заказчиками рынка. Исследования показали, что в некоторых случаях эти компании не имеют достаточно ресурсов для быстрой адаптации к изменяющимся условиям внешней среды. Кроме того, важно отметить, что качество продукта определяется конечным пользователем, который далеко не всегда участвует в процессе переговоров и заключения контракта на покупку системы. Знание этих особенностей взаимодействия субъектов рынка промышленной автоматизации поможет его участникам более эффективно работать и находить свое собственное место на рассматриваемом рынке. Рекомендуется обратить внимание на формирование отличительных рыночных преимуществ, которые позволят компании выделиться на фоне конкурентов.

Список литературы

1. Богданов А. А. Тектология: всеобщая организационная наука : в 2 кн. М. : Экономика, 1989. 653 с.
2. Гамидуллаева Л. А., Шкарупета Е. В., Тарасов А. В., Лузгина О. А. Разработка и реализация сценариев цифровой трансформации промышленных экосистем //

- Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2019. № 4 (52). С. 202–210. doi: 10.21685/2072-3016-2019-4-20 EDN: XXEVIW
3. Друкер П. Рынок. Как выйти в лидеры: практика и принципы : пер. с англ. М., 1992. 351 с.
4. Мыскин В. М. Разработка стратегии позиционирования и продвижения компании на промышленном ИТ-рынке : магистерская диссертация. Пенза, 2024.
5. Парсонс Т. Система современных обществ / пер. с англ. Л. А. Седова и А. Д. Ковалева. М. : Аспект Пресс, 1998. 269 с.
6. Буньковский Д. В. Промышленное предпринимательство в нефтепереработке и нефтегазохимии: проблемы и перспективы : дис. ... д-ра эконом. наук : 08.00.05. М., 2021.
7. Толстых Т. О., Шмелева Н. В., Гамидуллаева Л. А., Краснобаева В. С. Роль коллаборации в развитии интеграции промышленных предприятий // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 1 (45). С. 5–36. doi: 10.21685/2227-8486-2023-1-1 EDN: RKDRAZ
8. Рынок автоматизированных систем управления в России в 2023 году. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-avtomatizirovannykh-sistemy-upravleniya-v-rossii-v-2023-godu/>
9. 98 % российских проектов металлургии, ТЭКа и химии реализуются на зарубежном ПО. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>
10. Анциферов И. Ю. Автоматизированные системы управления в России в 2023 году: проблемы и тенденции // Молодой ученый. 2024. № 3 (502). С. 1–4. URL: <https://moluch.ru/archive/502/110251/>
11. Куц С. П. Методология управления межфирменными взаимоотношениями на промышленных рынках : дис. ... д-ра эконом. наук : 08.00.05. СПб., 2007.
12. Тумакова А. ПАКи и импортозамещение. Решения, проекты, комментарии экспертов отечественного ИТ-рынка. URL: <https://ict-online.ru/analytics/ПАКи-i-imp-ortozameshcheniye-Resheniya-proyekty-kommentarii-ekspertov-otechestvennogo-IT-rynka-285763>

References

1. Bogdanov A.A. *Tektologiya: vseobshchaya organizatsionnaya nauka: v 2 kn. = Tectology: universal organizational science: in 2 books*. Moscow: Ekonomika, 1989:653. (In Russ.)
2. Gamidullaeva L.A., Shkarupeta E.V., Tarasov A.V., Luzgina O.A. Development and implementation of scenarios for the digital transformation of industrial ecosystems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennye nauki = News of higher educational institutions. The Volga region. Social sciences*. 2019;(4):202–210. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3016-2019-4-20 EDN: XXEVIW
3. Druker P. *Rynok. Kak vyyti v lidery: praktika i printsipy: per. s angl. = Market. How to become a leader: practice and principles : trans. from English*. Moscow, 1992:351. (In Russ.)
4. Myskin V.M. *Razrabotka strategii pozitsionirovaniya i prodvizheniya kompanii na promyshlennom IT-rynke: masterskaya dissertatsiya = Development of a strategy for positioning and promoting a company in the industrial IT market : master's thesis*. Penza, 2024. (In Russ.)
5. Parsons T. *Sistema sovremennykh obshchestv = The system of modern societies*. Transl. from English by L.A. Sedov, A.D. Kovalev. M. : Aspekt Press, 1998. 269 s. (In Russ.)
6. Bun'kovskiy D.V. Industrial entrepreneurship in oil refining and petrochemistry: problems and prospects: DSc dissertation. Moscow, 2021. (In Russ.)
7. Tolstykh T.O., Shmeleva N.V., Gamidullaeva L.A., Krasnobaeva V.S. The role of collaboration in the development of integration of industrial enterprises. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in*

- economics, technology, nature and society*. 2023;(1):5–36. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2023-1-1 EDN: RKDRAZ
8. *Rynok avtomatizirovannykh sistem upravleniya v Rossii v 2023 godu = The market of automated control systems in Russia in 2023*. (In Russ.). Available at: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-avtomatizirovannykh-sistemy-upravleniya-v-rossii-v-2023-godu/>
 9. *98 % rossiyskikh proektov metallurgii, TEKa i khimii realizuyutsya na zaru-bezhnom PO = 98 % of Russian metallurgy, fuel and energy complex and chemistry projects are implemented in foreign software*. (In Russ.). Available at: <https://www.tadviser.ru/index.php>
 10. Antsiferov I.Yu. Automated control systems in Russia in 2023: problems and trends. *Molodoy uchenyy = Young Scientist*. 2024;(3):1–4. (In Russ.). Available at: <https://moluch.ru/archive/502/110251/>
 11. Kushch S.P. Methodology of management of inter-company relationships in industrial markets: DSc dissertation. Saint Petersburg, 2007. (In Russ.)
 12. Tumakova A. *PAKi i importozameshchenie. Resheniya, proekty, kommentarii ekspertov otechestvennogo IT-rynka = PAKi and import substitution. Solutions, projects, comments from experts of the domestic IT market*. (In Russ.). Available at: <https://ict-online.ru/analytics/PAKi-i-importozameshcheniye-Resheniya-proyekty-kommentarii-ekspertov-otchestvennogo-IT-rynka-285763>

Информация об авторах / Information about the authors

Евгения Михайловна Бижанова

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры менеджмента
и государственного управления,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: janette@list.ru

Evgenia M. Bizhanova

Candidate of economical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of management
and public administration,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Владислав Михайлович Мыскин

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: myskin.vlad97@gmail.com

Vladislav M. Myskin

Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Любовь Николаевна Семеркова

доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры менеджмента
и государственного управления,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: Lyubov.semerkova55@yandex.ru

Lyubov N. Semerkova

Doctor of economical sciences, professor,
professor of the sub-department
of management and public administration,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 18.06.2024

Поступила после рецензирования/Revised 29.07.2024

Принята к публикации/Accepted 07.08.2024

Раздел 2 МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

Section 2 MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

УДК 519.852
doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-8

МЕТОД СМЕШАННОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ СОСТАВОМ ГРУПП НАБЛЮДЕНИЙ

С. И. Носков¹, Е. С. Попов²

^{1, 2} Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия
¹sergey.noskov.57@mail.ru, ²eglr5732@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Построение регрессионных моделей различных сложных объектов в соответствии с задачами исследования иногда сопровождается необходимостью разбиения исходной выборки данных на подвыборки (группы наблюдений) или использованием так называемых панельных данных. Цель исследования состоит в модификации разработанного и развитого ранее одним из авторов метода вычисления оценок параметров линейного регрессионного уравнения с помощью метода смешанного оценивания. *Материалы и методы.* Для достижения поставленной цели применялся математический аппарат решения задач линейного и линейно-булева программирования. *Результаты.* Эта цель формализована путем постановки задачи автоматизации формирования состава индексного множества номеров наблюдений для реализации антиробастности в рамках метода смешанного оценивания путем решения задачи линейно-булева программирования. *Выводы.* Описанный в работе подход позволяет совместить при моделировании достоинства методов наименьших модулей и антиробастного оценивания. Построена адекватная анализируемому объекту регрессионная модель грузооборота автомобильного транспорта Российской Федерации.

Ключевые слова: регрессионная модель, методы оценивания параметров, метод смешанного оценивания, задачи линейного и линейно-булева программирования, грузооборот автомобильного транспорта

Для цитирования: Носков С. И., Попов Е. С. Метод смешанного оценивания параметров регрессионной модели с произвольным составом групп наблюдений // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 98–104. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-8

© Носков С. И., Попов Е. С., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

THE METHOD OF MIXED ESTIMATION OF REGRESSION MODEL PARAMETERS WITH AN ARBITRARY COMPOSITION OF OBSERVATION GROUPS

S.I. Noskov¹, E.S. Popov²

^{1, 2} Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

¹sergey.noskov.57@mail.ru, ²eglr5732@mail.ru

Abstract. *Background.* The construction of regression models of various complex objects in accordance with the objectives of the study is sometimes accompanied by the need to split the original data sample into subsamples (groups of observations) or the use of the so-called panel data. The purpose of the study is to modify the method for calculating estimates of the parameters of a linear regression equation developed earlier by one of the authors, using the mixed estimation method. *Materials and methods.* To achieve this goal, the mathematical apparatus for solving linear and linear Boolean programming problems was used. *Results.* This goal is formalized by setting the task of automating the formation of the composition of the index set of observation numbers to implement the antirobust estimation method within the framework of the mixed estimation method by solving a linear Boolean programming problem. *Conclusions.* The approach described in the work allows us to combine the advantages of the least modulus and anti-robust estimation methods when modeling. A regression model of freight turnover of road transport in the Russian Federation has been constructed that is adequate to the analyzed object.

Keywords: regression model, parameters estimation methods, mixed estimation method, linear and linear Boolean programming problems, road transport freight turnover

For citation: Noskov S.I., Popov E.S. The method of mixed estimation of regression model parameters with an arbitrary composition of observation groups. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):98–104. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-8

Введение

Построение регрессионных моделей различных сложных объектов в соответствии с целями исследования иногда сопровождается разбиением исходной выборки данных на подвыборки (группы наблюдений) или использованием так называемых панельных данных. Так, в работе [1] этот прием используется при разработке нового подхода к калибровке условной стоимости риска финансовых учреждений на основе квантильной регрессии нейронной сети. В работе [2] вводится понятие модальной регрессии с фиксированными эффектами для панельных данных, в которой исследуется, как условный режим переменной отклика зависит от ковариат. Предлагаемая модальная регрессия может дополнять регрессию среднего и квантиля и обеспечивать лучшую оценку основной тенденции и эффективность прогнозирования, когда данные искажены. Исследование [3] посвящено выводу условной меры причинности Грейнджера на основе модели параметрической динамической квантильной регрессии. Предложенный метод позволяет более детально охарактеризовать причинные взаимодействия на всем распределении. Предлагаемые тесты имеют разумный размер и мощность по отношению к множеству эмпирически правдоподобных альтернатив в конечных выборках. В статье [4] предлагаются два новых алгоритма для оценки последовательности квантильных регрессий по многим квантильным индексам. В статье [5] предлагаются

быстрые алгоритмы формирования подвыборок для эффективного приближения оценки максимального правдоподобия в логистической регрессии. Работа [6] посвящена методам формирования подвыборок, основанным на моделях логистической регрессии, модели регрессии softmax, квантильной регрессии и оценке квазиправдоподобия. В исследовании [7] описан способ разбиения исходной выборки на подвыборки и восстановления регрессионной модели для каждой из них. В статье [8] изучается влияние такого разбиения на основные характеристики законов распределений. Исследование [9] посвящено проблеме применения теории планирования эксперимента к пассивному эксперименту. Описан алгоритм формирования подвыборок из результатов пассивного эксперимента с необходимыми свойствами. В работе [10] рассмотрены новые подходы к обработке массивов статистических данных, а также к использованию метода складного ножа и бутстреп-процедур в регрессионных моделях прогноза погоды на территории Казахстана.

Материалы и методы

В работах [11–14] описан и развит разработанный одним из авторов метод смешанного оценивания (МСО) параметров линейного регрессионного уравнения (модели):

$$y_k = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_{ki} + \varepsilon_k, \quad k \in P = \{1, 2, \dots, n\}, \quad (1)$$

где y – зависимая (объясняемая); x_i – i -я независимая (объясняющая) переменные; α_i – i -й неизвестный параметр; ε_k – ошибки аппроксимации; k – номер наблюдения; n – их количество (длина выборки); P – индексное множество номеров наблюдений.

Пусть, исходя из соображений самого разного характера (общий случай описан в работе [11]), обрабатываемая информация (выборка P) может быть разбита на две части – P_1 и P_2 :

$$P_1 \cup P_2 = P, \quad P_1 \cap P_2 = \emptyset.$$

При этом поиск неизвестных параметров на выборке с номерами из P_1 осуществляется по методу наименьших модулей (МНМ):

$$J^1(\alpha) = \sum_{k \in P_1} |\varepsilon_k| \rightarrow \min,$$

а с номерами из P_2 – по методу антиробастного оценивания (МАО):

$$J^2(\alpha) = \max_{k \in P_2} |\varepsilon_k| \rightarrow \min.$$

Обратим внимание, что МНМ игнорирует возможные выбросы информации, МАО же, напротив, на них сильно реагирует и отклоняет в их направлении гиперплоскость регрессии.

Суть МСО заключается в *одновременном* применении МНМ на подвыборке P_1 и МАО – на P_2 . Реализация МСО, таким образом, приводит к решению следующей задачи линейного программирования (ЛП):

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i x_{ki} + u_k - v_k = y_k, \quad k \in P, \quad (2)$$

$$u_k + v_k - r \leq 0, \quad k \in P_2, \quad (3)$$

$$u_k \geq 0, v_k \geq 0, \quad k \in P, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in P_1} (u_k + v_k) / d + r + \delta \sum_{k \in P_2} (u_k + v_k) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где d – число элементов в множестве P_1 ($d = |P_1|$); δ – заранее выбранное малое положительное число.

Результаты

Сформулируем идею метода смешанного оценивания несколько более общим образом, а именно, пусть исследователь не формирует состав индексного множества P_1 (а значит, и P_2 , поскольку $P_2 = P \setminus P_1$), а указывает лишь число h элементов в P_2 . В этом случае метод смешанного оценивания может быть сведен к последовательному решению двух задач – линейно-булева программирования (ЛБП) и ЛП.

Сформируем системы ограничений:

$$u_k + v_k - r_1 + M s_k \leq M, \quad k \in P, \quad (6)$$

$$\sum_{k \in P} s_k = h, \quad (7)$$

$$s_k \in \{0, 1\}, \quad k \in P. \quad (8)$$

Тогда после решения задачи ЛБП с ограничениями (2), (4), (6)–(8) и целевой функцией

$$r_1 + \delta \sum_{k \in P} (u_k + v_k) \rightarrow \min \quad (9)$$

состав индексного множества P_2 может быть сформирован по правилу:

$$s_k = 1 \Rightarrow k \in P_2,$$

после чего множество P_1 формируется по правилу: $P_1 = P \setminus P_2$.

После решения задачи ЛБП (2), (4), (6)–(9) параметры линейной регрессионной модели (1) рассчитываются посредством решения задачи ЛП (2)–(5), где $d = n - h$.

Обсуждение

Проиллюстрируем предложенный способ оценивания параметров линейной регрессии на данных из работы [15], сформированных на основе статистической информации за 2007–2020 гг. (т.е. $n = 14$), используя обозначения: y – грузооборот автомобильного транспорта Российской Федерации, млрд т.км; x_1 – протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения, тыс.

км; x_2 – объем погрузки основных видов грузов на автомобильном транспорте, тыс. т.

Будем строить линейное регрессионное уравнение

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \varepsilon \quad (10)$$

тремя методами – наименьших квадратов (МНК), модулей и смешанного оценивания с описанным выше обобщением.

1. МНК:

$$y = 9,11 + 0,094x_1 + 0,018x_2 + \varepsilon, \quad (11)$$

$R = 0,97$, $F = 205,4$, $T = (0,43, 18,37, 6,45)$, $E = 3,27$.

Здесь R – критерий множественной детерминации; F – критерий Фишера; T – вектор значений t -критерия Стьюдента; E – средняя абсолютная ошибка аппроксимации:

$$E = \sum_{k \in P} |\varepsilon_k| / n.$$

Очевидно, что модель (11) обладает высокими аппроксимационными характеристиками.

2. МНМ:

$$y = -8,52 + 0,099x_1 + 0,02x_2 + \varepsilon, \quad (12)$$

$$E = 3,02.$$

3. МСО:

$$y = -1,73 + 0,098x_1 + 0,019x_2 + \varepsilon, \quad (13)$$

$$E = 3,12.$$

Анализ моделей (11)–(13) показывает, что они довольно близки и сопоставимы по точности. Это объясняется отсутствием в данных явных выбросов – наблюдений, не согласующихся с выборкой в целом.

Заключение

В работе предложена модификация разработанного и развитого ранее одним из авторов метода вычисления оценок параметров линейного регрессионного уравнения с помощью метода смешанного оценивания. Она состоит в автоматизации формирования состава индексного множества номеров наблюдений для реализации МАО в рамках МСО путем решения задачи ЛБП. Решена задача построения регрессионной модели грузооборота автомобильного транспорта Российской Федерации.

Список литературы

1. Keilbar G., Wang W. Modelling systemic risk using neural network quantile regression // Empirical Economics. 2022. Vol. 62. P. 93–118.
2. Ullah A., Wang T., Yao W. Modal regression for fixed effects panel data // Empirical Economics. 2021. Vol. 60. P. 261–308.
3. Cheng H., Wang Yu., Wang Y., Yang T. Inferring Causal Interactions in Financial Markets Using Conditional Granger Causality Based on Quantile Regression // Computational Economics. 2022. Vol. 59. P. 719–748.

4. Chernozhukov V., Fernández-Val I., Melly B. Fast algorithms for the quantile regression process // *Empirical Economics*. 2022. Vol. 62. P. 7–33.
5. Wang H., Zhu R., Ma P. Optimal Subsampling for Large Sample Logistic Regression // *Journal of the American Statistical Association*. 2018. Vol. 113. P. 829–844.
6. Yao Y., Wang H. A Review on Optimal Subsampling Methods for Massive Datasets // *Journal of Data Science*. 2021. № 1. P. 151–172.
7. Стрижов В. В. Задача выбора многоуровневых моделей с анализом ковариационной матрицы параметров // *Математические методы распознавания образов*. 2011. Т. 15, № 1. С. 154–157.
8. Акимов С. С., Трипкош В. А. Исследование влияния объема массива данных на ключевые выборочные параметры различных законов распределения // *Современные наукоемкие технологии*. 2023. № 11. С. 10–15.
9. Лапач С. Н. Планирование в пассивном эксперименте // *Математические машины и системы*. 2013. № 4. С. 156–160.
10. Боголюбова Е. В. Применение метода складного ножа и бутстреп-процедуры в статистических моделях прогноза // *Гидрометеорология и экология*. 2004. № 1. С. 9–17.
11. Носков С. И. О методе смешанного оценивания параметров линейной регрессии // *Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами*. 2019. № 1. С. 41–45.
12. Носков С. И. Метод смешанного оценивания параметров линейной регрессии: особенности применения // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2021. № 1. С. 126–132.
13. Носков С. И., Перфильева К. С. Эмпирический анализ некоторых свойств метода смешанного оценивания параметров линейного регрессионного уравнения // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. № 6. С. 62–66.
14. Носков С. И. Метод смешанного оценивания параметров линейной регрессии для данных с интервальной неопределенностью // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022. № 9. С. 274–277.
15. Перфильева К. С. Моделирование грузооборота на автомобильном транспорте с помощью метода смешанного оценивания регрессионных уравнений // *Молодая наука Сибири*. 2022. № 2. С. 248–251.

References

1. Keilbar G., Wang W. Modelling systemic risk using neural network quantile regression. *Empirical Economics*. 2022;62:93–118.
2. Ullah A., Wang T., Yao W. Modal regression for fixed effects panel data. *Empirical Economics*. 2021;60:261–308.
3. Cheng H., Wang Yu., Wang Y., Yang T. Inferring Causal Interactions in Financial Markets Using Conditional Granger Causality Based on Quantile Regression. *Computational Economics*. 2022;59:719–748.
4. Chernozhukov V., Fernández-Val I., Melly B. Fast algorithms for the quantile regression process. *Empirical Economics*. 2022;62:7–33.
5. Wang H., Zhu R., Ma P. Optimal Subsampling for Large Sample Logistic Regression. *Journal of the American Statistical Association*. 2018;113:829–844.
6. Yao Y., Wang H. A Review on Optimal Subsampling Methods for Massive Datasets. *Journal of Data Science*. 2021;(1):151–172.
7. Strizhov V.V. The problem of choosing multilevel models with the analysis of covariance matrix of parameters. *Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov = Mathematical methods of pattern recognition*. 2011;15(1):154–157. (In Russ.)
8. Akimov S.S., Tripkosh V.A. Investigation of the influence of the volume of the data array on the key sample parameters of various distribution laws. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern high-tech technologies*. 2023;(11):10–15. (In Russ.)

9. Lapach S.N. Planning in a passive experiment. *Matematicheskie mashiny i sistemy = Mathematical machines and systems*. 2013;(4):156–160. (In Russ.)
10. Bogolyubova E.V. Application of the folding knife method and bootstrap procedure in statistical forecasting models. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2004;(1):9–17. (In Russ.)
11. Noskov S.I. On the method of mixed estimation of linear regression parameters. *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami = Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems*. 2019;(1):41–45. (In Russ.)
12. Noskov S.I. Method of mixed estimation of linear regression parameters: application features. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii = Bulletin of the Voronezh State University. Series: System analysis and Information Technology*. 2021;(1):126–132. (In Russ.)
13. Noskov S.I., Perfil'eva K.S. Empirical analysis of some properties of the method of mixed estimation of parameters of a linear regression equation. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: ways of development*. 2020;(6):62–66. (In Russ.)
14. Noskov S.I. Method of mixed estimation of linear regression parameters for data with interval uncertainty. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of the Tula State University. Technical sciences*. 2022;(9): 274–277. (In Russ.)
15. Perfil'eva K.S. Modeling of cargo turnover in road transport using the method of mixed estimation of regression equations. *Molodaya nauka Sibiri = Young Science of Siberia*. 2022;(2):248–251. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Иванович Носков

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационных
систем и защиты информации,
Иркутский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)
E-mail: sergey.noskov.57@mail.ru

Sergey I. Noskov

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department
of information systems
and information security,
Irkutsk State Transport University
(15 Chernyshevskogo street,
Irkutsk, Russia)

Егор Сергеевич Попов

магистрант кафедры информационных
систем и защиты информации,
Иркутский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)
E-mail: eglir5732@mail.ru

Egor S. Popov

Master degree student
of the sub-department of information
systems and information security,
Irkutsk State Transport University
(15 Chernyshevskogo street,
Irkutsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 06.03.2024

Поступила после рецензирования/Revised 22.07.2024

Принята к публикации/Accepted 17.09.2024

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ОБРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ МЕЖВИТКОВОМ ЗАМЫКАНИИ

Д. В. Мирош

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь
dimamiroshheat@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Средства технической диагностики, применяемые на сегодняшний день при ремонте и обслуживании асинхронных двигателей, являются значимым аспектом функционирования важнейших устройств на предприятиях. Асинхронный привод применяется во многих сферах жизнедеятельности человека: как в промышленности, так и в быту. *Материалы и методы.* Приведена технология применения сверточных нейронных сетей для диагностики межвитковых замыканий в трехфазных асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором, основанная на использовании графического изображения отношений энергетических характеристик. *Результаты.* В качестве материала для проверки возможностей и отработки нейронной сети использовались данные по исследованиям вибрации тяговых электродвигателей тепловозов, а также непосредственные измерения тока исследуемых асинхронных электродвигателей. *Выводы.* Применение разработанных нейронных сетей позволяет: совершенствовать диагностические исследования для асинхронных машин различных мощностей, легко адаптировать их под различное габаритное исполнение, повысить качество предоставляемых диагностических услуг и снизить трудозатраты специалистов диагностической области при исследовании параметров состояния электрической машины.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, асинхронный электродвигатель, диагностика, межвитковое замыкание, обмотка статора, искусственное замыкание, тяговый подвижной состав, схема подключения электродвигателя, эффективность диагностики, энергоэффективность

Благодарности: выражаю слова благодарности в адрес редакции журнала «Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе» за предоставленную возможность поделиться результатами исследований, а также благодарю своего научного руководителя Галушко Виктора Николаевича за его бесценный вклад в развитие исследования и Монарховича Илью Евгеньевича, чьи навыки и знания позволили реализовать идеи функционирования нейронной сети.

Для цитирования: Мирош Д. В. Нейросетевая обработка параметров состояния асинхронных двигателей при межвитковом замыкании // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 105–115. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-9

NEURAL NETWORK PROCESSING OF ASYNCHRONOUS MOTOR STATE PARAMETERS IN CASE OF INTER-TURN CLOSURE

D.V. Mirosh

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus
dimamiroshheat@gmail.com

Abstract. *Background.* The technical diagnostic tools used today in the repair and maintenance of asynchronous motors are an important aspect of the functioning of the most important devices in enterprises. Asynchronous drive is used in many areas of human activity, in industry as well as in everyday life. *Materials and methods.* The materials of this article present the technology of using convolutional neural networks for the diagnosis of inter-turn circuits in three-phase asynchronous motors with a short-circuited rotor, based on the use of a graphical representation of the relations of energy characteristics. *Results.* Data on vibration studies of traction electric motors of diesel locomotives, as well as direct measurements of the current of the studied asynchronous electric motors, were used as material for testing the capabilities and testing of the neural network. *Conclusions.* The use of the developed neural networks allows to improve diagnostic studies for asynchronous machines of various capacities, easily adapt them to different dimensional designs, improve the quality of diagnostic services provided and reduce the labor costs of diagnostic specialists in the study of the parameters of the state of an electric machine.

Keywords: convolutional neural network, asynchronous electric motor, diagnostics, inter-turn closure, stator winding, artificial closure, traction rolling stock, electric motor connection scheme, diagnostic efficiency, energy efficiency

Acknowledgements: I would like to express my gratitude to the editorial board of the journal «Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society» for the opportunity to share the research results. I would like to thank my supervisor, Viktor Nikolaevich Galushko, for his invaluable contribution to the development of the study, as well as Ilya Evgenievich Monarchovich, whose skills and knowledge made it possible to implement the ideas of the functioning of a neural network.

For citation: Mirosh D.V. Neural network processing of asynchronous motor state parameters in case of inter-turn closure. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):105–115. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-9

Введение

По некоторым оценкам, количество электроэнергии, приходящейся на долю потребления асинхронным приводом, составляет около 50 % от всех электродвигателей. Доля асинхронного привода среди всех электрических машин может достигать 80 % [1]. Данное обстоятельство свидетельствует о высокой степени использования асинхронного двигателя. Это вызвано относительно малой стоимостью, небольшим количеством узлов и, как следствие, высокой надежностью. Применение асинхронного двигателя получило дополнительный подъем в связи с развитием техники по преобразованию частоты питающей сети. В связи с этим есть основание полагать, что развитие методов диагностики асинхронных электродвигателей с применением в них современных технологий позволит предотвращать развитие неисправностей, т.е.

использовать упреждающий характер эксплуатации этого распространенного оборудования.

Анализ существующих диагностических комплексов указывает на все большее их усложнение, что предъявляет массу требований к разработчикам. Например, в работе [2] авторы используют комплекс измерительного оборудования, что позволяет достоверно оценивать состояние асинхронных электродвигателей, отправляемых в ремонт и уже прошедших цикл ремонтных операций. Предлагаемый подход позволяет добиться разносторонней оценки технического состояния и снизить человеческий фактор при принятии решений. Однако представленный стенд имеет высокую стоимость применяемого оборудования и большую длительность времени испытаний, что обусловлено поочередной диагностикой по целому списку требований, предъявляемых нормативными документами. К тому же, насколько можно судить, комплекс нацелен на оценку соответствия рабочему состоянию, что только косвенно позволяет оценить возможные неисправности.

В работе [3] авторы рассматривают большое количество применяемых методов, а также диагностический комплекс. Используемая система слияния данных, которая обрабатывает информацию на основе анализа тока, уровня вибрации и теплового поля, является весьма действенным техническим решением. Основное преимущество заключается в снижении количества применяемых измерительных устройств с указанием вида неисправности, что может благоприятно сказаться на конечной стоимости и габаритах стенда. Упор на вычислительную обработку программного обеспечения позволяет получать максимальное количество информации из минимума задействованных устройств.

Учитывая вышеприведенный краткий обзор применяемых комплексов, можно сделать предположение о дальнейшем перераспределении основной роли с источников информации на способы ее обработки. Данное заключение особенно уместно в связи с возрастающей ролью нейронных сетей, постоянным развитием искусственного интеллекта, а также стремительным их внедрением.

Нейронная сеть используется из-за возможности улучшить эффективность диагностики. Она легко расширяется, совершенствуется и адаптируется путем включения новых данных по мере их поступления. Перед нейронной сетью может ставиться масса задач, одна из которых – классификация. Например, использование нейронной сети позволяет классифицировать большой объем данных при анализе тока в обмотках статора асинхронной машины. Для выполнения классификации необходимо прикрепить к каждому образцу схему, описывающую рабочее состояние двигателя на момент сбора данных. Входным сигналом служит шаблон, а выходным – метка присвоения определенной категории [4]. При этом технология обработки информации должна учитывать такую важную составляющую, как влияние изменяющейся во времени нагрузки, что несколько увеличивает сложность разработки нейронной сети.

Исследования показывают, что нейронные сети успешно применяются для диагностики межвитковых замыканий. В одном из исследований, представленном в работе [5], авторы предложили метод диагностики межвитковых замыканий в трансформаторах на основе глубоких нейронных сетей. Этот

метод показал высокую точность и надежность в обнаружении замыканий даже при наличии шума и других помех. Другие исследования в работе [6] подтверждают эффективность нейронных сетей при диагностике в асинхронных двигателях. Авторы предложили метод на основе сверточных нейронных сетей для обнаружения и классификации различных дефектов в асинхронных двигателях, включая межвитковые замыкания.

В работах [7] и [8] авторы указывают на возможность применения современных технологий на предприятиях железнодорожной отрасли как наиболее энергоэффективного сектора транспорта. Приводится количественный анализ по факту выхода из строя асинхронных двигателей, использующихся в качестве тяговых и вспомогательных машин на электровозах серии ВЛ-80^С, БКГ1 и БКГ2, что вносит некоторый поправочный коэффициент по наиболее часто встречающимся неисправностям. Дополнительно прорабатывается расширение возможностей работы сверточной нейронной сети с различными входными данными: температурой, током, вибрацией и др.

Применение нейронных сетей для диагностики целого ряда неисправностей в целом и межвитковых замыканий в частности в асинхронных двигателях является перспективным направлением исследований. Нейронная сеть представляет собой распределенный параллельный процессор, состоящий из элементарных единиц обработки информации, накапливающих экспериментальные знания и предоставляющих их для последующей обработки [9]. Нейронная сеть сходна с мозгом как минимум с двух точек зрения:

- знания поступают в сеть из окружающей среды и используются в процессе обучения;
- накопление знаний обеспечивается при помощи связей между нейронами, называемыми синаптическими весами (синапсами).

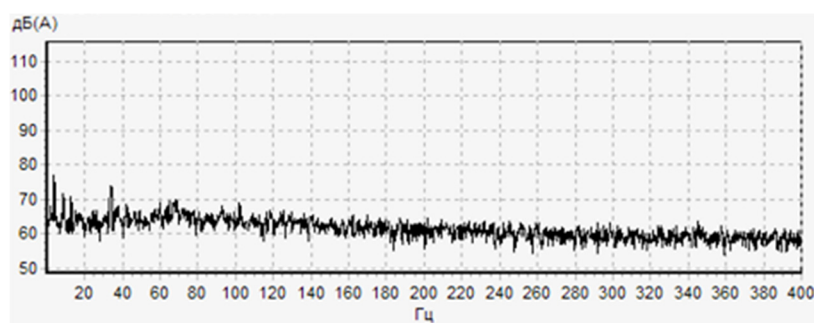
Широкое освещение тематики нейронных сетей в научном сообществе может свидетельствовать о высокой эффективности и возрастающей роли данного инструмента.

Обсуждение

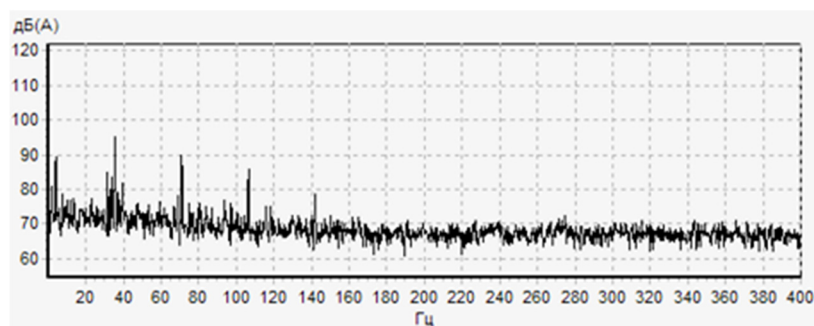
При исследовании неисправностей электродвигателей было задействовано различное оборудование, куда входят амперметры, осциллограф, вибрo-анализаторы и другие измерительные приборы. Так, при использовании вибрo-анализаторов и виброколлекторов можно косвенно судить об имеющейся неисправности подшипникового узла и отчасти о неисправности электрической части. Предварительные данные по вибрoдиагностике были получены в локомотивном депо Гомель Белорусской железной дороги при исследовании возможностей обучения сверточной нейронной сети по сложным изображениям. Контроль вибрации производился для диагностирования подшипников колесно-моторных блоков локомотивов при помощи вибрoанализатора СД-21. Пример диаграмм представлен на рис. 1 [8].

Обучающая выборка была сформирована согласно заключениям, выданным программным обеспечением DREAM32, которое входит в комплект поставки с вибрoанализатором СД-21. Встроенный ресурс распределения программой различных неисправностей (например, дефект наружного кольца, излом сепаратора, повышенный шум) позволил условно выделить несколько уровней дефекта: незначительный и критический. Для обучающей выборки

было вручную отобрано около 600 изображений диаграмм и преобразовано до уменьшенных масштабов, что способствует повышению скорости обучения.



а)



б)

Рис. 1. Пример вибродиаграмм для подшипников колесно-моторных блоков тепловозов:

а – дефекты отсутствуют или незначительны; б – требуется разборка узла с оценкой текущего состояния и объема обслуживания или ремонта

Точность разработанной и обученной сверточной нейронной сети (метрика *accuracy*) составила 0,9904. Это позволяет с высокой достоверностью определять дефектное состояние подшипникового узла по вибродиаграмме. Изучение качества нейронной сети по другим метрикам требует дополнительных исследований и в данный момент не является значимым. Использование сверточной нейронной сети, которая работает с изображением, было обусловлено несколькими весомыми причинами:

- невозможность использования в ходе исследования дорогостоящего оборудования, находящегося в собственности подразделения организации Белорусской железной дороги, для получения иного вида данных, нежели изображения;

- использование, к примеру, недорогих датчиков вибрации является более рациональным с точки зрения затрат на конечный диагностический продукт, но потребовало бы больше времени на получение и обработку сигналов, отладку программного обеспечения, что в данный момент исследования является недопустимым;

- исследование графика, а именно формы сигнала, может позволить отвлечься от конкретных цифровых значений, которые будут различными в

зависимости от типа рассматриваемого электродвигателя, что является более универсальным способом оценки состояния электрической машины.

Примеры реализации и преимущества работы со сверточной нейронной сетью при исследовании неисправностей электрических машин переменного тока рассмотрены авторами в различных публикациях [7, 9–11].

В данном исследовании разработанная сверточная нейронная сеть реализована в библиотеке *TensorFlow* для языка *Python 3.10*. Она имеет два сверточных слоя с пулингом, за которыми следуют два полносвязных слоя и выходной слой для классификации на три степени тяжести дефектов.

Для получения исходных данных при межвитковом замыкании в качестве испытуемых электродвигателей были использованы трехфазные с однослойной вращательной обмоткой и классом изоляции обмоток статора – В. Искусственно созданные повреждения изоляции для различного числа витков представлены на рис. 2. Контролируемое управление режимом замыкания осуществлялось с помощью реле (включение, отключение, переключение на различное число короткозамкнутых витков обмотки фазы статора), закрепленной на подшипниковой крышке.



Рис. 2. Искусственное повреждение обмотки статора с выводами для управления режимом межвиткового замыкания

В ходе экспериментов было замечено, что при разных схемах подключения изменение токов в обмотках распределяется по-разному. Для схемы подключения «треугольник» (также характерно и для схемы «звезда с заземленной нейтралью») при замыкании возрастает значение тока в поврежденной обмотке, а ток в двух других обмотках остается без существенных изменений (рис. 3).

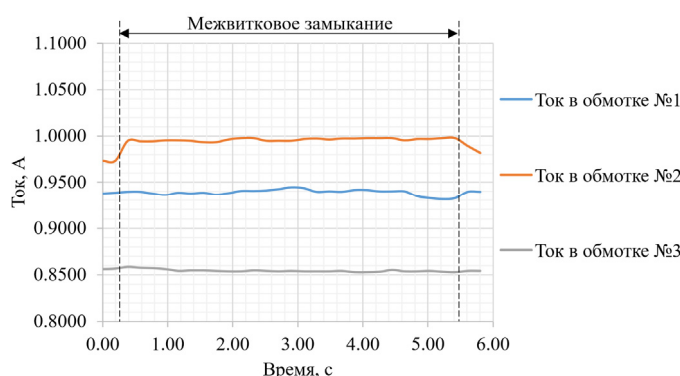


Рис. 3. Изменение тока в обмотках статора при межвитковом замыкании; схема подключения «треугольник»

При подключении обмотки по схеме «звезда с изолированной нейтралью», когда нулевая точка соединена внутри двигателя и не выведена наружу, характер изменений отличается: ток возрастает в поврежденной обмотке и в одной из неповрежденных. На рис. 4 представлен характер протекания тока при межвитковом замыкании.

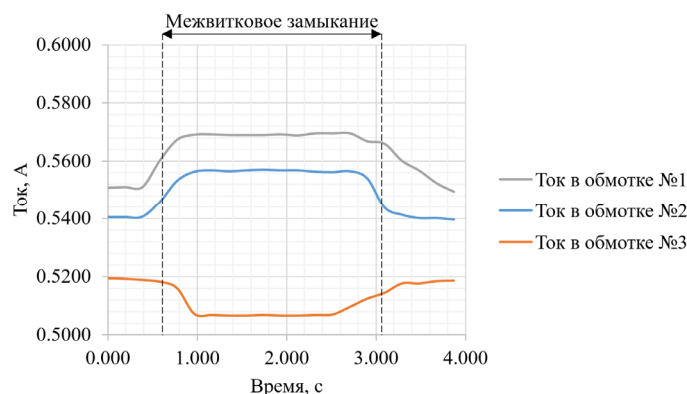


Рис. 4. Изменение тока в обмотках статора при межвитковом замыкании; схема подключения «звезда с изолированной нейтралью»

На основании экспериментов и результатов аналитического моделирования был составлен обобщенный алгоритм определения межвитковых замыканий для трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при различных нижеуказанных схемах подключения обмоток.

Схема «звезда с нейтральным проводом» приводит к увеличению отношений фазного тока по отношению к двум оставшимся фазным токам, при этом остается неизменным линейное напряжение во время всех измерений. Схема «звезда с изолированной нейтралью» приводит к увеличению двухфазных токов (для однослойной всыпной обмотки), одним из которых является ток в поврежденной обмотке, ток в третьей фазе снижается. При схеме «треугольник» происходит увеличение линейного тока по отношению к двум оставшимся линейным токам.

Для входных параметров нейронной сети при межвитковом замыкании предполагается использовать токовые датчики и информацию с них. Это позволит оценивать изменение отношений токов и напряжений, потребляемой мощности и коэффициента мощности. Установление зависимостей, при которых четко прослеживается возникновение межвиткового замыкания, а также границ допусков, при которых отсеиваются колебания в питающей сети, является основной задачей будущих исследований. Основным преимуществом такого подхода является использование сравнительно недорогого оборудования, позволяющего с большой точностью определить один из самых распространенных дефектов электродвигателей. К тому же отслеживание неисправности позволяет постепенно отходить от системы планово-предупредительных ремонтов, широко распространенных в локомотивных депо, к системе оценки оборудования по фактическому техническому состоянию.

К преимуществам использования нейронной сети касательно обнаружения межвиткового замыкания можно отнести следующие [12]:

- универсальность, так как не нужно в дальнейшем привязываться к конкретному оборудованию;
- высокая вероятность распознавания, особенно зашумленных сигналов;
- высокое быстродействие.

Искусственное межвитковое замыкание решает важную задачу получения данных на основе реального образца электродвигателя, что позволяет изучить характер протекания неисправности для разных видов подключения и обучить соответствующей выборкой нейронную сеть. Кроме того, была исследована зависимость числа витков (от нескольких единиц до десятков) от величины изменения тока в обмотке статора и изменения уровня шума (вибрации) для различных образцов электродвигателей.

Была усовершенствована структура имеющейся нейронной сети. Ее целью являлась большая адаптивность под различный масштаб исходных данных, увеличение числа влияющих факторов, а также снижение влияния переобучения. Для достижения этих результатов была использована комбинация сверточных слоев, пулинга, полносвязных слоев и слоев объединения. Приведем краткое описание полученной усовершенствованной нейронной сети.

Входной слой принимает изображения размером 67×88 пикселей с одним каналом (черно-белые изображения). Первый блок свертки (*Conv2D*) используется для извлечения признаков из изображения. Используется несколько слоев с разными параметрами (размер ядра, количество фильтров), чтобы захватить различные уровни абстракции. Пулинг применяется после первого блока свертки для уменьшения размерности и улучшения вычислительной эффективности. Два параллельных (второй и третий) блока нейронной сети начинаются с разделения выходного слоя первого блока пулинга, и затем применяются различные сверточные слои для извлечения дополнительных признаков. Выходные данные из всех трех блоков объединяются в один вектор. Слой *Dropout* с коэффициентом 0,5 нацелен на уменьшение переобучения. Выходной полносвязный слой с функцией активации *softmax* генерирует вероятности принадлежности к каждому из трех классов.

Отличие этой модели от других заключается в том, что три параллельных блока рассмотренной нейронной сети позволяют ей получать различные характеристики изображения в разных масштабах и с разной глубиной. Такой подход может улучшить способность модели к обобщению и ее производительность на разных типах данных.

Использование различных комбинаций сверток и пулинга в каждом из параллельных блоков позволяет модели захватывать различные аспекты изображения, что может быть полезно в задачах компьютерного зрения.

Заключение

Рост энергоэффективности является важной составляющей в современных реалиях промышленного развития. На сегодняшний день уже недостаточно делать упор только на качество или на массовое распространение продукции на рынке товаров и услуг. Снижение потребления энергоресурсов, будь то электроэнергия, тепло или горючие полезные ископаемые, свидетельствует о своевременном обновлении производственных фондов: зданий и сооружений, станков, оборудования; следовательно, и о высокой культуре производства, безопасности на предприятии.

Диагностирование способно радикально изменить уровень осведомленности о техническом состоянии электрических машин, которые обеспечивают работу оборудования различной степени сложности. Распространенный на железнодорожном транспорте Белорусской железной дороги метод планово-предупредительных ремонтов при всех его достоинствах имеет ряд серьезных недостатков. Здесь можно привести значительные материальные и временные затраты, трудозатраты работников, что в совокупности не способно в полной мере гарантировать бесперебойную работу эксплуатируемого узла.

Тенденции в области диагностирования неисправностей таковы, что роль глубокой и всесторонней обработки информации увеличивается. Современные методы, включающие использование нейронных сетей, позволяют добиться этого результата, а также находить новые закономерности, которые ранее были упущены. Нейронная сеть является серьезным инструментом математической обработки информации, результатом которой могут послужить данные об уже имеющихся неисправностях, а также информация о возникновении паттернов, связанных с зарождением неисправности. В совокупности это позволяет более точно оценивать срок службы оборудования и быть во всеоружии до момента возникновения аварий и критических отказов.

Список литературы

1. Галушко В. Н., Пацкевич В. А. Электрические машины : учеб.-метод. пособие. Гомель : БелГУТ, 2020. 242 с.
2. Владимиров О. В., Ившин И. В., Низамиев М. Ф. [и др.]. Стенд для послеремонтных испытаний асинхронных двигателей напряжением до 1000 В // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, № 3-4. С. 58–66.
3. Осорио-Риос Р. А., Самудио-Рамирес И., Хаэн-Куэльяр А. Я. [и др.]. Система объединения данных для мониторинга состояния электродвигателей: инновационное решение // IEEE Industrial Electronics Magazine. 2023. Т. 17, № 4. С. 4–16.
4. Онел И., Бенбузид М. Обнаружение и диагностика неисправностей подшипников асинхронных двигателей: сравнительное исследование подходов преобразований Парка и Concordia // Труды IEEE/ASME по мехатронике. 2008. Т. 13, № 2. С. 257–262.
5. Чжан Ю., Ли К., Ма У. [и др.]. Глубокое обучение для диагностики межвитковых неисправностей в трансформаторах // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019. Т. 66, № 3. С. 2240–2249.
6. Цзян С., Хан Л., Ван Х. [и др.]. Анализ сигнатур тока двигателя на основе сверточных нейронных сетей для диагностики неисправностей асинхронных двигателей // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2020. Т. 67, № 2. С. 1317–1326.
7. Мирош Д. В., Галушко В. Н., Громыко И. Л. Нейронные сети в диагностике. Анализ неисправностей асинхронных двигателей железнодорожной отрасли и их диагностика на базе искусственного интеллекта // Энергоэффективность. 2023. № 4. С. 30–32.
8. Дробов А. В., Мирош Д. В., Галушко В. Н. Диагностика асинхронных электродвигателей с применением виброанализатора и сверточной нейронной сети // Энергетическая стратегия. 2024. № 1. С. 38–41.
9. Громыко И. Л., Мирош Д. В., Галушко В. Н., Белькин В. О. Анализ и совершенствование существующей системы диагностирования неисправностей трансформаторов железнодорожной отрасли // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2023. № 1. С. 15–20.
10. Дробов А. В., Галушко В. Н., Громыко И. Л. Система диагностирования неисправностей трансформаторов на основе сверточных нейронных сетей // Энергетическая стратегия. 2023. № 4. С. 49–53.

11. Громыко И. Л., Мирош Д. В., Галушко В. Н., Евдасев И. С. Диагностирование параметров качества изоляции обмоток трансформаторов при ее увлажнении // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2022. № 2. С. 15–19.
12. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс : пер. с англ. 2-е изд. М. : Издательский дом Уильямс, 2006. 1104 с.

References

1. Galushko V.N., Patskevich V.A. *Elektricheskie mashiny: ucheb.-metod. posobie = Electric machines : an educational and methodical manual*. Gomel': BelGUT, 2020:242. (In Russ.)
2. Vladimirov O.V., Ivshin I.V., Nizamiev M.F. et al. Stand for post-repair tests of asynchronous motors with voltage up to 1000 V. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki = Proceedings of higher educational institutions. Energy problems*. 2019;21(3-4):58–66. (In Russ.)
3. Osorio-Rios R.A., Samudio-Ramires I., Khaen-Kuel'yar A.Ya. et al. Data integration system for monitoring the condition of electric motors: an innovative solution. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2023;17(4):4–16. (In Russ.)
4. Onel I., Benbuzid M. Detection and diagnostics of asynchronous motor bearing failures: a comparative study of Park and Concordia transformation approaches. *Trudy IEEE/ASME po mekhatronike = Proceedings of IEEE/ASME on Mechatronics*. 2008;13(2):257–262. (In Russ.)
5. Chzhan Yu., Li K., Ma U. et al. Deep learning for the diagnosis of inter-turn faults in transformers. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2019;66(3):2240–2249. (In Russ.)
6. Tszyan S., Khan L., Van Kh. et al. Analysis of motor current signatures based on convolutional neural networks for troubleshooting asynchronous motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2020;67(2):1317–1326. (In Russ.)
7. Mirosh D.V., Galushko V.N., Gromyko I.L. Neural networks in diagnostics. Malfunction analysis of asynchronous motors in the railway industry and their diagnostics based on artificial intelligence. *Energoeffektivnost' = Energy efficiency*. 2023;(4):30–32. (In Russ.)
8. Drobov A.V., Mirosh D.V., Galushko V.N. Diagnostics of asynchronous electric motors using a vibration analyzer and a convolutional neural network. *Energeticheskaya strategiya = Energy strategy*. 2024;(1):38–41. (In Russ.)
9. Gromyko I.L., Mirosh D.V., Galushko V.N., Bel'kin V.O. Analysis and improvement of the existing fault diagnosis system for transformers in the railway industry. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport = Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport*. 2023;(1): 15–20. (In Russ.)
10. Drobov A.V., Galushko V.N., Gromyko I.L. Transformer fault diagnosis system based on convolutional neural networks. *Energeticheskaya strategiya = Energy strategy*. 2023;(4):49–53. (In Russ.)
11. Gromyko I.L., Mirosh D.V., Galushko V.N., Evdasev I.S. Diagnostics of insulation quality parameters of transformer windings during its humidification. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport = Bulletin of the Belarusian State University of Transport: science and Transport*. 2022;(2):15–19. (In Russ.)
12. Khaykin S. *Neyronnye seti: polnyy kurs: per. s angl. 2-e izd. = Neural networks: complete course: trans. from English. 2nd ed.* Moscow: Izdatel'skiy dom Uil'yams, 2006:1104. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Валерьевич Мирош

магистр технических наук,
аспирант кафедры локомотивов,
Белорусский государственный
университет транспорта
(Республика Беларусь, г. Гомель,
ул. Кирова, 34)
E-mail: dimamiroshheat@gmail.com

Dmitry V. Mirosh

Master of engineering,
postgraduate student
of the sub-department of locomotives,
Belarusian State University of Transport
(34 Kirova street, Gomel,
Republic of Belarus)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 04.07.2024

Поступила после рецензирования/Revised 15.09.2024

Принята к публикации/Accepted 17.09.2024

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Д. Н. Франтасов¹, Ю. В. Кудряшова², Е. В. Воронина³

^{1,3} Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

² Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

¹ frantasov@mail.ru, ² yu.kudryashova@samgups.ru, ³ voroninae.v@sseu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Целью исследования является снижение потерь электроэнергии в энергосистеме железнодорожного транспорта. Потери определяются как небаланс между отпущенной и потребленной электроэнергией, который фиксируется средствами коммерческого учета электроэнергии. На данный момент отсутствуют технические и программные средства для анализа структуры потерь и причин возникновения. *Материалы и методы.* Для достижения поставленной цели были определены основные факторы, которые приводят к значительному росту потерь электроэнергии. Определены факторы для всех автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии, эксплуатируемых на железнодорожном транспорте. *Результаты.* Разработана структурная схема информационно-измерительной системы учета потерь электроэнергии, позволяющая использовать эксплуатируемое оборудование без замены или модернизации, что способствует получению новых технических возможностей. Предложен метод интеллектуализации процесса классификации факторов, вызывающих рост ненормированных потерь электроэнергии, на основе искусственных нейронных сетей. *Выводы.* Интеллектуальный блок позволяет заменить лицо, принимающее организационно-технические решения, для минимизации последствий нештатных ситуаций, приводящих к росту ненормированных потерь. Данное решение применимо в подразделениях, не имеющих квалифицированных специалистов. Рассмотрены результаты обучения искусственной нейронной сети, определены основные параметры эффективности работы информационно-измерительной системы учета потерь на реальном объекте железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: потери электроэнергии, небаланс электроэнергии, интеллектуальные энергосистемы, искусственные нейронные сети

Для цитирования: Франтасов Д. Н., Кудряшова Ю. В., Воронина Е. В. Применение искусственного интеллекта в системе учета потерь электроэнергии // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 116–125. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-10

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ENERGY LOSS METERING SYSTEM

D.N. Frantasov¹, Yu.V. Kudryashova², E.V. Voronina³

^{1,3} Samara State University of Economics, Samara, Russia

² Volga State University of Railway Transport, Samara, Russia

¹ frantasov@mail.ru, ² yu.kudryashova@samgups.ru, ³ voroninae.v@sseu.ru

Abstract. *Background.* The aim of the research is to reduce electricity losses in the power system of railway transport. Losses are defined as the imbalance between the supplied and

consumed electricity recorded by means of commercial electricity metering. At the moment, there are no technical and software tools for analyzing the losses structure and causes of their occurrence. *Materials and methods.* To achieve this goal the main factors that lead to a significant increase in electricity losses have been identified. The factors for all automated systems for commercial metering of electricity used in railway transport have been determined. *Results.* A block diagram of an information and measurement system for metering electricity losses has been developed, which allows using the equipment in operation without replacing or modernizing, which contributes to getting new technical capabilities. A method is proposed for the intellectualization of the process of classification of factors causing the growth of unnormalized energy losses, based on artificial neural networks. *Conclusions.* The intelligent unit allows you to replace the person who makes organizational and technical decisions to minimize the consequences of emergency situations leading to an increase in non-standardized losses. This solution is applicable in departments without qualified specialists. The results of training an artificial neural network are considered, the main parameters of the efficiency of the information and measurement system for recording losses at a real object of railway transport are determined.

Keywords: power losses, power imbalance, smart power systems, artificial neural networks

For citation: Frantasov D.N., Kudryashova Yu.V., Voronina E.V. The use of artificial intelligence in the energy loss metering system. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2024;(3):116–125. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-10

Введение

В ОАО «РЖД» активно используются автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). Можно выделить три области производственной деятельности, в которых эксплуатируются независимые АСКУЭ: АСКУЭ железнодорожного узла (ЖУ), АСКУЭ тяговой подстанции (ТП), АСКУЭ розничного рынка электроэнергии (РРЭ). Данные системы разрабатываются сторонними организациями и не имеют общих информационных потоков. Одним из недостатков, присущих всем эксплуатируемым АСКУЭ, является отсутствие детального анализа факторов, приводящих к потерям электроэнергии. Программное обеспечение позволяет выявлять разницу (небаланс) между отпущенной и потребленной электроэнергией на границах обслуживаемых участков, чего недостаточно для определения причин ее появления. Анализ причин появления небаланса осуществляется обычно не чаще одного раза в год, при этом не происходит детальная оценка величины каждой составляющей небаланса, что не позволяет получать значительный эффект от организационно-технических мероприятий [1].

Точный контроль, при котором погрешность измерений не выходит за пределы класса точности измерительных приборов АСКУЭ, потребленной и отпущенной электроэнергии в реальном времени позволит проводить эффективные мероприятия по минимизации или устранению небаланса электроэнергии на участке. Создание новых АСКУЭ или их модернизация с применением высокоточных измерительных приборов является экономически неэффективной мерой на данный момент [2–4], а применение методов коррекции погрешностей измерительных устройств потребует проведения процедуры метрологической аттестации, что также повлечет значительные финансовые затраты. В связи с этим актуальной является задача определения факторов, влияющих

на небаланс электроэнергии и минимизации их влияния без изменения метрологических аттестованных АСКУЭ, находящихся в эксплуатации в ОАО «РЖД».

Методы и материалы

При рассмотрении небаланса электроэнергии принято выделять техническую и коммерческую составляющие. Техническая составляющая небаланса (технические потери) вызвана физическими процессами в энергосистеме, и ее минимизация без замены эксплуатируемого оборудования затруднительна. Коммерческая составляющая небаланса (коммерческие потери) на участке определяется по формуле

$$\Delta W_{\text{к}} = W_{\text{ос}} - W_{\text{по}} - \Delta W_{\text{т}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{ос}}$ – количество отпущенной электроэнергии, определяемое по разности показаний электросчетчиков на границах рассматриваемого участка; $W_{\text{по}}$ – количество потребленной электроэнергии, определяемое по показаниям электросчетчиков потребителей; $\Delta W_{\text{т}}$ – рассчитанная для участка техническая составляющая небаланса электроэнергии.

Для идеального случая количество отпущенной электроэнергии равно сумме потребленной и рассеянной в элементах энергосистемы. Однако в реальных условиях эксплуатации АСКУЭ имеют погрешности, вызванные погрешностями входящих в их состав измерительных приборов, что приводит к росту коммерческой составляющей небаланса. На полигоне Куйбышевской железной дороги для коммерческого учета электроэнергии в основном используются измерительные приборы класса точности 0,2S – 0,5S. Факторы, влияющие на класс точности измерительных приборов, входящих в состав АСКУЭ, также являются структурными составляющими коммерческой составляющей небаланса, а следовательно, составляющими небаланса электроэнергии в целом [5, 6]. Имеется практически линейная зависимость между ростом небаланса электроэнергии и увеличением погрешностей АСКУЭ, контролирующей участок.

Проведен анализ АСКУЭ на железнодорожном транспорте для выявления и классификации типов эксплуатируемого оборудования и выявления факторов, влияющих на небаланс электроэнергии [5]. Все эксплуатируемые АСКУЭ используют микропроцессорные счетчики электроэнергии с интерфейсами сопряжения с современными системами пакетной передачи данных. На ряде участков периодически фиксируются значительные показатели небаланса электроэнергии, достигающие 15–25 %. В табл. 1 представлены результаты анализа на наличие факторов, влияющих на рост потерь, характерных для определенных областей использования, на железнодорожном транспорте. Погрешность каждого из приведенных факторов не должна превышать 5 % от общего количества потребленной электроэнергии, но в то же время сумма всех погрешностей не должна быть больше 5 % (нормированные потери).

Несмотря на то, что рассмотренные АСКУЭ не имеют единой базы данных, строятся на различной элементной базе, функционируют под управлением собственного программного обеспечения, существуют технические возможности объединения получаемой измерительной информации в единое информационное пространство [7, 8].

Таблица 1

Результаты анализа полигона Куйбышевской железной дороги
на наличие погрешностей, вызванных внешними факторами,
влияющими на рост потерь электроэнергии

Факторы	АСКУЭ ОРЭ (поставщик э/э)	АСКУЭ РРЭ (дирекции по энерго- обеспечению)	АСКУЭ ЖУ (структурные единицы РЖД)	АСКУЭ ТП (тяговые подстанции)
Потери электроэнергии из-за погрешности измерений	☑	☑	☑	☑
Недоучет электроэнергии	☑		☑	☑
Хищения электроэнергии		☑		
Ремонт оборудования	☑	☑	☑	☑
Климатические факторы	☑	☑	☑	☑
Сезонность	☑	☑	☑	☑
Недогрузки/перегрузки		☑	☑	☑
Низкий класс точности			☑	☑

Рост ненормированных потерь – это слабоформализованная задача, при решении которой лицо, принимающее решение (ЛПР), использует опыт, знание и интуицию для оценки возможных факторов, влияющих на рост ненормированных потерь и принятия управленческих решений [9]. Решение подобных задач занимает 20 % его времени. На рис. 1 представлено расположение значений счетчиков электроэнергии как разность между показаниями в начале и в конце участка при анализе исследуемого объекта.

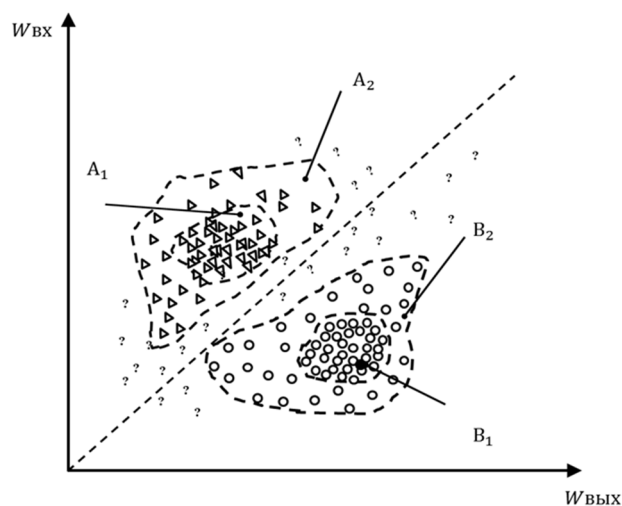


Рис. 1. Расположение значений счетчиков электроэнергии
как разность между показаниями в начале и в конце участка

Появление значений в области A1 ЛПР-эксперт объяснил как влияние низкого класса точности измерительных приборов, эксплуатируемой АСКУЭ, для области B1 причина определена как недогрузка/перегрузка сети, т.е. эксплуатация АСКУЭ за пределами нормированных значений. Причинами появления значений в области A2 определены сезонные факторы, для области B2 – климатические факторы. ЛПР классифицировать факторы для областей A2 и B2 было сложнее. На графике также имеются значения, выходящие за пределы областей A2 и B2. Данные значения относятся к области слабоформализуемых знаний, и их классификация затруднительна без опытного ЛПР (эксперта).

Если регулярное привлечение опытного эксперта для анализа событий затруднительно, можно воспользоваться методами интеллектуализации, направленными на улучшение функциональности и эффективности информационных систем за счет внедрения интеллектуальных технологий и алгоритмов. Этот метод включает в себя использование методов искусственного интеллекта, машинного обучения, обработки естественного языка и других технологий для автоматизации процессов, повышения качества обработки данных и улучшения взаимодействия с пользователями.

Процесс классификации причин появления небаланса электроэнергии можно автоматизировать путем передачи и сохранения опыта и знаний эксперта за счет применения технологий искусственного интеллекта, таких как экспертные системы на основе баз знаний. Основная проблема возникает при попытках описать правила классификации слабоформализуемых данных, так как правила классификации, получаемые от ЛПР, часто охватывают наиболее простые случаи. Оптимальным видится применение технологии искусственной нейронной сети (ИНС) с обучением [10, 11]. ИНС способны обрабатывать и извлекать информацию из больших объемов данных. Они могут выявлять сложные паттерны, которые могут быть неочевидны для экспертных систем.

Это позволит создать элементы интеллектуализации без необходимости полной формализации всех возможных случаев, на основе опыта эксперта при анализе причин небаланса.

При анализе причин небаланса эксперт проводит расчет нормативов потерь электроэнергии с учетом применяемого на участке оборудования. При выявлении факторов отличия расчетных нормативов потерь от фактических, полученных из АСКУЭ, эксперт готовит отчет. Анализируется график выполненного движения для выявления факта прохождения электровоза по данному участку (данный фактор определен как важный для данного технологического процесса в результате анализа причин потерь электроэнергии на железнодорожном транспорте). Фактором, влияющим на отклонение от нормативных потерь, может стать перегрузка, т.е. выход за пределы значений, в которых измерительные приборы сохраняют класс точности, либо недогрузка участка из-за низкого поездооборота. Дополнительными факторами могут быть график ремонтных работ и тип проводимых работ, что может свидетельствовать о неправильном подключении оборудования. Данные факторы формируют сигнатуру события, вызвавшего небаланс.

Каждому участку энергосистемы железной дороги присущи определенные факторы, влияющие на величину потерь электроэнергии. Различные вариации данных факторов могут свидетельствовать о наличии ненормированных

потерь. Только эксперт может определить, что текущие потери обоснованы или вызваны внешними факторами и требуют мероприятий по устранению.

На рис. 2 представлена структурная схема информационно-измерительной системы учета потерь электроэнергии (ИИС УПЭ). Для построения ИИС УПЭ выполнено объединение информационных потоков независимых АСКУЭ. При разработке ИИС УПЭ был использован опыт анализа составляющих небаланса электроэнергии на полигоне Куйбышевской железной дороги [9]. Входной сигнал из энергосистемы тяговой подстанции поступает на трансформатор тока (ТТ) и трансформатор напряжения (ТН). Счетчик электроэнергии фиксирует значения и формирует сигнал для устройства передачи данных (УПД). УПД в зависимости от модели может использовать проводные каналы сети передачи данных или беспроводные каналы сотовых операторов. В любом случае формируется пакет данных по протоколу IP. Конечной целью пакетов данных является сервер АСКУЭ, который заносит полученную информацию в базу данных для долговременного хранения. Затем данные выгружаются в формат XML80020 и задается метка времени для дальнейшей синхронизации. После алгоритма проверки данные поступают в ИИС, а результат выводится на графический интерфейс пользователя (ГИП). На основании этих данных ЛПР формирует управленческое решение для устранения причин потерь электроэнергии при наличии ненормированных потерь. Блок экспертной аналитики необходим для формирования обучающей выборки, а также для дообучения нейронной сети и привлечения специалиста для решения нетиповой задачи.

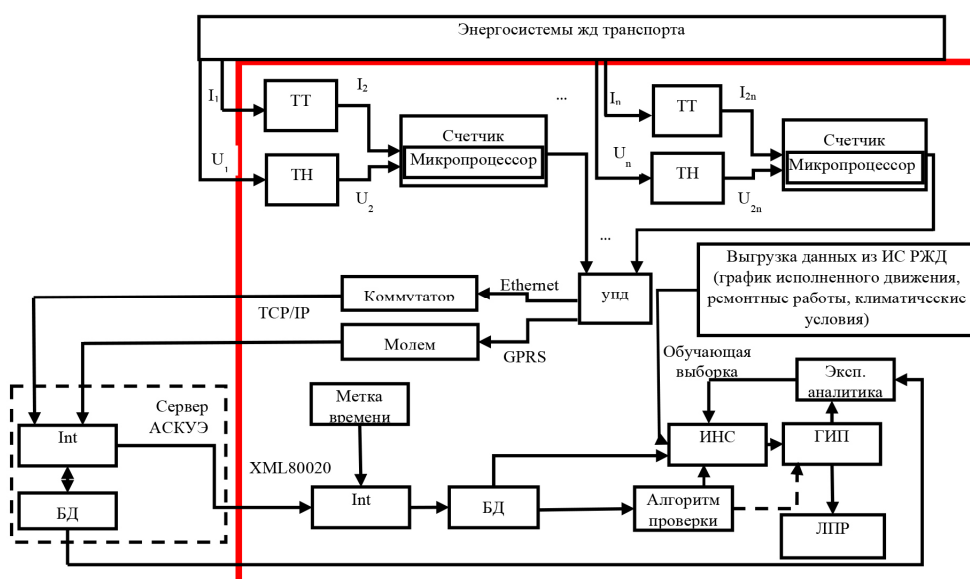


Рис. 2. Структурная схема ИИС УПЭ на железнодорожном транспорте

Техническими результатами являются расширение функциональных возможностей эксплуатируемых АСКУЭ и уменьшение потерь электроэнергии за счет своевременного выявления ненормативных потерь электроэнергии.

Для обучения ИНС подготовлена обучающая выборка на основе показаний АСКУЭ. Для каждого факта наличия небаланса экспертом определены

причины их появления. Так, специалист отдела эксплуатации АСКУЭ Куйбышевской дирекции по энергообеспечению, выступающий в качестве эксперта, определил, что за рассмотренный период на тяговой подстанции проводилась замена оборудования АСКУЭ, а также ТТ работают в области малых токов, за пределами нижней границы рабочего диапазона, что приводит к росту погрешностей. В результате обучения ИНС должна определять наличие небаланса электроэнергии на участке, превышающем расчетные показатели для данного участка.

Для обучения нейронной сети подготавливается массив данных, в котором указываются показатели счетчиков электроэнергии на границах участка, маркер, фиксирующий наличие в данный период времени на участке поезда с электротягой (данные берутся из графика исполненного движения), а также маркер наличия ненормированного небаланса.

Обучающую выборку для ИНС можно представить в следующем виде:

$$Pi(t) = \{W_{i_{вх}}, W_{i_{вых}}, hi, mi, n, a, p, ki\}, i = 1 \dots I,$$

где $Pi(t)$ – наличие небаланса электроэнергии сверх нормированных значений; t – время расчета значений небаланса; $W_{i_{вх}}$ – показания счетчиков электроэнергии на входе участка; $W_{i_{вых}}$ – показания счетчиков электроэнергии на выходе участка; hi – маркер ремонтных работ на участке; mi – маркер наличия поезда на участке; n – заданные для участка нормативы небаланса; a – маркер, характеризующий принадлежность АСКУЭ к производственной деятельности; p – температура окружающей среды в период расчета; ki – маркер, установленный экспертом, характеризующий наличие сверхнормативного небаланса электроэнергии ($ki = 0$ при $W_{нб} \leq n$ и $ki = 1$ при $W_{нб} > n$).

Анализ результатов

Процесс обучения ИНС занял 225 эпох. Среднеквадратичная ошибка при верификации результатов составила 0,00501. Коэффициент корреляции R при обучении равен 0,9873, проверочный набор $R = 0,9905$, тестовый $R = 0,9939$, все наборы $R = 0,9887$. Среднее значение коэффициента корреляции $R = 0,9499$. Это характеризует высокую точность результатов классификации, выполненной ИНС.

Показатели небаланса электроэнергии на рассматриваемом объекте в среднем составляли 20 %, при использовании ИИС УПЭ факт наличия ненормированных потерь может быть выявлен в течение 30 мин. Это позволит оперативно начать организационные мероприятия по устранению или минимизации потерь. При анализе энергопотребления одного из узлов энергосистемы при использовании ИИС УПЭ возможно уменьшить небаланс до 5 %.

Выводы

Точный контроль и учет потерь электроэнергии являются одними из способов повышения эффективности энергосети. Специфика деятельности, присущая железнодорожному транспорту, позволяет выделить факторы, не зависящие от технических особенностей использованного оборудования, вносящие большой вклад в итоговые значения потерь электроэнергии. Оперативный контроль этих факторов позволяет принимать меры по их устранению,

следовательно, минимизировать их вклад в годовой небаланс электроэнергии и придерживаться принятого на железнодорожном транспорте показателя небаланса 5 % в год.

Несмотря на сложность идентификации ситуаций, когда нет ярко выраженных признаков, ИНС, обученные на действиях опытного эксперта, могут выдавать приемлемые рекомендации, о чем свидетельствует низкая средне-квадратичная ошибка при верификации результатов 0,005. Направление применения метода интеллектуализации для информационных систем управляющих энергообъектами, в частности с применением ИНС, на текущий момент перспективно во многих областях, не только транспортной.

Для построения ИИС УПЭ проведен анализ современного состояния системы учета электроэнергии энергообъектов железнодорожного транспорта и определены факторы, влияющие на рост потерь электроэнергии, присущие отдельным технологическим процессам на железнодорожном транспорте. Разработана структурная схема ИИС УПЭ с применением методов искусственного интеллекта, реализующей алгоритм выявления наличия сверхнормативных значений небаланса электроэнергии.

Список литературы

1. Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчет технологических потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергетик. 2003. № 2. С. 29–33.
2. Cai Q., Duan M., Mu X., Zhang J. Research on the accounting property of digital electricity meter // China International Conference on Electricity Distribution (CICED). doi: 10.1109/CICED.2014.6991860
3. Молочков А. А., Тюгашев А. А., Франтасов Д. Н., Кудряшова Ю. В. Модернизация информационно-измерительной системы с использованием нейросетевых технологий для анализа небаланса электроэнергии на Куйбышевской железной дороге // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2019. № 1. С. 57–67.
4. Воротницкий В. Э., Апрыткин В. Н. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях. Структура и мероприятия по снижению // Новости электротехники. 2002. № 4.
5. Viegas J. L., Vieira S. M., Melício R. [et al.]. Classification of new electricity customers based on surveys and smart accounting data // Energy. 2016. Vol. 107. P. 804–817.
6. Kaczmarek M., Stano E. Proposal for extension of routine tests of the inductive current transformers to evaluation of transformation accuracy of higher harmonics // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2019. Vol. 113. P. 842–849.
7. Bretas A. S., Rossoni A., Trevizan R. D., Bretas N. G. Distribution networks nontechnical power loss estimation: A hybrid data-driven physics model-based framework // Electric Power Systems Research. 2020. Vol. 186.
8. Orlov S. P., Vasilchenko A. N. Intelligent measuring system for testing and failure analysis of electronic devices // XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements. 2016. Vol. 1. P. 401–403.
9. Tyugashev A. A., Frantasov D. N., Kudryashova Y. V. Methods and tools of electricity accounting information and measurement system accuracy increasing // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2019). 2019.
10. Velasco J. A., Amaris H., Alonso M. Deep Learning loss model for large-scale low voltage smart grids // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2020. Vol. 121.

11. Das L., Garg D., Srinivasan B. NeuralCompression: A machine learning approach to compress high frequency measurements in smart grid // *Applied Energy*. 2020. Vol. 257.

References

1. Zhelezko Yu.S., Artem'ev A.B., Savchenko O.V. Calculation of technological losses of electricity in electric networks. *Energetik = The power engineer*. 2003;(2):29–33. (In Russ.)
2. Cai Q., Duan M., Mu X., Zhang J. Research on the accounting property of digital electricity meter. *China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*. doi: 10.1109/CICED.2014.6991860
3. Molochkov A.A., Tyugashev A.A., Frantasov D.N., Kudryashova Yu.V. Modernization of an information and measurement system using neural network technologies for analyzing the imbalance of electricity on the Kuibyshev railway. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki = Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2019;(1):57–67. (In Russ.)
4. Vorotnitskiy V.E., Apriyatin V.N. Commercial losses of electricity in electric networks. Structure and measures to reduce. *Novosti elektrotekhniki = News of electrical engineering*. 2002;(4).
5. Viegas J.L., Vieira S.M., Melicio R. et al. Classification of new electricity customers based on surveys and smart accounting data. *Energy*. 2016;107:804–817.
6. Kaczmarek M., Stano E. Proposal for extension of routine tests of the inductive current transformers to evaluation of transformation accuracy of higher harmonics. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2019;113:842–849.
7. Bretas A.S., Rossoni A., Trevizan R.D., Bretas N.G. Distribution networks nontechnical power loss estimation: A hybrid data-driven physics model-based framework. *Electric Power Systems Research*. 2020;186.
8. Orlov S.P., Vasilchenko A.N. Intelligent measuring system for testing and failure analysis of electronic devices. *XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements*. 2016;1:401–403.
9. Tyugashev A.A., Frantasov D.N., Kudryashova Y.V. Methods and tools of electricity accounting information and measurement system accuracy increasing. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2019)*. 2019.
10. Velasco J.A., Amaris H., Alonso M. Deep Learning loss model for large-scale low voltage smart grids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020;121.
11. Das L., Garg D., Srinivasan B. NeuralCompression: A machine learning approach to compress high frequency measurements in smart grid. *Applied Energy*. 2020;257.

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Николаевич Франтасов
кандидат технических наук, доцент
кафедры прикладной информатики,
Самарский государственный
экономический университет
(Россия, г. Самара,
ул. Советской армии, 141)
E-mail: frantasov@mail.ru

Dmitry N. Frantasov
Candidate of technical sciences,
associate professor of the sub-department
of applied informatics,
Samara State University of Economics
(141 Sovetskaya Armiya street,
Samara, Russia)

Юлия Викторовна Кудряшова

старший преподаватель
кафедры высшей математики,
Приволжский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В)
E-mail: yu.kudryashova@samgups.ru

Yulia V. Kudryashova

Senior lecturer of the sub-department
of higher mathematics,
Volga State University
of Railway Transport
(2V Svobody street, Samara, Russia)

Елена Владимировна Воронина

преподаватель кафедры прикладной
информатики,
Самарский государственный
экономический университет
(Россия, г. Самара,
ул. Советской армии, 141)
E-mail: voroninae.v@sseu.ru

Elena V. Voronina

Lecturer of the sub-department
of applied informatics,
Samara State University of Economics
(141 Sovetskaya Armiya street,
Samara, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 20.03.2024

Поступила после рецензирования/Revised 03.09.2024

Принята к публикации/Accepted 17.09.2024

АГРЕГИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИОРИТЕТНОСТИ В УПРАВЛЕНИИ ИТ-ПРОЕКТАМИ

А. А. Сапогов

Российский государственный социальный университет, Москва, Россия
sapogovmail@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Необходимость обоснованного определения приоритета обработки и решения ряда потоковых обращений, заявок пользователей, групп клиентов в рамках сложных ИТ-проектов, таких как сервисное, техническое обслуживание ИТ-инфраструктуры, включающей выполнение потоковых итераций, предопределяет необходимость разработки новых методов, основанных на использовании агрегированных показателей ряда данных. Применение прежних методов, включая методы теории массового обслуживания, зачастую нерационально либо происходит параллельно ввиду специфики задачи, особенностей итераций, изменения структуры поступления и обработки сервисных запросов, территориального разделения, автоматизации, информатизации и необходимости обработки больших потоковых данных. *Материалы и методы.* В качестве агрегирующей методики использован методологический подход к нейросетевому параметрическому агрегированию. *Результаты.* Предлагается подход к определению управленческих приоритетов обработки и решения потоковых обращений в рамках ИТ-проектов на основе агрегирования ряда качественных показателей. В рамках работы установлены разновекторные качественные характеристики, отражающие состояние процесса приема в обработку сервисного обращения с представлением их в виде векторов значений с критериальными показателями. Произведен расчет агрегированного информационно-аналитического индикатора приоритета единичного сервисного обращения. *Выводы.* Полученный по модели нейросетевого параметрического агрегирования индикатор приоритета единичного сервисного обращения коррелирует с набором исходных данных и адекватно обобщенно отражает совокупность исходных показателей. Кроме того, данная модель позволяет прогнозировать изменения при смещении качественных параметров, заложенных в расчет.

Ключевые слова: агрегирование, управленческий приоритет, обращение пользователя, индикатор, ИТ-проект, аналитика, очередь, клиентоориентированный подход

Для цитирования: Сапогов А. А. Агрегирование качественных показателей приоритетности в управлении ИТ-проектами // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 126–137. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-11

AGREGATION OF QUALITATIVE PRIORITY INDICATORS IN IT PROJECT MANAGEMENT

A.A. Sapogov

Russian State Social University, Moscow, Russia
sapogovmail@gmail.com

Abstract. *Background.* The need to reasonably determine the priority of processing and resolving a number of streaming requests, user requests, client groups within the framework of complex IT projects, such as service, maintenance of IT infrastructure, including the implementation of streaming iterations, predetermines the need to develop new methods based on the use of aggregated indicators of a number of data. The use of previous methods, including methods of queuing theory, is often irrational or occurs in parallel due to the specifics of the task, the characteristics of iterations, changes in the structure of receipt and processing of service requests, territorial division, automation, informatization and the need to process large streaming data. *Materials and methods.* A methodological approach to neural network parametric aggregation was used as an aggregation technique. *Results.* This article proposes an approach to determining management priorities for processing and resolving streaming requests within IT projects based on the aggregation of a number of quality indicators. As part of the work, multi-vector quality characteristics were established that reflect the state of the process of accepting a service request for processing, presenting them in the form of vectors of values with criterion indicators. An aggregated information and analytical indicator of the priority of a single service request was calculated. *Conclusions.* The indicator of the priority of a single service call, obtained using the neural network parametric aggregation model, correlates with the set of initial data and adequately and generally reflects the totality of initial indicators. In addition, this model makes it possible to predict changes when the qualitative parameters included in the calculation shift.

Keywords: aggregation, management priority, user request, indicator, IT project, analytics, queue, client-oriented approach

For citation: Sapogov A.A. Agregation of qualitative priority indicators in it project management. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):126–137. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-11

Введение

Проблема определения управленческих приоритетов – одна из самых актуальных для современных организаций разного рода, особенно работающих в сфере информационных услуг. Для любой компании клиенты играют важную роль, ведь прибыль фирмы напрямую зависит от правильного построения отношений с клиентами. Кроме того, неправильно выстроенные управленческие приоритеты вместо получения прибыли негативно влияют на имидж компании. В связи с этим необходимо, с одной стороны, устранить чрезмерные барьеры, чтобы иметь возможность потенциального увеличения числа клиентов, с другой стороны, не завышать издержки на заработную плату и организационные расходы. В конечном счете речь идет не только о нахождении баланса издержек компании, направленных на удовлетворение потребностей потребителей при сохранении конкурентных преимуществ и грамотном распределении трудовых ресурсов, включая правильное управление очередью, что достигается методами количественного анализа, но и об учете управленческих задач, к которым относятся многие качественные показатели, исходящие из присущих любому процессу политических, маркетинговых, конъюнктурных, экономических и прочих реалий, не подлежащих однозначному переводу в количественные единицы [1–4]. При таком комплексном понимании процесса наличие больших потоковых данных создает ключевые предпосылки для нерациональности применения только прежних классических методов теории массового обслуживания ввиду изменения времени, структуры и механизмов

поступления, к примеру, сервисных запросов, и говорит также о необходимости онлайн-обработки больших потоковых данных по методам индексирования, а не ранжирования или оптимизации внутри группы [5–7]. Само понятие очереди видоизменилось с появлением больших данных, теперь это онлайн меняющаяся сущность, имеющая, как было сказано, не только количественные, но и главным образом качественные характеристики, не учитываемые в количественных расчетах. Цель данной работы – на основе междисциплинарных факторов (критериев), определяющих основные параметры единицы очереди и важных для принятия решений по управлению очередями, предложить математическую модель, позволяющую задавать эти параметры очередей в соответствии с политикой компании по обслуживанию клиентов и управлению рисками и вычислять путем агрегирования разнородных показателей на основе заданных параметров индикатор риска сервисного обращения.

Важной частью управления ИТ-проектом, включая качество и сроки, является правильное определение (классификация) приоритета обработки и решения поступающих потоковых обращений пользователей. В практической плоскости наиболее приоритетные обращения рассматриваются и решаются в первую очередь, так как от их решения зависит работоспособность более важного ИТ-функционала по сравнению с другими поступившими обращениями пользователей.

Необходимо отметить, что «приоритет» как социально-экономическая категория не является постоянной величиной и в зависимости от политики компании и управленческих решений может «смещаться» в ту или иную сторону. Так, одно сервисное обращение обладает несколькими признаками (например, источник обращения, территориальность, исторические данные, объект обращения и пр.), в рамках которых (внутри) и между которыми возможен выбор по указанию лица, принимающего решения (ЛПР). Этот выбор в итоге влияет на очередность рассмотрения и решения обращений. В этом понимании приоритет связан с целями, которые желает достигнуть ЛПР, и в каком-то смысле является «субъективным» отражением его воли.

Задачей исследования является предложение методики сведения в один индикатор всех признаков приоритетности обработки обращений, от чего далее зависят срок решения того или иного обращения и, в свою очередь, качество оказываемых услуг и доступность функционала ИТ-систем в целом. При этом ранжирование признаков и определение взаимных соотношений относятся к компетенции экспертов и лиц, принимающих решения.

Состояние вопроса

На данный момент не применяется какая-либо единая методология сведения управленческих приоритетов обработки и решения потоковых обращений пользователей в рамках сложных ИТ-проектов, которая бы охватывала все аспекты управления данным приоритетом. Используемые в настоящее время алгоритмы приоритетности сервисных запросов основаны на базовых характеристиках запросов, которые решаются в хронологическом порядке единой временной очереди либо в рамках количественной оценки (корреляция «время – параметр»). Срочные сервисные вопросы, имеющие оценочный ранг критических, ставятся в начало очереди в порядке поступления, зачастую в ручном

режиме сервисного инженера. Применяется экспертное ранжирование показателей обращения.

Наиболее методологически и понятийно разработанной на текущий момент является теория управления очередью с одинаковыми признаками элементов (теория массового обслуживания) [8, 9], а также основанные на принципах теории массового обслуживания методики, например, с присвоением относительных приоритетов различным заявкам на закупку [10]. Среди математически применимых моделей также выделяются методы ранжирования или оптимизации внутри группы [5–7, 22, 23], наиболее разработанным из которых является метод анализа иерархий и разработки системы поддержки принятия решений. Данный метод анализа позволяет сформировать иерархию приоритета критериев и альтернатив выбора объекта, а также, используя шкалу относительной важности, прийти к объективному результату [11]. Вместе с тем разработанные методы крайне сложно применить на практике в условиях необходимости онлайн-обработки больших потоковых данных ввиду заложенной в них математики попарных сравнений. В то же время повышенная расчетная нагрузка не является единственным негативным аргументом. В частности, рассчитанные классическими методами показатели имеют в своей основе «закрытый контур» исходных критериев и альтернатив, что в текущей ситуации постоянной смены альтернатив быстро теряет свою актуальность.

В то же время наличие автоматизированных систем управления сервисными обращениями позволяет организовать научно и практически обоснованный порядок сведения управленческих приоритетов обработки и решения потоковых обращений на основе индексирования, а именно модели параметрического агрегирования показателей обращения с учетом всех возможных количественных технических и качественных управленческих критериев [12–16].

Материалы и методы

Для примера реализации данной модели определим ключевые управленческие показатели каждого сервисного обращения, так как для обращений по объекту эксплуатации или информационным системам, связанным с функционированием объекта эксплуатации, сервисная организация должна классифицировать обращения по определенным признакам, без чего невозможно дальнейшее управление качеством [17–20].

Так как процесс оценки приоритетности обращений согласно данной методике невозможен без определения необходимых показателей обращений, обеспечивающих возможность дальнейшей классификации уровня приоритетности, показатели важности обращения должны соответствовать требованиям и условиям эксплуатации, а также характеризовать свойства обращения на этапе его регистрации, определяя, исходя из принимаемых значений, выбор приоритетности. Таким образом, выявление и установление в ИТ-сервисе показателей важности обращения является сложной и основополагающей процедурой для последующей оценки приоритетности по модели нейросетевого параметрического агрегирования данных, так как предполагает декомпозицию в разрезе важности запроса на соответствующие агрегаты. Декомпозиция как процесс имеет свои особенности и ограничения, она должна выполняться согласно разработанной методологии, обоснованно, целесообразно и адекватно поставленным целям [13, 21].

В этом смысле первоначально необходимо установить, какие качественные характеристики в широком смысле этого слова важны при приеме в обработку сервисного обращения, представив их в виде векторов значений с критериальными показателями.

Таковыми параметрами (в качестве примера методологии) могут быть, исходя из специфики деятельности организации, следующие:

1. Тип (вид) важности обращения.

В таком случае для дальнейшего расчета индикатора возможно использовать коэффициент важности запроса (КВЗ), который выражает вероятность того, что обращение при определении его типа (вида) является более или менее важным:

$$\text{КВЗ} = \frac{K_1 + K_2}{K_1}, \quad (1)$$

где K_1 – принимаемый экспертным путем базовый показатель важности типа обращений; K_2 – показатель, принимающий значение согласно табл. 1.

Таблица 1

Значения показателя K_2

Обращение	Значения показателя K_2
Запрос информации	0
Запрос консультации	1
Запрос администрирования (настройки)	2
Запрос на ремонт	3

Чем выше показатель КВЗ, тем выше вероятность того, что содержание запроса следует отнести к более приоритетному.

В рамках модели нейросетевого параметрического агрегирования представим всю область значений данного коэффициента как вектор S_A^T , а принимаемое им в момент расчета значение A обозначим как S_A , данное значение будет являться исходным элементарным агрегатом A . Таким образом, представим нижний критериальный показатель как S_A^* .

2. Локализация обращения.

В таком случае для дальнейшего расчета индикатора возможно использовать коэффициент локализации обращения (КЛО), который выражает вероятность того, что обращение при определении его локализации является более или менее важным:

$$\text{КЛО} = \frac{T_1 + T_2}{T_1}, \quad (2)$$

где T_1 – принимаемый экспертным путем базовый показатель локализации; T_2 – показатель, принимающий значение согласно табл. 2.

Чем выше показатель КЛО, тем выше вероятность того, что содержание запроса следует отнести к более приоритетному.

В рамках модели нейросетевого параметрического агрегирования представим всю область значений данного коэффициента как вектор S_B^T , а принимаемое

им в момент расчета значение B обозначим как S_B , данное значение будет являться исходным элементарным агрегатом B . Таким образом, представим нижний критериальный показатель как S_B^* .

Таблица 2

Значения показателя T_2

Обращение	Значения показателя T_2
Индивидуальный сервис (сбой)	0
Локальный сервис (сбой)	1
Региональный сервис (сбой)	2
Федеральный сервис (сбой)	3

3. Субъект обращения.

Для расчета коэффициента данного качественного показателя возможно использовать коэффициент важности управления (КВУ), который выражает вероятность того, что обращение при определении его субъекта является более или менее важным:

$$\text{КВУ} = \frac{Y_1 + Y_2}{Y_1}, \quad (3)$$

где Y_1 – принимаемый экспертным путем базовый показатель важности субъекта обращений; Y_2 – показатель, принимающий значение согласно табл. 3.

Таблица 3

Значения показателя Y_2

Обращение	Значения показателя Y_2
Сотрудники заказчика	0
Локальный менеджмент	1
Региональный менеджмент	2
Федеральный менеджмент	3

В рамках модели нейросетевого параметрического агрегирования представим всю область значений данного коэффициента как вектор S_C^T , а принимаемое им в момент расчета значение C обозначим как S_C , данное значение будет являться исходным элементарным агрегатом C . Таким образом, представим нижний критериальный показатель как S_C^* .

Следующим шагом в модели нейросетевого параметрического агрегирования является собственно расчет агрегированного информационно-аналитического индикатора приоритета единичного сервисного обращения.

В качестве агрегирующей методики по аналогии используется методологический подход к нейросетевому параметрическому агрегированию [14, 15]:

$$I(S, S^n) = \frac{\sum_n \frac{\alpha_n (S_n - S_n^*)^2}{h_n^2}}{1 + \sum_n \frac{\alpha_n (S_n - S_n^*)^2}{h_n^2}} \quad 0 \leq I \leq 1, \quad (4)$$

где I – индикатор приоритета обращения (ИПО); α_n – весовые коэффициенты, верифицирующие индивидуальные значимости показателей элементарных агрегатов; S_n^* – значения нижних критериальных показателей соответствующих векторов; S_n – принимаемые показатели соответствующего вектора; h – экспертные оценки неизвестных интенсивностей помех значений векторальных показателей.

По условиям формулы индикатор I монотонно растет до 1 при удалении показателей исходных векторов от их нижних критериальных значений, что соответствует увеличению приоритетности данного обращения в сравнении с другими обращениями.

Исходя из вышеописанного, агрегированный индикатор приоритета обращения объективно нелинейно обобщает качественные характеристики приоритетности единичного обращения (заявки, запроса и пр.) при регистрации сервисных обращений пользователей в рамках применения больших данных. Агрегированный индикатор приоритета обращения также может быть использован для выявления запросов (обращений), требующих особого или дополнительного контроля.

Результаты

Проведем расчет агрегированного индикатора приоритета обращения для пяти единичных сервисных обращений на примере компании, оказывающей услуги ИТ-сопровождения (табл. 4).

Таблица 4

Расчетные данные показателей и индикатора

Номер п/п	КВЗ	КЛО	КВУ	Индикатор
1	4	3	4	0,92
2	2	3	3	0,82
3	1	2	2	0,51
4	3	2	2	0,75
5	1	3	1	0,67

Из табл. 4 следует, что чем выше значение индикатора приоритета единичного сервисного обращения, тем, соответственно, выше вероятность того, что данное обращение является более важным для первоочередного решения по сравнению с остальными обращениями, имеющимися на данный момент.

На рис. 1, 2 в левой части по вертикали обозначена шкала коэффициентов, в правой части – шкала агрегированного индикатора.

В процессе опытного применения и эксплуатации и с учетом экспертного мнения его применения ИПО может быть дополнен следующими атрибутами:

- пороговое значение, требующее особого контроля;
- рабочее значение.

В процессе оказания услуг возможно объединение индикаторов конкретных обращений с целью получения единого индикатора приоритетности всего сервиса. В данном случае целевое направление изменения такого единого агрегированного информационно-аналитического индикатора для всех запросов по времени: позитивное – убывание, негативное – возрастание.

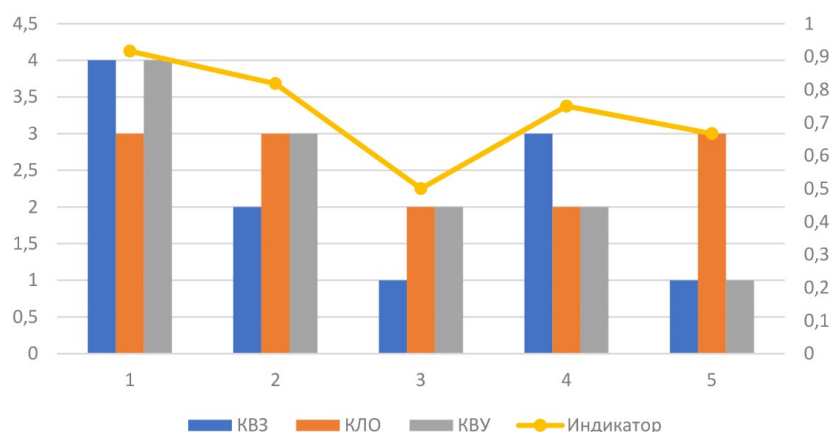


Рис. 1. Приведение показателей к агрегированному индикатору приоритета обращения

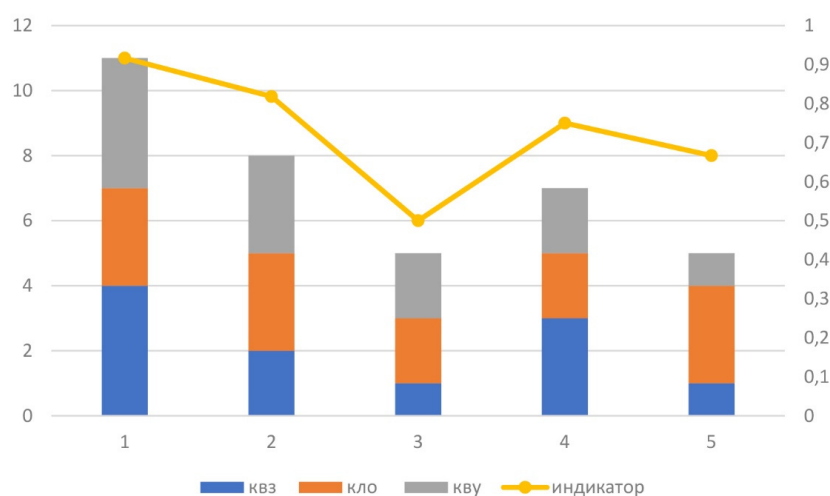


Рис. 2. Визуализация индикатора приоритета обращения в гистограмме с накоплением

В случае введения единого ИПО всего сервиса возможно установление рабочего и порогового значений приоритетности для всего сервиса и установление шкалы единого агрегированного ИПО, в том числе для сравнения во времени. Шкала единого ИПО может также делиться на следующие области:

- работы не требуют дополнительного контроля (мало приоритетных задач);
- необходим дополнительный контроль работ (много приоритетных задач);
- необходимы предупредительные мероприятия (критически много приоритетных задач).

Если фактическое значение единого ИПО меньше порогового значения, то агрегированный индикатор принадлежит области «работы (услуги) не требуют дополнительного контроля».

Если фактическое значение единого ИПО незначительно меньше либо равно пороговому значению, то агрегированный индикатор принадлежит

области «необходим дополнительный контроль». Если фактическое значение единого ИПО больше порогового значения, то индикатор принадлежит области «необходимы предупредительные мероприятия».

Заключение

Из визуализации на рис. 1, 2 видно, что полученный по модели нейросетевого параметрического агрегирования индикатор приоритета единичного сервисного обращения коррелирует с набором исходных данных и адекватно обобщенно отражает совокупность исходных показателей.

Теоретическая значимость исследования заключается в применении метода индексирования к решению задачи управленческой приоритизации в дополнение к разработанным и применяющимся методам ранжирования и оптимизации.

Метод имеет потенциал практического применения и развития, в том числе путем дальнейшего объединения индикаторов конкретных обращений с целью получения единого индикатора приоритетности всего сервиса. Практическое применение модели нейросетевого параметрического агрегирования данных для оценки управленческого приоритета единичного сервисного обращения наряду с классическими методами теории массового обслуживания также имеет ряд достоинств. Наличие вышеописанного агрегированного показателя приоритета единичного сервисного обращения улучшает доступность неколичественной аналитической информации для лиц, принимающих решения, снижает размерность подобных аналитических данных, повышает объективность получаемой обобщенной информации и в конечном счете повышает уровень надежности оказываемого сервисного обслуживания.

Список литературы

1. Абу-Абед Ф. Н., Допира Р. В., Мартынов Д. В., Мартюшов В. Ф. Методы оценки параметров системы сервисного обслуживания сложных технических систем // Проблемы образования в современной России и на постсоветском пространстве : сб. ст. XXIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 25–26 февраля 2016 г.) / под ред. В. И. Левина. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2016. С. 74–81.
2. Близняков М. С. Сложности внедрения информационных систем (ИС) в организациях // Студенческий. 2022. № 17-2. С. 19–22.
3. Иващенко А. В., Корчивой С. А. Построение программной инфраструктуры сферы услуг в условиях цифровой экономики // Программные продукты и системы. 2018. № 4. С. 692–696.
4. Parasuraman A., Zeithaml V. A., Berry L. L. SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring service quality // Journal of Retailing. 1988. № 64. P. 32–33.
5. Оботурова Л. В. Оценка экономической эффективности проекта разработки и внедрения автоматизированной информационной системы // Севергеоэкотех-2012 : материалы XIII Междунар. молодеж. науч. конф. : в 6 ч. (г. Ухта, 21–23 марта 2012 г.). Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2013. Ч. III. С. 271–276. EDN: WDVTD
6. Истомина Е. В. Оценка эффективности информационных систем // Научные труды Вольного экономического общества России. 2008. Т. 103. С. 145–151. EDN: KHRUYUB
7. Копаница Г. Д., Цветкова Ж. Ю., Весели Х. Анализ метрик, используемых для оценки удобства использования медицинских информационных систем // Врач и информационные технологии. 2012. № 3. С. 31–36. EDN: PDTUUR
8. Рыбченко И. М., Бараш А. Л., Роговой В. В. Решение задач автомобильных перевозок методами теории массового обслуживания с учетом приоритетов заявок //

- Актуальные вопросы перспективных направлений применения автомобильной и специальной техники : сб. науч. тр. IV Межведомственной науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 13 мая 2022 г.). СПб. : Медиапайр, 2022. С. 169–172. EDN: HMQZYE
9. Амосова Н. Н. Математические аспекты теории массового обслуживания // Евразийский Союз Ученых. Серия: Технические и физико-математические науки. 2022. № 10. С. 23–25. doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.103.1732 EDN: OCKHME
 10. Эльяшевич И. П. Методология принятия решений по выбору поставщиков операционных ресурсов и логистических услуг при реализации технологии «Lean Six Sigma» в снабжении // Логистика и управление цепями поставок. 2018. № 1. С. 125–132. EDN: YQVCTS
 11. Чернышов В. К. Использование метода анализа иерархий при разработке системы поддержки принятия решений по замене сетевого оборудования // Шаг в науку. 2024. № 1. С. 90–95. EDN: XGCJTT
 12. Краснов А. Е., Надеждин Е. Н., Никольский Д. Н. [и др.] Нейросетевой подход к проблеме оценивания эффективности функционирования организации на основе агрегирования показателей ее деятельности // Информатизация образования и науки. 2017. № 1. С. 141–154. EDN: XHCVUV
 13. Пивнева С. В. Декомпозиция процесса управления школой в единой информационной среде // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании : сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Балаково, 18 декабря 2019 г.). Балаково : Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2020. Т. 1. С. 216–219. EDN: DTCMZT
 14. Краснов А. Е., Красников С. А., Сагинов Ю. Л. [и др.]. Модели количественного оценивания качества объектов технологий, производства и бизнеса в стандарте IDFM // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 3. С. 53–56.
 15. Краснов А. Е., Красников С. А., Николаева С. В., Чернов Е. А. Агрегированное параметрическое описание состояний сложных систем на разных уровнях иерархии // Инновационные информационные технологии (I2T) : сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Прага, 22–26 апреля, 2013). Т. 2. Инновационные информационные технологии в науке. М. : МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. С. 278–285.
 16. Сапогов А. А. Существующие методики агрегирования финансовых данных // Инновации и инвестиции. 2023. № 8. С. 247–250.
 17. Курносова О. А. Оценка качества организации системы логистического сервиса на промышленных предприятиях // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2019. Т. 5, № 1. С. 54–67. EDN: UXDKYU
 18. Limbourg S., Giangb H. Q., Coolsc M. Logistics Service Quality: The Case of Da Nang City // Procedia Engineering. 2016. Vol. 142. P. 124–130.
 19. Rahman S. Quality management in logistics services: A comparison of practices between manufacturing companies and logistics firms in Australia // Total Quality Management. 2008. Vol. 19, № 5. P. 535–550.
 20. Ершова Т. Б., Рыцев О. А. Общая характеристика качества ИТ-услуг предприятия // Экономические и гуманитарные науки. 2011. № 2. С. 109–112. EDN: NEJMSN
 21. Зимин В. В. Механизмы декомпозиционного управления жизненным циклом информационно-технологических сервисов (на примере предприятий черной металлургии) : дис. ... д-ра техн. наук. 2017. 310 с.
 22. Broker J., Smith L. A. From ensemble forecasts to predictive distribution functions. Tellus. 2008. № 60. P. 663–678.
 23. Raftery A. E., Gneiting T., Balabdaoui F., Polakowski M. Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles // Monthly Weather Review. 2005. Vol. 133. P. 1155–1174.

References

1. Abu-Abed F.N., Dopira R.V., Martynov D.V., Martyushov V.F. Methods of evaluating the parameters of the service system of complex technical systems. *Problemy obrazovaniya v sovremennoy Rossii i na postsovetском prostranstve: sb. st. XKhIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Penza, 25–26 fevralya 2016 g.) = Problems of education in modern Russia and in the post-Soviet space : collection of Articles XIV International scientific and practical conference (Penza, February 25–26, 2016)*. Penza: Privolzhskiy Dom znaniy, 2016:74–81. (In Russ.)
2. Bliznyakov M.S. The difficulties of implementing information systems (IS) in organizations. *Studencheskiy = Student's*. 2022;(17-2):19–22. (In Russ.)
3. Ivashchenko A.V., Korchivoy S.A. Building a software infrastructure for services in the digital economy. *Programmnye produkty i sistemy = Software products and systems*. 2018;(4):692–696. (In Russ.)
4. Parasuraman A., Zeithaml V.A., Berry L.L. SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring service quality. *Journal of Retailing*. 1988;(64):32–33.
5. Oboturova L.V. Evaluation of the economic efficiency of the project for the development and implementation of an automated information system. *Severgeokotekh-2012: materialy XIII Mezhdunar. molodezh. nauch. konf.: v 6 ch. (g. Ukhta, 21–23 marta 2012 g.) = Severgeocotech-2012 : proceedings of the XIII International youth. scientific conference : at 6 a.m. (Ukhta, March 21-23, 2012)*. Ukhta: Ukhtinskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2013;Pt.III:271–276. (In Russ.). EDN: WDVTD
6. Istomina E.V. Evaluation of the effectiveness of information systems. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii = Scientific works of the Free Economic Society of Russia*. 2008;103:145–151. (In Russ.). EDN: KHRYUB
7. Kopanitsa G.D., Tsvetkova Zh.Yu., Veseli Kh. Analysis of metrics used to assess the usability of medical information systems. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Doctor and Information Technologies*. 2012;(3):31–36. (In Russ.). EDN: PDTUUR
8. Rybchenko I.M., Barash A.L., Rogovoy V.V. Solving problems of automotive transportation by methods of the theory of queuing, taking into account the priorities of applications. *Aktual'nye voprosy perspektivnykh napravleniy primeneniya avtomobil'noy i spetsial'noy tekhniki: sb. nauch. tr. IV Mezhdvdomstvennoy nauch.-prakt. konf. (g. Sankt-Peterburg, 13 maya 2022 g.) = Topical issues of promising areas of application of automotive and special equipment : collection of scientific papers of the IV Interdepartmental scientific and practical conference (St. Petersburg, May 13 2022)..* Saint Petersburg: Mediapapir, 2022:169–172. (In Russ.). EDN: HMQZYE
9. Amosova N.N. Mathematical aspects of the theory of queuing. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh. Seriya: Tekhnicheskii i fiziko-matematicheskie nauki = Eurasian Union of Scientists. Series: Technical and physical and mathematical Sciences*. 2022;(10): 23–25. (In Russ.). doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.103.1732 EDN: OCKHME
10. El'yashevich I. P. Methodology of decision-making on the choice of suppliers of operational resources and logistics services in the implementation of Lean Six Sigma technology in supply. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok = Logistics and chain management supplies*. 2018;(1):125–132. (In Russ.). EDN: YQVCTS
11. Chernyshov V.K. Using the hierarchy analysis method in the development of a decision support system for the replacement of network equipment. *Shag v nauku = A step into science*. 2024;(1):90–95. (In Russ.). EDN: XGCJTT
12. Krasnov A.E., Nadezhdin E.N., Nikol'skiy D.N. et al. A neural network approach to the problem of evaluating the effectiveness of an organization's functioning based on the aggregation of its performance indicators. *Informatizatsiya obrazovaniya i nauki = Informatization of education and science*. 2017;(1):141–154. (In Russ.). EDN: XHCVVU
13. Pivneva S.V. Decomposition of the school management process in a unified information environment. *Sovremennye tekhnologii i avtomatizatsiya v tekhnike, upravlenii i obrazovanii: sb. tr. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Balakovo, 18 dekabrya 2019 g.) = Modern technologies and automation in engineering, management and education : proceedings of the II International scientific and practical conference (Balakovo,*

- December 18, 2019). Balakovo: Natsional'nyy issledovatel'skiy yadernyy universitet «MIFI», 2020;1:216–219. (In Russ.). EDN: DTCMZT
14. Krasnov A.E., Krasnikov S.A., Saginov Yu.L. et al. Models of quantitative assessment of the quality of technology, production and business facilities in the IDFM standard. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and processing of agricultural raw materials*. 2006;(3):53–56. (In Russ.)
 15. Krasnov A.E., Krasnikov S.A., Nikolaeva S.V., Chernov E.A. Aggregated parametric description of the states of complex systems at different levels of hierarchy. *Innovatsionnye informatsionnye tekhnologii (I2T): sb. tr. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Praga, 22–26 aprelya, 2013). T. 2. Innovatsionnye informatsionnye tekhnologii v nauke = Innovative information technologies (I2T) : proceedings of the II International scientific and practical conference (Prague, April 22–26, 2013)*. Moscow: MIEM NIU VShE, 2013:278–285. (In Russ.)
 16. Sapogov A.A. Existing methods of aggregation of financial data. *Innovatsii i investitsii = Innovations and investments*. 2023;(8):247–250. (In Russ.)
 17. Kurnosova O.A. Assessment of the quality of the organization of the logistics service system at industrial enterprises. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernad'skogo. Ekonomika i upravlenie = Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Economics and management*. 2019;5(1):54–67. (In Russ.). EDN: UXDKYU
 18. Limbourg S., Giangb H.Q., Coolsc M. Logistics Service Quality: The Case of Da Nang City. *Procedia Engineering*. 2016;142:124–130.
 19. Rahman S. Quality management in logistics services: A comparison of practices between manufacturing companies and logistics firms in Australia. *Total Quality Management*. 2008;19(5):535–550.
 20. Ershova T.B., Rytsev O.A. General characteristics of the quality of IT services of an enterprise. *Ekonomicheskie i humanitarnye nauki = Economic and humanitarian sciences*. 2011;(2):109–112. (In Russ.). EDN: NEJMSN
 21. Zimin V.V. Mechanisms of decomposition life cycle management of information technology services (on the example of enterprises of ferrous metallurgy). DSc dissertation. 2017:310. (In Russ.)
 22. Broker J., Smith L. A. *From ensemble forecasts to predictive distribution functions*. *Tellus*. 2008;(60):663–678.
 23. Raftery A.E., Gneiting T., Balabdaoui F., Polakowski M. Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles. *Monthly Weather Review*. 2005;133:1155–1174.

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Александрович Сапогов
аспирант,
Российский государственный
социальный университет
(Россия, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, 4)
E-mail: sapogovmail@gmail.com

Aleksandr A. Sapogov
Postgraduate student,
Russian State Social University
(4 Wilhelm Peak street, Moscow, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 18.06.2024

Поступила после рецензирования/Revised 12.09.2024

Принята к публикации/Accepted 17.09.2024

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ ДИФРАКЦИИ НА ПЛОСКИХ ОБЪЕКТАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПОЛЯ

А. О. Лапич

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
lapich.a@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цель работы – решение обратной задачи дифракции на плоских объектах. *Материалы и методы.* Исходная задача сводится к решению интегрального уравнения. Данное уравнение будет решаться численным методом. Был использован современный двухшаговый подход при решении обратной задачи. Для моделирования нелинейного процесса применены различные виды функций нелинейности поля. *Результаты.* Представлены графические изображения, иллюстрирующие значение диэлектрической проницаемости внутри тела для исходной задачи и восстановленных значений. Показаны графики сходимости итерационного процесса моделирования нелинейного поля. Приведено сравнение результатов для различных значений параметров. *Выводы.* Предложен и реализован численный метод решения задачи, получены сравнительные результаты.

Ключевые слова: обратная задача, интегральное уравнение, краевая задача, численный метод, двухшаговый метод, нелинейность Керра, нелинейность с насыщением, метод Галеркина

Для цитирования: Лапич А. О. Решение прямой и обратной задач дифракции на плоских объектах с различными видами нелинейности поля // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 3. С. 138–146. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-12

SOLVING THE DIRECT AND INVERSE DIFFRACTION PROBLEMS ON FLAT OBJECTS WITH DIFFERENT TYPES OF FIELD NONLINEARITY

A.O. Lapich

Penza State University, Penza, Russia
lapich.a@yandex.ru

Abstract. *Background.* The aim of the work is to solve the inverse problem of diffraction on flat objects. *Materials and methods.* The initial problem is reduced to solving an integral equation. This equation will be solved numerically. When solving the inverse problem, an up-to-date two-step method is used. Various types of field nonlinearity are used to simulate a nonlinear process. *Results.* Graphical images illustrating the value of the dielectric constant inside the body for the initial problem and the reconstructed values are presented. Graphs of convergence of the iterative process of injection of a nonlinear field are shown. The results are compared for different parameter values. *Conclusions.* A numerical method for solving the problem is proposed and implemented, and comparative results are obtained.

Keywords: inverse problem, integral equation, boundary value problem, numerical method, two-step method, Kerr nonlinearity, saturation nonlinearity, Galerkin method

For citation: Lapich A.O. Solving the direct and inverse diffraction problems on flat objects with different types of field nonlinearity. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2024;(3):138–146. (In Russ.). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-12

Введение

Обратные задачи дифракции представляют собой важную и довольно обширную область научных исследований в оптике, физике, электродинамике и технике. Они включают в себя восстановление параметров объектов по рассеянному излучению. Подобные подходы актуальны для решения задач, связанных с формированием результатов измерения параметров, которые невозможно получить без влияния на целостность объекта. За последние 10–15 лет решения схожих задач многие выводы и утверждения были получены в работах [1–6]. Они имеют широкий спектр применения в различных областях: от медицинской диагностики до получения радиолокационных изображений. Многие вопросы таких задач уже были рассмотрены, получены фундаментальные результаты [7]. Однако решение обратных задач при нелинейной структуре является слабо изученным в литературе, многие вопросы требуют анализа и дальнейшего решения.

Иногда для решения дифракционных задач удобно использовать двумерные модели как подобие слоя трехмерной фигуры. Такой подход позволяет повысить скорость вычисления и не требует высоких вычислительных мощностей. Это позволяет более точно настроить алгоритм работы программного аппарата. В то же время такую задачу можно без особых трудностей переписать и для трехмерного случая.

Постановка задачи

Пусть дан некоторый объект, расположенный в двумерной области. Предполагается, что объект может иметь как линейную, так и нелинейную зависимость от поля u . Задача описывается через неоднородное уравнение Гельмгольца:

$$\Delta u + k^2(x)u = f(x), \quad (1)$$

где $f(x)$ – известная функция с компактным носителем; $k^2(x)$ – непрерывная вещественная функция.

Будем предполагать, что на границе раздела двух сред выполняются условия сопряжения

$$[u]_{\partial Q} = 0, \quad \left[\frac{\partial u}{\partial n} \right]_{\partial Q} = 0, \quad (2)$$

а также необходимо учесть условия излучения Зоммерфельда

$$\frac{\partial u}{\partial r} = ik_0 u + o\left(\frac{1}{\sqrt{r}}\right), \quad r := |x| \rightarrow \infty. \quad (3)$$

На рис. 1 представлена геометрия задачи. Прямоугольный объект Q расположен в двумерном пространстве. Заметим, что объект может иметь произвольную конфигурацию. Для этого можно применять, к примеру, субиерархический метод [8]. С его помощью можно «вырезать» объекты без дополнительного пересчета матрицы. Вне объекта волновое число $k_0 = \text{const}$; $k(x)$ – функция, характеризующая волновое число внутри тела; u – поле, исходящее от точечного источника и его направление. Точками обозначены положения точек наблюдения. Более подробную постановку, доказательство единственности задачи (1)–(3) можно посмотреть в работах [9, 10].

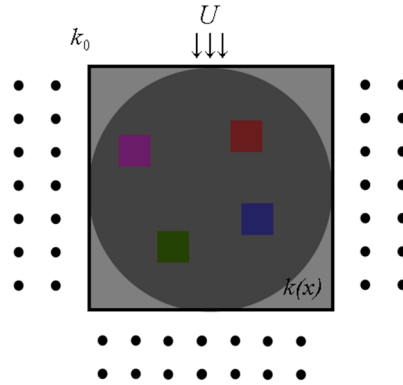


Рис. 1. Визуализация задачи

Представим уравнение в виде (1):

$$\Delta u + k_0^2 u = (k_0^2 - k^2(x))u + f(x). \quad (4)$$

Задача (1)–(4) сводится к интегральному уравнению вида

$$u(x) = f^0(x) + k_1^2 \int_Q G(x, y) u(y) dy \quad (5)$$

в случае, когда $k(x) = \text{const}$ или

$$u(x) = f^0(x) + \int_Q G(x, y) (k_0^2 - k^2(y)) u(y) dy. \quad (6)$$

Уравнение (6) описывает неоднородный случай и содержит волновую функцию $k(x)$.

Нелинейный случай

В данном пункте будут рассмотрены некоторые возможные функции задания нелинейности [11]. Рассмотрим нелинейность, заданную по следующему закону:

$$k^2(x) = k_1^2 + k_0 \alpha |u(x)|^2. \quad (7)$$

Данный эффект заключается в изменении свойств изотропных материалов при воздействии поля. При интенсивном воздействии в реальных средах происходит явление насыщения, характеризующееся ограничением роста эффекта. Насыщение можно моделировать с помощью следующей функции:

$$k^2(x) = k_1^2 + \frac{k_0 \alpha |u(x)|^2}{1 + \beta |u(x)|}, \quad (8)$$

где β является некоторым коэффициентом нелинейности. Формула (8) является обобщением (7) при $\beta \rightarrow 0$.

В нелинейных задачах также довольно часто применяется нелинейность экспоненциального типа, которая записывается в виде

$$k^2(x) = 1 - e^{-\beta |u(x)|^2}. \quad (9)$$

Рассмотрим один из возможных методов задания нелинейности поля. Данный алгоритм заключается в построении явного итерационного процесса, который можно представить по шагам [12].

Рассмотрим нелинейное интегральное уравнение

$$f^0(x) = u(x) - \int_Q G(x, y) (k^2(y; u(y)) - k_0^2) u(y) dy, \quad (10)$$

где волновая функция зависит от $u(x)$. Уравнение (10) описывает процесс дифракции волны внутри Q . Так как будет использован явный алгоритм, на первом шаге решим линейное объемное интегральное уравнение (10) для задания начального приближения и тем самым определим значение $u_0(x)$. На последующих шагах пересчитываем значения волновой функции по одной из формул задания нелинейности (7)–(9). Последним шагом является пересчет и нахождение решения на новом шаге с использованием следующей формулы:

$$u_{n+1}(x) = f^0(x) + \int_Q G(x, y) (k_{n+1}^2(y; u_n(y)) - k_0^2) u_n(y) dy.$$

Процесс повторяется, пока не будет достигнута требуемая точность.

Двухшаговый метод решения обратной задачи на плоском объекте

Далее мы приступаем к процедуре обнаружения неоднородностей внутри объекта. Для этой цели мы применяем двухшаговый алгоритм [10, 13], который хорошо зарекомендовал себя в решении подобных задач. Первым действием является определение значения поля $U(x)$ по следующей формуле:

$$U(x) = (k_0^2 - k^2(x)) u(x).$$

Далее решаем уравнение относительно поля $U(x)$:

$$u_{\text{merg}}(x_{ob}) - u^0(x_{ob}) = k_0^2 \int_Q G_E(x_{ob}, y) U(y) dy, \quad x_{ob} \notin Q, \quad (11)$$

где $u_{\text{merg}}(x_{ob})$ является моделируемым полем в точках x_{ob} .

Из уравнения (11) находим $U(x)$ и определяем волновую функцию тела $k(x)$ в каждой ячейке, используя формулу пересчета:

$$(k_0^2 - k^2(x)) = \frac{U(x)}{u^0(x) + \left(\int_{\Omega} G_E(x, y) U(y) dy \right)}, x \in \Omega. \quad (12)$$

В связи с тем, что уравнение (12) является уравнением первого рода, полученная в ходе вычисления матрица является плохо обусловленной. Для снижения числа обусловленности матрицы будет применен метод объединенных расчетных сеток [9].

Численные результаты

Приведем результаты решения прямой и обратной задач при различных параметрах нелинейности. В качестве начальных данных при расчетах были выбраны следующие значения: размеры области объекта $a = 0,15$ м, $b = 0,15$ м, общее количество ячеек с применением объединенных расчетных сеток $N = 12\,500$. Источник излучения расположен сверху объекта на расстоянии длины одной из его сторон. Неоднородность представляет собой эллипс, расположенный внутри прямоугольной области. На рис. 2, 3, 5, 7 представлено решение задачи при задании различных значений коэффициентов нелинейности α и β , где слева показаны значения поля, а справа значения волновой функции после решения обратной задачи.

На рис. 2 представлен линейный случай при $\alpha = 0, \beta = 0$. На рис. 3 описывается решение при параметре нелинейности $\alpha = 0,01$. На рис. 5 продемонстрировано решение задачи, когда параметр нелинейности β значительно превосходит параметр α , а именно $\alpha = 0,1, \beta = 0,5$. На рис. 7 показано решение при параметрах $\alpha = 0,001, \beta = 0,1$.

В левой части представлены значения поля, справа – значения волновой функции после решения обратной задачи. На рис. 4, 6, 8 указаны графики сходимости итерационного процесса (разница между текущим и предыдущим шагом итерации).

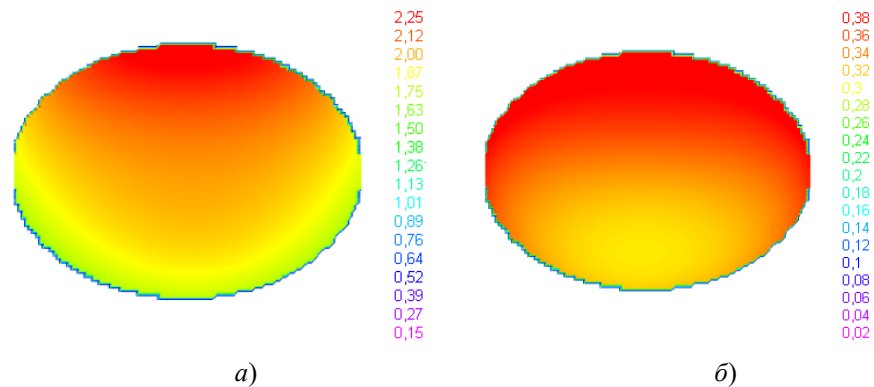


Рис. 2. Решение задачи при линейном случае ($\alpha = \beta = 0$):
 а – значения поля $u(x)$; б – значения волновой функции $k(x)$
 после решения обратной задачи

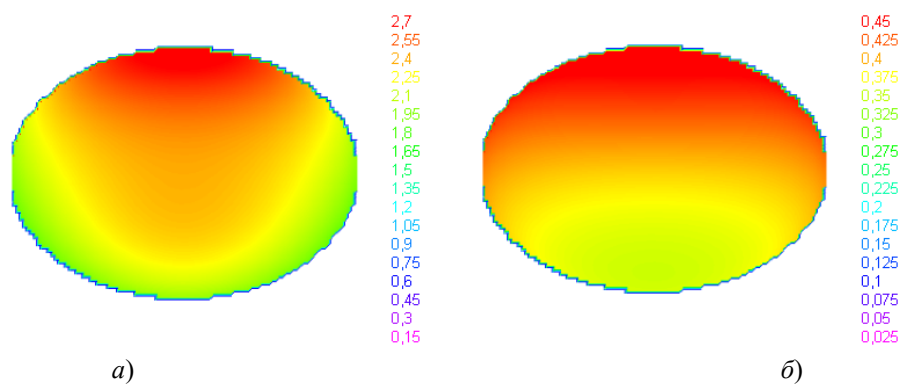


Рис. 3. Решение задач при нелинейности (7):
 a – значения поля $u(x)$; b – значения волновой функции $k(x)$
 после решения обратной задачи

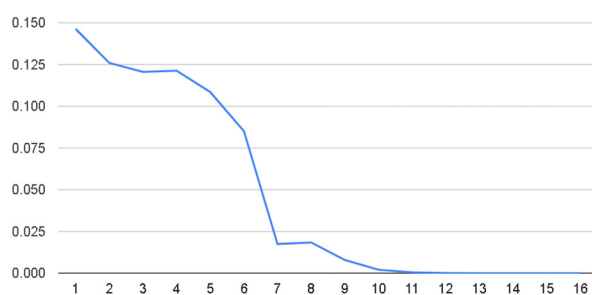


Рис. 4. График сходимости итерационного процесса с нелинейностью (7)

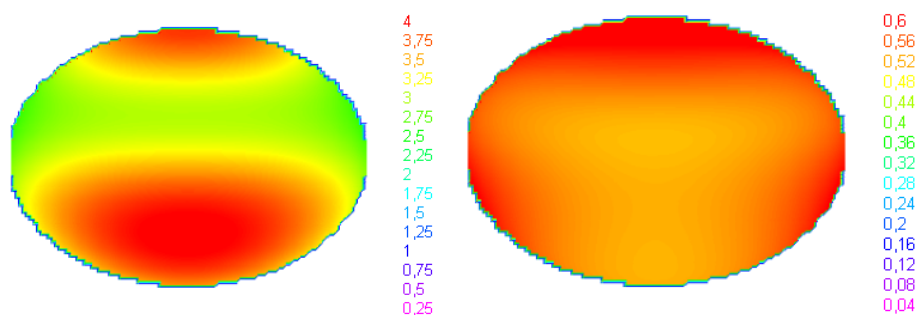


Рис. 5. Решение задачи при нелинейности (8), где $\alpha < \beta$:
 a – значения поля $u(x)$; b – значения волновой функции $k(x)$
 после решения обратной задачи

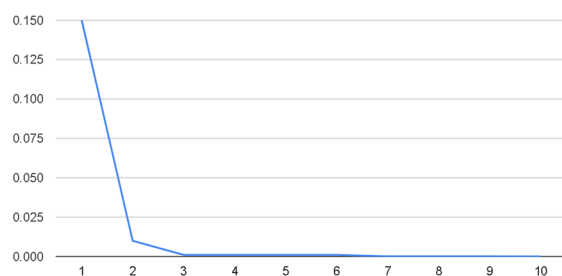


Рис. 6. График сходимости итерационного процесса с нелинейностью (8), где $\alpha < \beta$

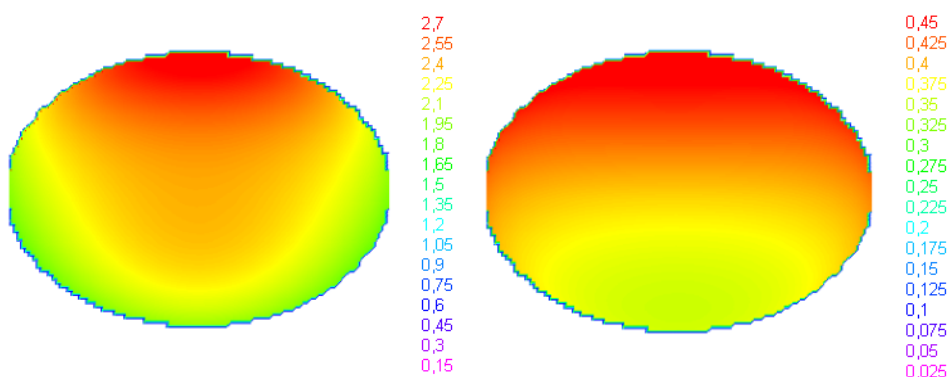


Рис. 7. Решение задач при нелинейности (8), где $\alpha > \beta$

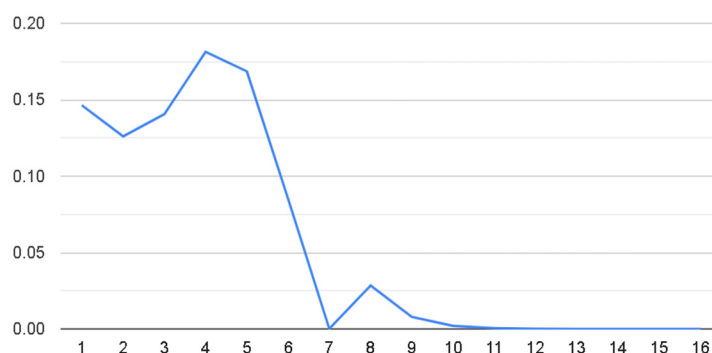


Рис. 8. График сходимости итерационного процесса задания нелинейности (8), где $\alpha > \beta$

Заключение

В работе описан метод решения двумерной нелинейной задачи дифракции для объектов, имеющих как линейную, так и нелинейную структуру. Представлен итерационный метод задания нелинейности, который может быть применен ко всем вышеописанным законам. Представленные графики решения обратной задачи показывают схожие результаты с требуемой точностью, что говорит о возможности применения такого подхода в подобных задачах. Были получены графики сходимости итерационного процесса для каждого вида нелинейности при моделировании нелинейного поля. В созданной модели допустимо задавать более мелкие неоднородности, которые возможно восстановить при решении обратной задачи. Стоит отметить, что результаты задачи носят модельный характер, который впоследствии возможно применять в более сложных задачах, например трехмерных. Значения параметров нелинейности выбраны на основании результатов подобных задач.

Список литературы

1. Романов В. Г. Устойчивость в обратных задачах. М. : Научн. мир, 2005. 296 с.
2. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск : Сибирское научное издательство, 2009. 457 с.
3. Горюнов А. Л., Сасковец А. В. Обратные задачи рассеяния в акустике. М. : Изд-во МГУ, 1989. 152 с.

4. Алексеенко Н. В., Буров В. А., Румянцева О. Д. Решение трехмерной обратной задачи акустического рассеяния. Модифицированный алгоритм Новикова // Акустический журнал. 2008. Т. 54, № 3. С. 469–482.
5. Буров В. А., Вечерин С. Н., Морозов С. А., Румянцева О. Д. Моделирование точного решения обратной задачи акустического рассеяния функциональными методами // Акустический журнал. 2010. Т. 56, № 4. С. 516–536.
6. Буров В. А., Румянцева О. Д. Обратные волновые задачи акустической томографии. Ч. 2. Обратные задачи акустического рассеяния. М. : УРСС, 2019. 760 с.
7. Смирнов Ю. Г., Цупак А. А. Математическая теория дифракции акустических и электромагнитных волн на системе экранов и неоднородных тел. М. : Русайнс, 2016. 223 с.
8. Медведик М. Ю. Субиерархический метод решения интегрального уравнения Липпмана – Швингера // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2010. № 4. С. 82–88.
9. Лапич А. О., Медведик М. Ю. Решение скалярной двумерной нелинейной задачи дифракции на объектах произвольной формы // Ученые записки Казанского университета. Сер. Физико-математические науки. 2023. Т. 165, кн. 2. С. 166–176.
10. Smirnov Y. G., Tsupak A. A., Medvedik M. Y. Non-iterative two-step method for solving scalar inverse 3D diffraction problem // Inverse Problems in Science and Engineering. 2020. Vol. 28. P. 1474–1492.
11. Ахмедиев Н. Н., Анкевич А. Солитоны. М. : Физматлит, 2003. 304 с.
12. Лапич А. О., Медведик М. Ю. Итерационная схема решения нелинейного интегрального уравнения типа Липпмана – Швингера методом Галеркина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2023. № 3. С. 66–73.
13. Лапич А. О., Медведик М. Ю. Метод восстановления параметров неоднородностей тела по результатам измерений электромагнитного поля // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 4. С. 142–153.

References

1. Romanov V.G. *Ustoychivost' v obratnykh zadachakh = Stability in inverse problems*. Moscow: Nauchn. mir, 2005:296. (In Russ.)
2. Kabanikhin S.I. *Obratnye i nekorrektnye zadachi = Inverse and incorrect problems*. Novosibirsk: Sibirskoe nauchnoe izdatel'stvo, 2009:457. (In Russ.)
3. Goryunov A.L., Saskovets A.V. *Obratnye zadachi rasseyaniya v akustike = Inverse scattering problems in acoustics*. Moscow: Izd-vo MGU, 1989:152. (In Russ.)
4. Alekseenko N.V., Burov V.A., Rumyantseva O.D. Solution of the three-dimensional inverse problem of acoustic scattering. The modified Novikov algorithm. *Akusticheskiy zhurnal = Acoustic magazine*. 2008;54(3):469–482. (In Russ.)
5. Burov V.A., Vecherin S.N., Morozov S.A., Rumyantseva O.D. Modeling of the exact solution of the inverse problem of acoustic scattering by functional methods. *Akusticheskiy zhurnal = Acoustic magazine*. 2010;56(4):516–536. (In Russ.)
6. Burov V.A., Rumyantseva O.D. *Obratnye volnovye zadachi akusticheskoy tomografii. Ch. 2. Obratnye zadachi akusticheskogo rasseyaniya = Inverse wave problems of acoustic tomography. Part 2. Inverse problems of acoustic scattering*. Moscow: URSS, 2019:760. (In Russ.)
7. Smirnov Yu.G., Tsupak A.A. *Matematicheskaya teoriya difraktsii akusticheskikh i elektromagnitnykh voln na sisteme ekranov i neodnorodnykh tel = Mathematical theory of diffraction of acoustic and electromagnetic waves on a system of screens and inhomogeneous bodies*. Moscow: Rusayns, 2016:223. (In Russ.)
8. Medvedik M.Yu. Subierarchical method of solving the Lippmann–Schwinger integral equation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Fiziko-*

- matematicheskie nauki* = *Proceedings of higher educational institutions. The Volga region. Physical and mathematical sciences*. 2010;(4):82–88. (In Russ.)
9. Lapich A.O., Medvedik M.Yu. The solution of a scalar two-dimensional nonlinear diffraction problem on objects of arbitrary shape. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Fiziko-matematicheskie nauki* = *Scientific notes of the Kazan University. Ser. Physical and mathematical sciences*. 2023;165(Bk.2):166–176. (In Russ.)
 10. Smirnov Y.G., Tsupak A.A., Medvedik M.Y. Non-iterative two-step method for solving scalar inverse 3D diffraction problem. *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2020;28:1474–1492.
 11. Akhmediev N.N., Ankevich A. Solitony. Moscow: Fizmatlit, 2003:304.
 12. Lapich A.O., Medvedik M.Yu. n iterative scheme for solving a nonlinear integral equation of the Lippman-Schwinger type by the Galerkin method. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Fiziko-matematicheskie nauki* = *Proceedings of higher educational institutions. The Volga region. Physical and mathematical sciences*. 2023;(3):66–73. (In Russ.)
 13. Lapich A.O., Medvedik M.Yu. A method for restoring the parameters of inhomogeneities of a body based on the results of measurements of an electromagnetic field. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2023;(4):142–153. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Олегович Лапич

ассистент кафедры математики
и суперкомпьютерного моделирования,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: lapich.a@yandex.ru

Andrey O. Lapich

Assistant of the sub-department
of mathematics
and supercomputer modeling,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The author declares no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 15.07.2024

Поступила после рецензирования/Revised 10.09.2024

Принята к публикации/Accepted 17.09.2024