ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1959 ГОДА

КШП ОМД

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 11 '25

КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО | ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ЭЛЕКТРОННОЕ ДОПОЛНЕНИЕ

УЧРЕДИТЕЛИ:
ОАО «АвтоВАЗ»; Московский государственный технологический университет «Станкин»;
ОАО «Тяжмехпресс»; ООО «КШП ОМД»

СОДЕРЖАНИЕ

ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Артамонов Е. В., Штин А. С., Костив Т. Е., Назарова В. Ю. О взаимосвязи температуры максимальной работоспособности режущего инструмента при лезвийной обработке с температурой спекания инструментальных твердых сплавов 53

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Юхневич С. С., Рязанцев А. Ю., Левченко Д. А. Изменение технологии формообразования полусферичеких заготовок с использованием свойств сверхпластичности титанового сплава..... 59

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

Попов В. А. Композиционные материалы с металлической матрицей и упрочняющими углеродными частицами в виде наноалмазов 65

ИСПЫТАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ

Батухтин А. Г., Батухтин С. Г., Кобылкин М. В., Батухтина И. Ю. Изучение возможности оптимизации конструкции устройства подготовки потока для плазменно-топливных систем 72

БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

Шакурский М. В., Козлов М. Е., Попов А. С., Махмудов Д. М., Борисов В. В. Метод обнаружения атак типа dos и подделки команд в робототехнических системах на основе анализа сетевого трафика в среде ROS 79

Масалева М. В., Балицкий П. С., Целуйко А. В., Кровяков И. В. Комплексная система управления безопасностью жизнедеятельности на промышленных предприятиях с применением цифровых двойников и предиктивной аналитики для предупреждения травматизма и аварийных ситуаций 84

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Куровский С. В., Мишин Д. А. Автоматизация технологических процессов при использовании трубопроводов в нефтяной отрасли..... 92

Спиридонов А. Ю. Разработка адаптивных сетей межмашинного взаимодействия на основе искусственного интеллекта для автономных транспортных средств..... 99

Косарев В. Е., Городецкая О. Ю., Гобарева Я. Л., Рычаго М. Е. Интеграция распределенных облачных вычислений и модульных информационных систем для повышения эффективности управления промышленным производством.....107

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАРКЕТИНГ

Фокина О. В., Кожина В. О., Рябиченко С. А., Сюзева О. В. Ключевые риски инвестиционной проектной деятельности в сфере металлургического производства ...115

Крупнов Ю. А., Свирин И. В. Индустрия 4.0 в нефтегазовом секторе: влияние инновационной активности хозяйствующего субъекта на стоимость бизнеса 122

Сафиуллин М. Р., Ельшин Л. А., Абдрахманова Д. Р., Гатин А. Д. Влияние критического импорта на устойчивость развития промышленного сектора экономики региона.....132

Сафиуллин М. Р., Ельшин Л. А., Абдрахманова Д. Р., Гатин А. Д. Сценарное моделирование промышленного развития региона в условиях трансформации поставок критического импорта 138

Кремер Н. Ш., Липагина Л. В., Гурьянова И. Э., Савина С. В., Турищева Т. Б. Инновационные цифровые технологии в управлении промышленными предприятиями: вызовы и перспективы 144

Главный редактор
А. Н. Абрамов

Зам. главного редактора:
В. А. Мальгинов

Редакционная коллегия:

Л. Б. Аксёнов,
И. С. Алиев (Украина),
Д. Банабик (Румыния),
Р. З. Валиев,
И. Ю. Ваславская,
А. Л. Воронцов,
Ф. В. Гречников,
Ж. Журко (Словакия),
А. И. Канарейкин,
А. П. Ковалёв,
А. В. Корнилова,
В. Д. Кухарь,
А. Ф. Лещинская,
И. Я. Мовшович (Украина),
Р. И. Непершин,
С. С. Одинг,
Н. П. Петров,
И. И. Просвирина,
Г. И. Рааб,
Е. Н. Сосёнушкин,
С. А. Стебунов,
А. И. Стешин,
В. А. Тюрин,
Ф. З. Утяшев,
В. Г. Шибаков,
В. Ю. Шолом

Редакция:

ООО «КШП ОМД»

Адрес редакции: 143987, Московская обл., г. Балашиха (мкр. Железнодорожный), ул. Советская, д. 42, кв. 41
E-mail: kshp-omd@mail.ru
www.kshp-omd.ru
Адрес для отправки корреспонденции: 143987, Московская обл., г. Балашиха (мкр. Железнодорожный), ул. Советская, д. 42, кв. 41 (для «КШП ОМД»)

Магомедов Р. М., Липагина Л. В., Рылов А. А., Фомичева Т. Л., Турищева Т. Б. Формирование цифровой организационной культуры в процессе трансформации промышленных предприятий 150
Дерзаева Г. Г., Ахмадиева Г. Г. Сукук как альтернативный способ привлечения инвестиций в промышленное производство 155
Моттаева Ан. Б. Smart Grid и цифровая энергетика: влияние на эффективность экономики регионов России 163
Кравченко Н. В. Рынок доставки «последней мили» в российской электронной коммерции: современное состояние и тенденции развития 172
Иксанов В. Р. Анализ ИАС прогнозирования промышленных показателей Российской Федерации 177
Махмудова М. М. Демография и оценка жизнеспособности малого бизнеса в Уральском федеральном округе 183
Ежова Л. А. Разработка модели цифровой зрелости предприятия на основе показателей бизнес-информатики 190
Морковкин Д. Е., Кожаринов А. В., Назарова Н. А., Сергеев С.А., Пятшева Е. Н., Ниязбекова Ш. Методологические основы формирования и развития рынков промышленной продукции в условиях трансформации глобальных цепочек добавленной стоимости 196
Ширинкина Е. В., Заведеев Е. В., Колосова О. Г., Семенов А. В., Ниязбекова Ш., Смагулова З. К., Пестова М. С., Рыжова И. О., Киевская С. Н., Варзин В. В., Шепелева Л. С., Бисенбаев Б., Тлеужанова М. А. Создание производственного кластера для развития сектора высокотехнологичных нефтесервисных услуг в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре 205
Манаширов Э. С. ИИУ как новый интегральный показатель инновационности: расширение традиционных моделей ВВП 213

ПЕРСОНАЛ И КАДРЫ

Полевая М. В., Камнева Е. В., Шуракова Н. Н. Черты личности молодых людей как фактор отношения к пенсионной реформе 222
Шайбакова Л. Ф., Ерохина К. С. Оптимизация подбора персонала в сфере производства меди 226
Зенкин М. А., Пронькин В. Н., Немирова Н. В. Отраслевые и корпоративные практики профориентации школьников: эффективные модели взаимодействия промышленности региона и образовательных организаций 232
Круглова Е. Л., Юшкова С. А. Комплексный подход к развитию человеческого капитала через механизмы долгосрочных инвестиций и социальной поддержки населения 241
Алибалаева Л. И., Савинова В. М. Моделирование сценариев трансформации трудового рынка Красноярского края под воздействием требований ESG-стандартов и сокращения углеродоемких секторов экономики 248
Мучкаева С. С., Мантусов А. Б., Сумьянова Е. В., Петрович Э. В., Гольдварг Т. Б. Интеграция фундаментальной математической подготовки и практикоориентированных модулей в допобразовании для формирования сквозных инженерных компетенций в высокотехнологичных отраслях 255

ЭКОЛОГИЯ

Куровский С. В., Мишин Д. А. Обеспечение экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе 264
Сергиенко Н. С. Программно-целевой подход в организации промышленной переработки ТКО: российский опыт и зарубежная практика 268

ОБЗОР

Сакульева Т. Н. Классификация и типология цепей поставок 281
Лю Юша Развитие инфраструктуры Среднего коридора и ее влияние на трансграничное сотрудничество Китая и Азербайджана в Евразии 284

РЕМОНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕНОВАЦИЯ

Моттаева Ас. Б. Модернизация инфраструктуры атомной энергетики России в контексте технологического суверенитета 290

ОБСУЖДЕНИЕ

Алханнаш А. Оценка преимуществ и рисков использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях с точки зрения преподавателей Дамасского университета 300
Морковкин Д. Е., Зубов Я. О., Архангельская Л. Ю., Белоусова Т. А., Брозгунова Н. П., Алексеева Г. И., Крапчина Л. Н. Методологический подход к разработке и внедрению систем поддержки принятия управленческих решений в промышленности на основе технологий искусственного интеллекта 304
Семенов А. В., Ниязбекова Ш. У., Шепелин Г. И., Варзин В. В., Анзорова С. П., Зборовский И. А., Нурбекова Ш. К., Бекбенбетова Б. Угольная отрасль: стратегическое обеспечение энергетической и сырьевой безопасности страны, технологические ограничения и региональные дисбалансы 310

PUBLISHED SINCE JANUARY 1959

КШП ОМД

№ 11 '25

SCIENTIFIC, TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

FORGING AND STAMPING PRODUCTION · MATERIAL WORKING BY PRESSURE

ISSUED MONTHLY

FOUNDERIES:
Public Company «AutoVAZ»; Moscow State Technological University «Stankin»;
Public Company «Tyazhmekhpress»; «KSHP OMD» Ltd

CONTENTS

TOOL AND TECHNOLOGICAL RIGGING

Artamonov E. V., Shtin A. S., Kostiv T. E., Nazarova V. Y. Investigation of the influence of sintering modes of hard alloys on tool serviceability during blade machining 53

TECHNOLOGY OF PROCESSING BY PRESSURE

Yukhnevich S. S., Ryazantsev A. Yu., Levchenko D. A. Changing the forming technology of hemispherical blanks using the superplastic properties of titanium alloy 59

NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS

Popov V. A. Composite materials with a metal matrix and reinforcing carbon particles in the form of nanodiamonds 65

TESTS, MEASUREMENTS, CONTROL

Batukhtin A. G., Batukhtin S. G., Kobylkin M. V., Batukhtina I. Y. Study of the possibility of optimizing the design of a flow preparation device for plasma fuel systems 72

SAFETY AND LABOR PROTECTION

Shakursky M. V., Kozlov M. E., Popov A. S., Makhmudov D. M., Borisov V. V. Method of dos-type attacks and command fraud detection in robotics systems based on network traffic analysis in the ROS environment 79

Masaleva M. V., Balitsky P. S., Tseluiko A. V., Krovyakov I. V. Comprehensive life safety management system at industrial enterprises using digital twins and predictive analytics to prevent injuries and emergency situations 84

PRODUCTION CONTROL AUTOMATION

Kurovsky S. V., Mishin D. A. Automation of processes for oil pipelines 92

Spiridonov A. Yu. Development of AI-based adaptive inter-vehicular communication networks for autonomous vehicles 99

Kosarev V. E., Gorodetskaya O. Yu., Gobareva Ya. L., Rychago M. E. Integration of distributed cloud computing and modular information systems to improve the efficiency of industrial production management 107

ECONOMY, MANAGEMENT, MARKETING

Fokina O. V., Kozhina V. O., Ryabichenko S. A., Suzeva O. V. Key risks of investment project activities in the metallurgical industry 115

Krupnov Yu. A., Svirin I. V. Industry 4.0 in the oil and gas sector: the impact of an economic entity's innovation activity on business value 122

Safiullin M. R., Elshin L. A., Abdrakhmanova D. R. Gatin A. D. The impact of critical imports on the sustainable development of the regional industrial sector 132

Safiullin M. R., Elshin L. A., Abdrakhmanova D. R. Gatin A. D. Scenario modeling of regional industrial development in the context of transformation of critical import supplies 138

Kremer N. Sh., Lipagina L. V., Guryanova I. E., Savina S. V., Turishcheva T. B. Innovative digital technologies in industrial enterprise management: challenges and prospects 144

Magomedov R. M., Lipagina L. V., Rylov A. A., Fomicheva T. L., Turishcheva T. B. Formation of a digital organizational culture in the process of transformation of industrial enterprises 150

Derzayeva G. G., Akhmadieva G. G. Sukuk as an alternative way to attract investment in industrial production 155

Mottaeva An. B. Smart Grid and digital energy: impact on the efficiency of the Russian regions' economies 163

Editor-in-chief
A. N. Abramov

Deputy editor-in-chief:
V. A. Malginov

Editorial board:

L. B. Aksenov,
I. S. Aliyev (Ukraine),
D. Banabic (Romania),
R. Z. Valiev,
I. Yu. Vaslavskaya,
A. L. Vorontsov,
F. V. Grechnikov,
J. Jurko (Slovak Republic),
A. I. Kanareykin,
A. P. Kovalev,
A. V. Kornilova,
V. D. Kukhar',
A. F. Leshchinskaya,
I. Ya. Movshovich (Ukraine),
R. I. Nepershin,
S. S. Oding,
N. P. Petrov,
I. I. Prosvirina,
G. I. Raab,
E. N. Sosenushkin,
S. A. Stebounov,
A. I. Steshin,
V. A. Tyurin,
F. Z. Utyashev,
V. G. Shibakov,
V. Yu. Sholom

Editorial staff:
«KSHP OMD» Ltd

Postal adress: 143987, Moscow region,
Balashikha (md. Zheleznodorozhny),
Sovetskaya st., 42, 41
E-mail: kshp-omd@mail.ru
www.kshp-omd.ru

Kravchenko N. V. The last mile delivery market in Russian e-commerce: actual status and development trends 172
Iksanov V. R. Analysis of an industrial automation system (IAS) for forecasting industrial performance in the Russian Federation 177
Makhmudova M. M. Demography and assessment of small business viability in the Ural federal district 183
Ezhova L. A. Developing a digital enterprise maturity model based on business informatics indicators 190
Morkovkin D. E., Kozharinov A. V., Nazarova N. A., Sergeev S. A., Pyatsheva E. N., Niyazbekova Sh. Methodological foundations of the formation and development of industrial product markets in the context of the transformation of global value chains 196
Shirinkina E. V., Zavedeev E. V., Kolosova O. G., Semenov A. V., Niyazbekova Sh., Smagulova Z. K., Pestova M. S., Ryzhova I. O., Kievskaya S. N., Varzin V. V., Shepeleva L. S., Bissenbayev B., Tleuzhanova M. A. Establishment of a production cluster for the development of the high-tech oilfield services sector in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra 205
Manashirov E. S. IIS as a new composite measure of innovativeness: extending traditional GDP models 213

PERSONNEL AND STAFF

Polevaya M. V., Kamneva E. V., Shurakova N. N. Personality traits of young people as a factor in attitudes toward pension reform 222
Shaybakova L. F., Erokhina K. S. Optimizing recruitment in copper production 226
Zenkin M. A., Pronkin V. N., Nemirova N. V. Industry and corporate practices for career guidance for schoolchildren: effective models of interaction between regional industry and educational institutions 232
Kruglova E. L., Yushkova S. A. Comprehensive approach to human capital development through mechanisms of long-term investment and social support for the population 241
Alibalaeva L. I., Savinova V. M. Scenario modeling of the transformation of the labor market in Krasnoyarsk Krai under the influence of ESG standard requirements and the downsizing of carbon-intensive sectors of the economy 248
Muchkaeva S. S., Mantusov A. B., Sumyanova E. V., Petrovich E. V., Goldvarg T. B. Integration of fundamental mathematical training and practice-oriented modules in continuing education to develop cross-cutting engineering competencies in high-technology industries 255

ECOLOGY

Kurovsky S. V., Mishin D. A. Ensuring environmental safety in the construction of pipeline systems in the oil and gas sector 264
Sergienko N. S. Program-oriented approach in the organization of industrial MSW processing: Russian experience and foreign practice 268

REVIEW

Sakulyeva T. N. Classification and typology of supply chains 281
Liu Yousha Development of the middle corridor infrastructure and its impact on cross-border cooperation between China and Azerbaijan in Eurasia 284

REPAIR, MODERNIZATION, RENOVATION

Mottaeva As. B. Modernization of the Russian nuclear energy infrastructure in the context of technological sovereignty 290

DISCUSSION

Alkhannash A. Assessing the benefits and risks of using Artificial Intelligence applications in scientific research from the perspective of faculty at Damascus university 300
Morkovkin D. E., Zubov Ya. O., Arkhangelskaya L. Yu., Belousova T. A., Brozgunova N. P., Alekseeva G. I., Krapchina L. N. Methodological approach to the development and implementation of management decision support systems in industry based on artificial intelligence technologies 304
Semenov A. V., Niyazbekova Sh. U., Shepelin G. I., Varzin V. V., Anzorova S. P., Zborovsky I. A., Nurbekova Sh. K., Bekbenbetova B. Coal industry: strategic support for the country's energy and raw materials security, technological restrictions, and regional disbalances 310

ИНСТРУМЕНТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

УДК 621.941.01

Е. В. АРТАМОНОВ, д-р техн. наук; А. С. ШТИН, Т. Е. КОСТИВ кандидаты техн. наук; В. Ю. НАЗАРОВА, аспирант (Тюменский индустриальный университет, Тюмень)
E-mail: nazarovavj@tyuiu.ru
E. V. Artamonov, A. S. Shtin, T. E. Kostiv, V. Y. Nazarova (Industrial University of Tyumen, Tyumen)

О взаимосвязи температуры максимальной работоспособности режущего инструмента при лезвийной обработке с температурой спекания инструментальных твердых сплавов

Investigation of the influence of sintering modes of hard alloys on tool serviceability during blade machining

В рамках данного исследования выдвинута научное предположение, что температура максимальной работоспособности инструментально твердого сплава (ИТС) зависит от температуры спекания. Доказательство научного предположения позволяет оптимизировать режимы обработки и расширить понимание термического поведения твердых сплавов, что имеет существенное значение для повышения эффективности резания и долговечности инструментов. Исследуются взаимосвязи температуры максимальной работоспособности сборного инструмента с СРТП при лезвийной обработке металлов резанием с температурой спекания ИТС. Установлена взаимосвязь температуры максимальной работоспособности режущих лезвий инструментов и температуры спекания инструментальных твердых сплавов. Проведенные исследования показывают, что температура максимальной работоспособности сплавов группы ВК может определяться по температуре их спекания.

Within the framework of this research, a hypothesis has been put forward (scientific assumption) that the temperature of maximum workability of an alloy is approximately equal to half of its sintering temperature. Verification of this hypothesis will make it possible to optimise machining modes and expand the understanding of the thermal behaviour of alloys, which is essential for improving cutting efficiency and tool life. The aim of the work is to investigate the thermal behaviour of alloys, the influence of sintering temperature on the performance of the alloy in blade machining. The relationship between the influence of the sintering temperature of tool hard alloys and the temperature of maximum workability of the alloy at blade machining has been established. The conducted research has shown that the temperature of maximum workability of the alloy is reliably equal to half of its sintering temperature.

Ключевые слова: резание металлов; работоспособность режущих инструментов; инструментальные твердые сплавы; физико-механические характеристики ИТС режущих лезвий инструментов инструментов.

Keywords: cutting of materials; turning; physical and technical characteristics of materials; hard alloys; mechanical characteristics of cutting process.

Современные технологии обработки металлов резанием требуют точного контроля физико-механических параметров процесса резания металлов и режущего инструмента для обеспечения высокой производительности и качества обработки. Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность обработки, является температура максимальной работоспособности инструментально твердого сплава (ИТС) – температура, при которой инструментальный материал сохраняет высокие эксплуатационные характеристики при обработке резанием металлов [1–3].

Температура спекания, как параметр, определяющий термическую стабильность и структурные изменения сплава, традиционно рассматривается как ориентир для выбора технологических режимов изготовления ИТС. Однако взаимосвязь между темпе-

ратурой максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин (СРТП) из ИТС и температурой спекания до настоящего времени не рассмотрена.

В рамках данного исследования выдвинуто научное предположение, что температура максимальной работоспособности режущих пластин из ИТС зависит от температуры спекания этих сплавов. Доказательство научного предположения позволит оптимизировать режимы обработки и расширить понимание термического поведения твердых сплавов, что имеет существенное значение для повышения эффективности резания и ресурса инструментов.

Цель данной работы – исследование взаимосвязи температуры максимальной работоспособности сборного инструмента с СРТП при лезвийной обработке металлов резанием с температурой спекания ИТС.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Провести литературный и патентный обзор существующих методик определения температуры максимальной работоспособности режущих инструментов.

2. Исследовать процессы, протекающие при спекании твердых сплавов и взаимосвязь изменений физических и механических свойств сплавов.

3. Доказать выдвинутое научное предположение.

4. Разработать методику определения температуры максимальной работоспособности режущих лезвийных инструментов из ИТС при обработке металлов резанием.

Для решения первой задачи выполняется литературно-патентный анализ, направленный на сбор и систематизацию данных о температурных режимах спекания и рабочих термостойкостях ИТС группы ВК.

На сегодняшний день работоспособность режущего инструмента изучена с различных позиций, в т. ч. прочности и стойкости. Однако область изучения влияния физико-механических свойств инструментального материала на работоспособность изучено недостаточно полно. Значительный вклад в развитие науки о резания металлов и режущем инструменте вносят авторы работ [4–26].

Результаты исследований в этой области имеют ключевое значение для авиационного и энергетического машиностроения, где снижение себестоимости изготовления деталей при сохранении их надежности остается одной из важнейших задач (см. рис. 1).

Материалы и методы исследования

Температура спекания сплавов группы ВК варьируется от 1350 до 1450 °С в зависимости от марки, содержания кобальта и дисперсности порошков. Более высокое содержание кобальта снижает температуру спекания, но уменьшает твердость и повышает вязкость. Режимы производственного спекания твердых сплавов приведены в табл. 1 [27].

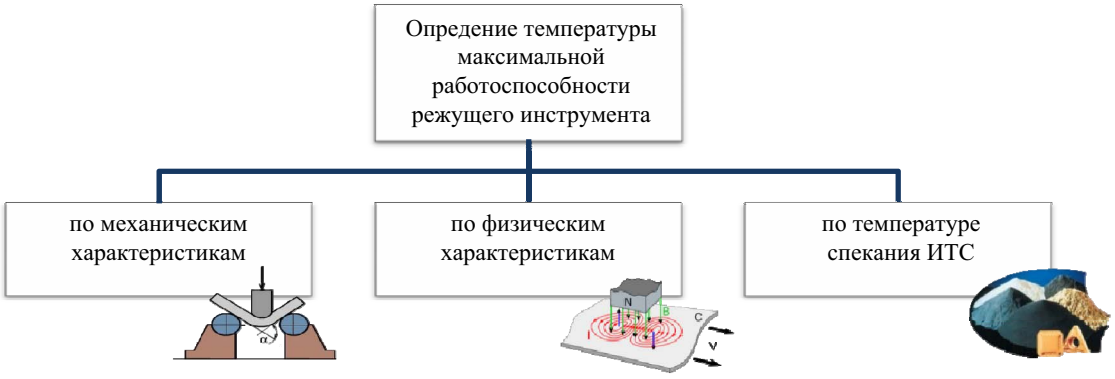


Рис. 1. Методы определения температуры максимальной работоспособности ИТС

Таблица 1

Режимы производственного спекания твердых сплавов

Состав сплава, %	Марка сплава	Температура спекания, °С	Продолжительность спекания (мин) при толщине пластинок, мм	
			2	15
94 WC, 6 Co	ВК6	1420	20	100
92 WC, 8 Co	ВК8	1410	20	100
90 WC, 10 Co	ВК10	1400	20	100
85 WC, 15 Co	ВК15	1380	17	60

В работе [28] автор обосновывает влияние процентного содержания в сплаве Co на температуры спекания сплавов группы ВК. В источнике [29] акцентируется внимание на то, что процесс спекания сплавов WC–Co происходит в присутствии жидкой фазы Co.

Патентные разработки последних лет фокусируются на модификации состава, структуры и технологии спекания сплавов WC–Co с целью повышения плотности, термостойкости и износостойкости.

Известен способ получения спеченных изделий из твердого сплава с использованием сверхмелкого сферического порошка связующей фазы при температуре спекания 1375–1550 °C. Авторы заявляют о достижении более плотной структуры с улучшением механических характеристик за счет тонкодисперсной структуры связки [30].

Авторы предлагают способ получения спеченного твердого сплава на основе WC с добавлением алюминиевой нанопорошковой добавки. Спекание проводится в два этапа: на первом при температуре 550 °C, окончательное спекание при температуре – 1370 °C [31].

Зарубежные исследователи предлагают использование горячего изостатического прессования (*HIP*) при температуре 1400–1500 °C и давлении до 3000 бар с выдержкой до 200 мин., что обеспечивает высокую плотность и механическую стабильность материала [32]. Таким образом, температурный диапазон спекания в патентных источниках практически совпадает с данными литературного анализа: 1370–1550 °C для группы сплавов WC–Co.

На основании обобщения литературных и патентных данных можно утверждать, что вне зависимости от способа получения твердосплавного материала (традиционное вакуумное спекание, *SPS*, *HIP*), температурный диапазон спекания сплавов ВК стабильно лежит в пределах 1370–1550 °C.

Таким образом, литературные и патентные источники подтверждают наличие устойчивой зависимости между температурой максимальной работоспособности сменных режущих пластин из твердых сплавов группы ВК и температурой спекания. Это позволяет использовать данное соотношение как инженерный ориентир при прогнозировании поведения новых марок сплавов в условиях механической обработки.

Результаты исследования и их обсуждение

Для режущих лезвий из сплавов группы ВК (вольфрам-кобальтовые сплавы) оптимальная температура резания, согласно исследованиям [13, 15], находится примерно в диапазоне 700–900 °C. При достижении этой температуры происходит максимальное снижение микротвердости и повышение пластичности ИТС, что способствует повышению работоспособности режущего инструмента. Однако превышение этого температурного диапазона приводит к ускоренному износу или потере формоустойчивости режущего клина инструмента [14].

Для исследования физических свойств ИТС на ранее разработанной установке проводятся исследования на пластинах из ВК8 92%WC+8%CO в состоянии поставки [33]. По результатам исследований для более удобного и наглядного выявления температурного интервала максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин строится графическая зависимость изменения магнитного поля вихревых токов, наводимых в твердых сплавах от температуры нагрева. В рассматриваемых зависимостях выделяются 3 ключевых участка. На первом участке наблюдается рост значений ЭДС катушки. Это указывает на изменение магнитного поля вихревых токов в ИТС, практически пропорционально увеличению температуры. Второй участок характеризуется максимальными значениями ЭДС и точкой перегиба, которая соответствует фазовому переходу – полиморфному превращению кобальтовой связки ИТС. На третьем происходит снижение ЭДС катушки до точки Кюри, где имеет место скачкообразное изменение свойств симметрии, характеризующуюся утратой магнитных свойств.

По полученным данным строится графическая зависимость ЭДС катушки автоколебательного контура, изменяемой под действием температур, характерных для процесса резания (см. рис. 2).

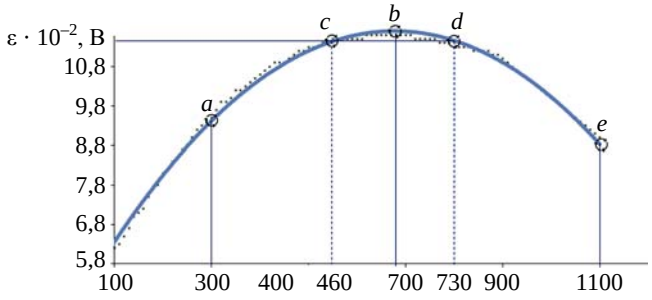


Рис. 2. График зависимости ЭДС катушки автоколебательного контура с помещенной во внутрь сменной режущей пластиной из ВК8 (460–730 °C) от температуры

В результате проведенных исследований установлена зависимость между температурой максимальной работоспособности ($\theta_{м.раб}$) твердых сплавов группы ВК и температурой их спекания ($\theta_{спек}$), приближенно выражаемая соотношением:

$$\theta_{м.раб} \approx 0{,}5\theta_{спек}.$$

Таблица 2

Экспериментальные и теоретические значения температур максимальной работоспособности режущих ИТС группы ВК

Табличные значения температуры спекания ИТС]		$\theta_{м.раб}$ по формуле, °С	Экспериментальные значения температуры максимальной работоспособности ИТС			
Марка сплава	Температура спекания, °С		По ударной вязкости *KCV*, кДж/м, θ °С	По логарифму Твердости *lgHV*, МПа, θ °С	По изменению электрической проводимости ($G(10^{-2}\ C_м)$) [2], θ °С	По изменению электромагнитного поля вихревых токов ($\varepsilon \cdot 10^{-2}$, В) θ °С
94% WC+ 6% Co (ВК6)	1420	710	850	760	710	790
92%WC+8%Co (ВК8)	1410	705	750	740	730	730
90%WC+10%Co(ВК 10)	1400	700	700	700	700	690
85%WC+15%Co (ВК15)	1380	690	650	720	690	Х

Данная зависимость подтверждается как отечественными, так и зарубежными литературными источниками, а также патентной документацией последних десяти лет. Среднее значение отношения $\theta_{м.раб}/\theta_{спек}$ около 0,49 свидетельствует о подтверждении прогнозирования температурной устойчивости инструментальных твердых сплавов.

В табл. 2 приведены температуры спекания твердых сплавов [27, 34], экспериментальные значения $\theta_{м.раб}$ ИТС группы ВК и результаты расчета $\theta_{м.раб}$ по формуле.

Сравнительный анализ приведенных результатов исследований по определению $\theta_{м.раб}$ расчетным методом по формуле 1 и эксперементальным показал, что процент расхождения равен менее 10 %, что является допустимым для инженерных расчетов. Это свидетельствует о том, что между температурой максимальной работоспособности сменных режущих пластин из ИТС и температурой спекания твердых сплавов существует аналитическая зависимость.

Таким образом, физические, технологические параметры и структурные изменения при изготовлении СРТП из вольфрамо-кобальтовых сплавов (WC–Co) определяют технологические возможности инструментов при эксплуатации.

При необходимости уточнения температуры максимальной работоспособности ИТС возможно проведение кратковременных малозатратных экспериментальных методов исследования с небольшим количеством экспериментальных точек.

Выводы. 1. Доказано, научное предположение о взаимосвязи температуры максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин сборных инструментов из твердых сплавов группы ВК с температурой их спекания.

2. Установлена аналитическая зависимость между температурой максимальной работоспособности ИТС и температурой спекания.

3. Разработана методика определения температуры максимальной работоспособности режущих лезвий инструментов при обработке металлов резанием по температуре спекания сменных пластин из твердых сплавов.

Список литературы

1. *Пат.* № 2173611 С2 РФ, МПК В23В 1/00. Способ определения оптимальной скорости резания твердосплавными инструментами // Е. В. Артамонов, В. Н. Кусков, Т. Е. Помигалова, В. М. Костив.

2. *Артамонов Е. В., Василега Д. С., Тверяков А. М.* Определение температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин на основе электрической проводимости // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 9. С. 36–39.

3. *Артамонов Е. В., Василега Д. С., Тверяков А. М., Штин А. С.* Повышение работоспособности токарных резцов со сменными режущими пластинами из твердых сплавов при обработке деталей газотурбинных двигателей из жаропрочных материалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 3. С. 544–552.

4. *Бобров В. Ф.* Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение. 1975. 344 с.

5. *Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С.* Резание материалов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. 2001. 448 с.

6. *Верещака А. С., Кушнер В. С.* Резание материалов. М.: Высш. шк. 2009. 534 с.

7. *Грановский Г. И., Грановский В. Г.* Резание металлов. М.: Высшая школа. 1985. 304 с.

8. *Гречишников В. А., Чемборисов Н. А., Ступко В. Б.* и др. Процессы формообразования и инструментальная техника: уч. пособ. Старый Оскол: ТНТ. 2012. 328 с.

9. *Григорьев С. Н., Терешин М. В.* Повышение использования ресурса инструмента путем управления процессом резания по максимальной температуре // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 4. С. 3–6.

10. *Древаль А. Е., Малькова Л. Д.* Совместное влияние параметров механической обработки на величину составляющих силы резания // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2007. № 8. С. 53–60.

11. *Зорев Н. Н.* Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз. 1956. 368 с.

12. *Кабалдин Ю. Г.* Трение и износ инструмента при резании // Вестник машиностроения. 1995. № 1. С. 26–31.

13. *Креймер Г. С.* Прочность твердых сплавов. М.: Металлургия. 1971. 247 с.

14. *Лоладзе Т. Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение. 1982. 320 с.

15. *Макаров А. Д.* Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение. 1976. 278 с.

16. *Полетика М. Ф.* Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение. 1969. 148 с.

17. *Силин С. С.* Метод подобия при резании металлов. М.: Машиностроение. 1979. 152 с.

18. *Carceanu I., Cosmeleată G., Ghiban B.* High performance composite materials created through advanced techniques // Materiale Plastice. 2007. Vol. 44. Pp. 321–325.

19. *Ferri C., Minton T., Ghani S. B.* et al. Internally cooled tools and cutting temperature in contamination-free machining // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2014. Vol. 228. Pp. 135–145.

20. *Kümmel J., Braun D., Gibmeier J.* et al. Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilization // Journal of Materials Processing Technology. 2015. Vol. 215. Pp. 62–70.

21. *Munish K. G., Pardeep K. S., Gurraj S.* et al. Machining of Aerospace Material – Ti (grade-2) alloy: Modelling and Optimization // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 33. Pp. 133–138.

22. *Murthy K. S., Rajendran I.* Optimization of end milling parameters under minimum quantity lubrication using principal component analysis and grey relational analysis // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2012. Vol. 34. Pp. 253–261.

23. *Neugebauer R., Hochmuth C., Schmidt G., Dix M.* Energy efficient process planning based on numerical simulations // 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. 2011. Vol. 223. Pp. 212–221.

24. *Nurulamin A., Jaafar I., Zubaire W.* Role of discrete nature of chip formation and natural vibrations of system components in chatter formation during metal cutting // IIUM Engineering Journal. 2010. № 11. Pp. 124–126.

25. *Patwari A., Amin N., Faris W.* Investigations of formation of chatter in a non-wavy surface during thread cutting and turning operations // Advanced Materials Research. 2010. № 83. Pp. 637–645.

26. *Tillmann W., Schaak C., Biermann D.* et al. Robot based deposition of WC-Co HVOF coatings on HSS cutting tools as a substitution for solid cemented carbide cutting tools // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 181. Pp. 127–135.

27. *Кифер Р., Бенезовский Ф.* Твердые сплавы. М.: Металлургия. 1971. 392 с.

28. *Богодухов С. И., Козик Е. С., Свиденко Е. В.* Порошковые материалы со специальными свойствами: уч. пособ. Оренбург: ОГУ. 2017.

29. *Шарапова В. А.* Композиционные материалы специального назначения: уч. пособ. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2020. 147 с.

30. *Пат.* № RU2631548 C1 РФ, МПК B22F3/10. Способ получения изделий из твердого сплава на основе карбида вольфрама // П. С. Бешенков, Р. Ю. Куфтырев.

31. *Пат.* № 2679026 C1 РФ, МПК C22C 29/08, C22C 1/05, B22F 3/12, B82Y 30/00. Способ получения спеченого твердого сплава // Ю. И. Гордеев, В. Б. Ясинский, А. С. Бинчуров

32. *Pat.* no. 6617271 B1 USA. Sintered tungsten carbide material and cutting tool using same // A. Kuwabara et al.

33. *Артамонов Е. В., Тверяков А. М., Штин А. С.* Установка для диагностики температуры максимальной работоспособности сменных режущих пластин на основе изменения электромагнитных свойств твердых сплавов // Контроль. Диагностика. 2018. № 12. С. 54–57.

34. *Пат.* № 2215615 C2 РФ, МПК B23B 1/00. Способ определения оптимальной скорости резания твердосплавными инструментами // Е. В. Артамонов, В. Н. Кусков, Т. Е. Помигалова, В. М. Костив.

References

1. Artamonov E. V., Kuskov V. N., Pomigalova T. E., Kostiv V. M. *Sposob opredelenija optimal'noj skorosti rezanija tverdosplavnymi instrumentami* [Method for Determining Optimum Cutting Speed with Carbide Tools]. Patent RF no. 2173611 C2.

2. Artamonov E. V., Vasilega D. S., Tveryakov A. M. Determining the maximum performance temperature of carbide cutting inserts based on electrical conductivity. *Factory Laboratory. Diagnostics of Materials*, 2014, vol. 80, no. 9, pp. 36–39.

3. Artamonov E. V., Vasilega D. S., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Improving the performance of turning cutters with replaceable cutting inserts made of carbide in machining gas turbine engine parts made of heat-resistant materials. *News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2019, no. 3, pp. 544–552.

4. Bobrov V. F. *Osnovy teorii rezanija metallov* [Fundamentals of the theory of metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie, 1975, 344 p.

5. Vasin S. A., Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezanie materialov. Termomehanicheskij podhod k sisteme vzaimosvjazej pri rezanii* [Cutting of materials. thermomechanical approach to the system of interrelations during cutting]. Moscow: Publishing House of BMSTU, 2001, 448 p.

6. Vereshchaka A. S., Kushner V. S. *Rezanie materialov* [Cutting of materials]. Moscow, Higher School, 2009, 534 p.

7. Granovsky G. I., Granovsky V. G. *Rezanie metallov* [Metal cutting]. Moscow, Higher School, 1985, 304 p.

8. Grechishnikov V. A., Chemborisov N. A., Stupko V. B. et al. *Processy formoobrazovanija i instrumental'naja tehnika* [Shaping processes and tool technology: tutorial]. Stary Oskol, TNT, 2012, 328 p.

9. Grigoriev S. N., Tereshin M. V. The capacity application improvement by cutting process operational control through

maximum temperature. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, no. 4, pp. 3–6.

10. Dreval A. E., Malkova L. D. Combined Influence of Mechanical Processing Parameters on the Value of Cutting Force Components. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2007, no. 8, pp. 53–60.

11. Zorev N. N. *Voprosy mehaniki processa rezanija metallov* [Mechanics of metal cutting]. Moscow, Mashgiz, 1956, 368 p.

12. Kabal'din Yu. G. Friction and Tool Wear during Cutting. *Vestnik mashinostroenija*, 1995, no. 1, pp. 26–31.

13. Kreymer G. S. *Prochnost' tverdyh splavov* [Strength of hard alloys]. Moscow, Metallurgiya, 1971, 247 p.

14. Loladze T. N. *Prochnost' i iznosostojkost' rezhushhego instrumenta* [Strength and Wear Resistance of Cutting Tools]. Moscow, Mashinostroenie, 1982, 320 p.

15. Makarov A. D. *Optimizacija processov rezanija* [Optimization of cutting processes]. Moscow, Mashinostroenie, 1976, 278 p.

16. Poletika M. F. *Kontaktnye nagruzki na rezhushhih poverhnostjah instrumenta* [Contact loads on cutting tool surfaces]. Moscow, Mashinostroenie, 1969, 148 p.

17. Silin S. S. *Metod podobija pri rezanii metallov* [Similarity method in metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie, 1979, 152 p.

18. Carceanu I., Cosmeleată G., Ghiban B. High performance composite materials created through advanced techniques. *Materiale Plastice*, 2007, vol. 44, pp. 321–325.

19. Ferri C., Minton T., Ghani S. B. et al. Internally cooled tools and cutting temperature in contamination-free machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2014, vol. 228, pp. 135–145.

20. Kümmel J., Braun D., Gibmeier J. et al. Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilization. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, vol. 215, pp. 62–70.

21. Munish K. G., Pardeep K. S., Gurraj S. et al. Machining of Aerospace Material – Ti (grade-2) alloy: Modelling and Optimization. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 33, pp. 133–138.

22. Murthy K. S., Rajendran I. Optimization of end milling parameters under minimum quantity lubrication using principal component analysis and grey relational analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2012, vol. 34, pp. 253–261.

23. Neugebauer R., Hochmuth C., Schmidt G., Dix M. Energy efficient process planning based on numerical simulations. *17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations*, 2011, vol. 223, pp. 212–221.

24. Nurulamin A., Jaafar I., Zubaire W. Role of discrete nature of chip formation and natural vibrations of system components in chatter formation during metal cutting. *IIUM Engineering Journal*, 2010, no. 11, pp. 124–126.

25. Patwari A., Amin N., Faris W. Investigations of formation of chatter in a non-wavy surface during thread cutting and turning operations. *Advanced Materials Research*, 2010, no. 83, pp. 637–645.

26. Tillmann W., Schaak C., Biermann D. et al. Robot based deposition of WC-Co HVOF coatings on HSS cutting tools as a substitution for solid cemented carbide cutting tools. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 181, pp. 127–135.

27. Kieffer R., Benezovsky F. *Hard alloys*. Moscow, Metallurgiya, 1971, 392 p.

28. Bogodukhov S. I., Kozik E. S., Svidenko E. V. *Poroshkovye materialy so special'nymi svojstvami* [Powder materials with special properties: tutorial]. Orenburg, OSU, 2017.

29. Sharapova V. A. *Kompozicionnye materialy special'nogo naznachenija* [Special-purpose composite materials: tutorial]. Yekaterinburg, Ural University Publishing House, 2020, 147 p.

30. Beshenkov P. S., Kuftirev R. Yu. *Sposob poluchenija izdelij iz tverdogo splava na osnove karbida vol'frama* [Method for producing products from tungsten carbide-based hard alloy] Patent RF no. RU2631548 C1.

31. Gordeev Yu. I., Yasinsky V. B., Binchurov A. S. *Sposob poluchenija spechenogo tverdogo splava* [Method for producing sintered hard alloy]. Patent no. 2679026 C1 RF.

32. Kuwabara A. et al. *Sintered tungsten carbide material and cutting tool using the same*. Patent USA no. 6617271 B1.

33. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Installation for diagnosing the maximum performance temperature of replaceable cutting inserts based on changing the electromagnetic properties of hard alloys. *Control. Diagnostics*, 2018, no. 12. pp. 54–57.

34. Artamonov E. V., Kuskov V. N., Pomigalova T. E., Kostiv V. M. [Method for determining the optimal cutting speed with carbide tools]. Patent RF no. 2215615 C2.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.98.043

С. С. ЮХНЕВИЧ, А. Ю. РЯЗАНЦЕВ, кандидаты техн. наук; Д. А. ЛЕВЧЕНКО (АО «КБХА»; Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж)
E-mail: dima160201lev@mail.ru
S. S. Yukhnevich, A. Yu. Ryazantsev, D. A. Levchenko (JSC KBKhA; Voronezh State Technical University, Voronezh)

Изменение технологии формообразования полусферичеких заготовок с использованием свойств сверхпластичности титанового сплава

Changing the forming technology of hemispherical blanks using the superplastic properties of titanium alloy

Выполняется анализ существующих методов получения полусферических заготовок. Показан один из наиболее перспективных способов формообразования полусфер из титановых сплавов для емкостей высокого давления изделий ракетно-космической техники. Представлены преимущества и недостатки представленных технологий изготовления полусфер. Рассматриваются области применения и перспективы использования современных методов производства полусферических заготовок из титановых сплавов.

This article analyzes existing methods for producing hemispherical blanks. One of the most promising methods for forming hemispherical blanks from titanium alloys for high-pressure vessels in rocket and space technology is demonstrated. The advantages and disadvantages of the presented hemisphere manufacturing technologies are presented. The application areas and prospects for using modern methods for producing hemispherical blanks from titanium alloys are discussed.

Ключевые слова: штамповка; емкость; полусфера; сверхпластичность; сверхпластическое формование; формообразование; титановый сплав.

Keywords: stamping; container; hemisphere; superplasticity; superplastic forming; forming; titanium alloy.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00085, https://rscf.ru/project/25-29-00085/.

В настоящее время в составе отечественных ракетоносителей используются емкости (баллоны и ресиверы) объемом от 1 до 130 литров, работающие под различным давлением (см. рис. 1). Баллоны и ресиверы в зависимости от назначения изготавливаются из различных материалов: нержавеющих сталей, алюминиевых и титановых сплавов. Возможно применение метало-композиционных конструкций, но их использование ограничено условиями эксплуатации.

Наиболее перспективны ракетоносители с емкостями из титановых сплавов, работающие в среде жидкого кислорода и выполняющих специальные

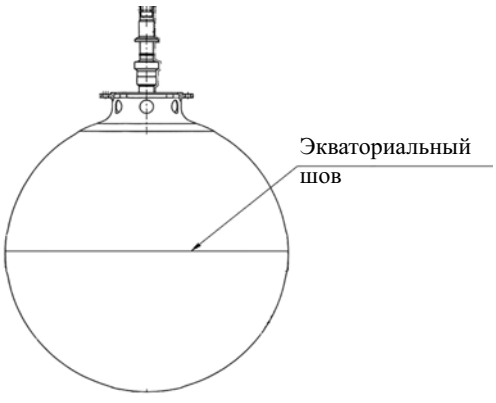


Рис. 1. Эскиз шаробаллона

функции: хранение сжатого газообразного гелия для раскрутки турбины турбонасосного агрегата, при этом гелий замещает израсходованный объем топлива, а также участвует в работе пневмосистемы и т. д. В связи с чем, к конструкции емкостей предъявляются повышенные требования по прочности и надежности.

Основной деталью емкостей высокого давления является полусфера, при изготовлении которой должны обеспечиваться специальные характеристики. На предприятиях ракетно-космической промышленности используются следующие способы получения заготовок полусфер из титановых сплавов:

1. Полугорячая листовая штамповка – это процесс получения из листового материала (листов, полос, лент) изделий, имеющих плоскую или пространственную форму без существенного изменения толщины металла. При этом способе заготовка приобретает пластичность за счет нагрева до температуры штамповки, а горячий полуфабрикат одновременно оказывается под давлением, что вызывает его преобразование. Способ получения заготовки состоит не менее чем из 2 переходов штамповки с предварительными нагревами, промежуточной термообработкой и сменой штамповой оснастки (см. рис. 2, *а*).

2. Горячая объемная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при которой формообразование поковки из нагретой до штамповки температуры заготовки осуществляется с помощью специального инструмента – штампа. Метод позволяет изменять форму и размеры металлической заготовки благодаря комбинации температуры и силы удара или давления, что обеспечивает высокую точность и хорошие механические свойства. Процесс горячей объемной штамповки включает два этапа. Нагрев заготовки до температуры, необходимой для деформации, но не приводящей к плавлению металла. Затем, заготовка помещается в штамп, где под действием пресса она приобретает необходимую форму. Способ получения заготовки (см. рис. 2, *б*) состоит не менее чем из 3 переходов штамповки с предварительными нагревами и сменой штамповой оснастки.

3. Изотермическая объемная штамповка – это метод обработки металлов под давлением, при котором основным принципом является сохранение стабильной температуры материала в процессе деформации. Перед началом процесса формообразования материал подогревается до 700–900 °С, в ходе штамповки используется активное охлаждение инструмента и материала. Температура во время всего процесса поддерживается с точностью в пределах +/–10 °С. Способ получения заготовки (см. рис. 2, *в*) состоит не менее чем из 2 переходов штамповки с предварительными нагревами и сменой штамповой оснастки.

В настоящее время в АО КБХА производятся титановые полусферы методом горячей глубокой вытяжки (см. рис. 3), с использованием специализированной оснастки для штамповки [1]. В конструкции штампов используется схема формообразования с конусным прижимом [2]. В случае применения конусного прижима уменьшается угол охвата заготовкой радиуса закругления кромки матрицы, что приводит к снижению растягивающих напряжений. При этом уменьшается усилия вытяжки сферы, следовательно, уменьшается величина утонения центральной зоны полусферы. Для уменьшения величины утонения, штамповка осуществляется холодным пуансоном и нагретой матрицей. В процессе формообразования происходит обтяжка нагретой заготовки по холодному пуансону [3–5].

В результате применения данного способа в АО КБХА удалось получить уменьшение толщины при вытяжке титановых сфер с максимальным утонением 8 % [6–8].

Несмотря на то, что серийно изготавливаемые шаробаллоны из титановых сплавов (ВТ6С, ВТ14) обеспечивают работоспособность ракетоносителей и имеют преимущества в части небольшого веса по сравнению со стальными шаробаллонами, особенности труднообрабатываемого материала делают

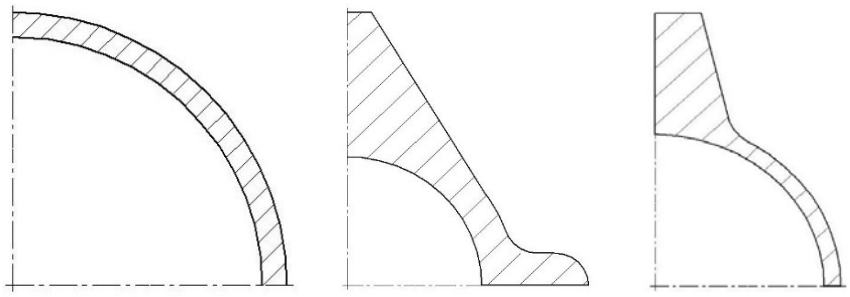


Рис. 2. Общие виды заготовок полусферы, полученных способами полугорячей листовой штамповки (*а*), горячей объемной штамповки (*б*) и изотермической объемной штамповки (*в*)

изделие нетехнологичным. Поэтому актуальной проблемой в машиностроении является повышение технологичности деталей, коэффициента использования материала, прочности конструкции за счет снижения количества сварных швов и т. д. Работа конструкторского-технологических служб предприятий должна быть направлена на постоянный поиск новых способов получения заготовок полусфер титановых шаробаллонов [9].

Так, одним из наиболее перспективных рассматриваемых способов изготовления полусфер является технология сверхпластичного формования (*Superplastic Forming* или *SPF*). Это технология изготовления деталей из сверхпластичных материалов, при этом процесс формообразования происходит с использованием нагрева металлов, характеризующийся низкими значениями коэффициента удлинения (менее 20 %). При нагреве заготовка переходит в сверхпластичное состояние и позволяет при усилиях меньше значений модуля предела прочности материала добиться ее удлинения более, чем в два раза. В состоянии сверхпластичности к материалам применимы такие технологии как термическая, пневматическая и вакуумная формовки [10].

Эффект сверхпластичности наблюдается в условиях деформации заготовки при повышенных температурах и низких скоростях процесса формообразования при этом материал имеет особое структурное состояние. Структурное состояние материала детали характеризуется сочетанием ряда параметров: размер зерна, структура границ зерен, фазовый состав сплава, механическая и кристаллографическая текстура фаз. Большое значение для проявления эффекта сверхпластичности имеет формирование в материале мелкодисперсной равноосной структуры с целью получения межзеренных поверхностей раздела большой протяженности. За счет этого обеспечивается равномерное по объему межзеренное проскальзывание, вносящее значительный вклад в пластическую деформацию.

Рассмотренный метод заключается в формообразовании нагретой до температуры 900 °С листовой заготовки в полусферу под воздействием давления инертного газа, например, аргона (см. рис. 4).

Эффект сверхпластичности достигается за счет мелкодисперсной равновесной структуры материала с большими межзеренными поверхностями, обеспечивающими равномерную вытяжку заготовки. Основным методом получения деталей подобного типа является выдувка листа-заготовки под давлением инертного газа (аргона) подаваемого в полость матрицы, при этом заготовка зафиксирована по периферии.

Как известно, главной проблемой для получения равностенной детали типа «полусфера» является уменьшение утонения в центре заготовки. С этой целью осуществляется формовка с выворачиванием, называемая реверсивной, что позволяет перераспределять деформацию по ее контуру (см. рис. 5).

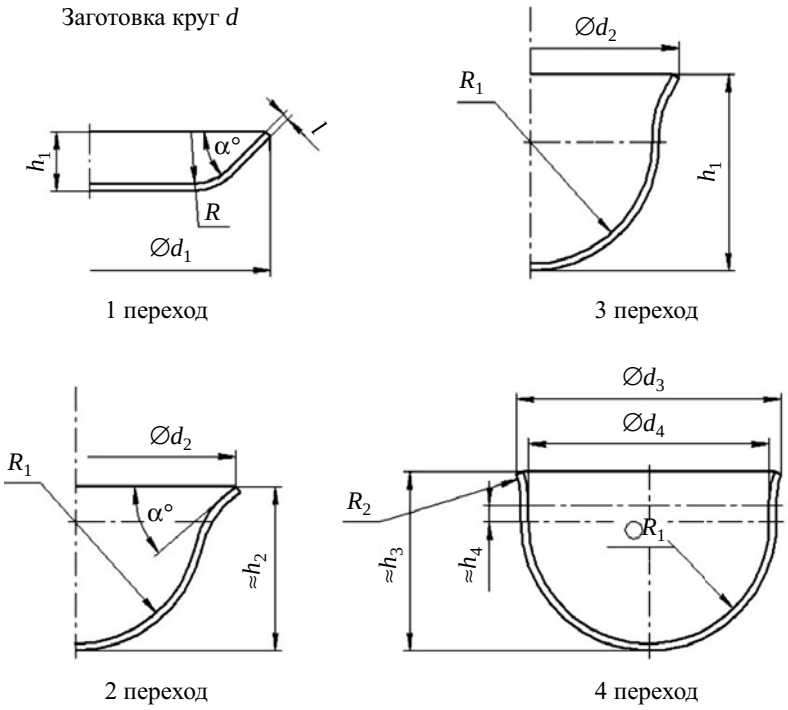


Рис. 3. Схема формообразования полусфер, применяемая в АО КБХА

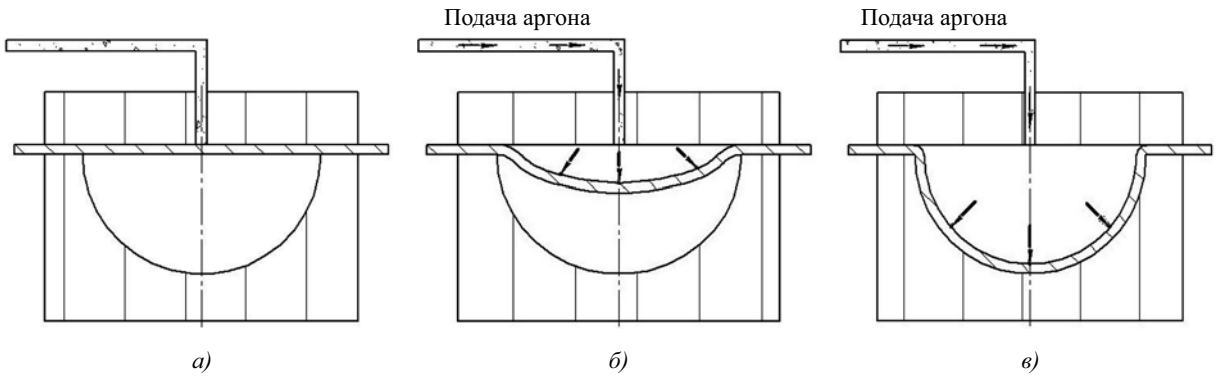


Рис. 4. Принципиальная схема *SPF*-технологии формообразования полусфер:
а – начало процесса формообразования; *б*, *в* – первый и второй переходы, соответственно

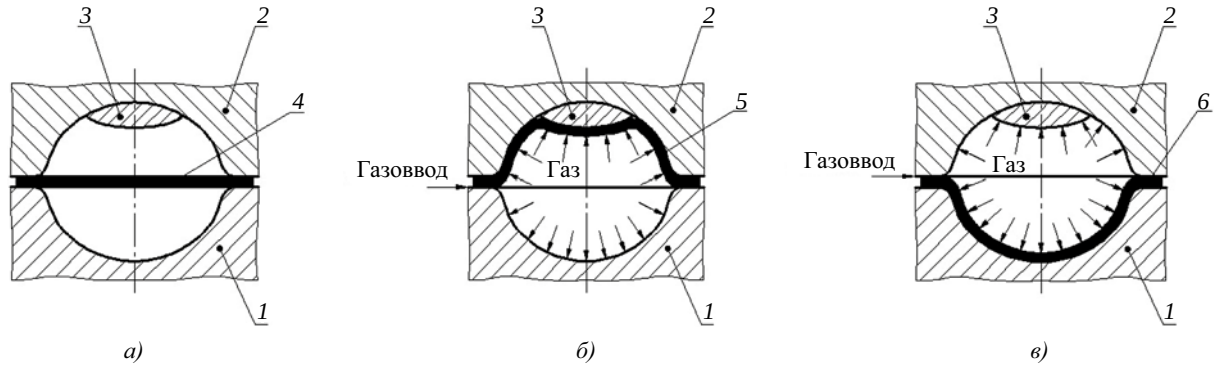


Рис. 5. Принципиальная схема реверсивной газовой формовки:
а – исходное положение заготовки; *б*, *в* – первый и второй переходы, соответственно; *1*, *2* – нижняя и верхняя матрицы; *3* – вкладыш; *4* – заготовка; *5* – заготовка после 1-го перехода; *6* – полусфера

Первоначально газ подается в нижнюю матрицу *1*, где происходит преимущественная деформация краевых участков заготовки *4*. При этом образуется промежуточный профиль (рифт) *5*, форма которого соответствует форме вкладыша *3*. Далее реверсируют давление, т. е. убирают его из нижней матрицы *1* и подают в верхнюю матрицу *2*. Происходит выворачивание полуфабриката *5*. Проходя через плоскость разъема инструмента, он продолжает деформироваться до заполнения полости нижней матрицы. На второй стадии формовке подвергаются преимущественно центральные участки заготовки. Полученная в результате формовки в два перехода деталь *6* характеризуется выравниванием общей деформации по контуру.

Особенности технологии:

- штамповка производится в режиме сверхпластичности;
- весь технологический процесс производится в вакууме;
- формообразование производится реверсивной газовой формовкой за два перехода.

Необходимо отметить, что исследования немецкой фирмы *FormTech GmbH* (Германия), в области *SPF*-технологий, позволяют разработать экономически выгодную технологию получения полусферических заготовок, при этом применяются оптимальные технические решения. Данная фирма на имеющемся лабораторном горячем прессе с использованием специализированной оснастки изготавливает опытными партиями полусферические заготовки в интересах европейских аэрокосмических предприятий (см. рис. 6).

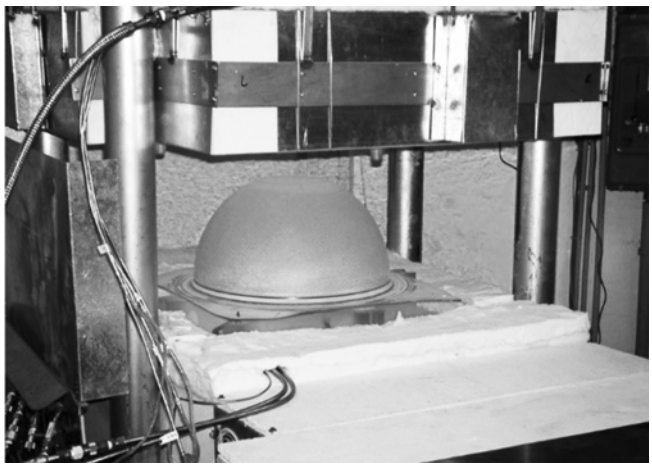


Рис. 6. Формообразование заготовки из труднодеформируемого титанового сплава на лабораторном прессе фирмы *FormTech GmbH*

Разработанная фирмой *FormTech GmbH SPF*-технология, позволяет создать инновационные решения, с учетом повышенных требований к шаробаллонам по прочности. Основным положительным фактором *SPF*-технологий является высокая производительность. Формообразование титановой заготовки происходит в горячем прессе при нагревании до 900 °С. При подаче заданным в технологической документации давлением газа, материал формируется по формовочной матрице. Процесс регулируется специально разработанными *SPF*-параметрами и специальной быстропереналаживаемой формообразующей оснасткой, что позволяет регулировать толщину (в т. ч. переменную) заготовки по мере необходимости.

Кроме того, *SPF* по сравнению с традиционными методами получения полусфер обладает рядом преимуществ:

- высокий коэффициент использования материала;
- возможность получения сложнопрофильных изделий на энергоемком прессовом оборудовании, с использованием простой не дорогой оснастки за одну формообразующую операцию;
- получение окончательного профиля заготовки требуемой толщины, без последующей механической обработки;
- меньшую трудоемкость, низкие энергетические и капитальные затраты;
- сокращение ручного труда и уменьшение себестоимости изделий.

Также стоит отметить недостатки, к которым относятся:

- длительность процесса (от нескольких минут до часов);
- необходимость применения горячего инструмента, температура которого должна сохраняться в течении всего процесса формообразования;
- необходимость пребывания изделия в матрице до температуры потери сверхпластичности. В противном случае, будучи нагретыми до состояния сверхпластичности, изделия по выходе из матрицы могут изменить свои размеры и форму при любом случайном и небольшом усилии.

В промышленных масштабах обеспечить эффективность применения рассмотренных технологий позволяет интеграция специализированной оснастки для формообразования с современным прессовым оборудованием (см. рис. 7).

Изотермические прессы *Schuler* обеспечивают высокую степень управления скоростью и усилием прессования, что в совокупности с интегрированной системой нагрева камеры и подачи инертного газа позволяют получать точные заготовки методом *SPF*.

Рис. 7. Изотермический формовочный пресс фирмы *Schuler GmbH*

Отечественные разработки в области *SPF*-технологий труднодеформируемых титановых сплавов ведутся следующими организациями:

- Институтом проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, обладающего лабораторным оборудованием для проведения процесса сверхпластической формовки;
- АО «НПО «Техномаш», г. Москва, где на базе предприятия создан опытный образец установки для сверхпластической формовки полусфер из титановых сплавов и др.

Однако, в промышленных масштабах данные разработки на российских машиностроительных предприятиях не находят широкого применения.

Вывод. Учитывая необходимость внедрения инновационных технологий в производстве ракетно-космической техники, с целью обеспечения необходимых технических характеристик и высокого уровня надежности, предъявляемого к изделиям специальной техники, требуется продолжение работ по дальнейшему совершенствованию способа получения полусферических заготовок из титановых сплавов с привлечением профильных научных специалистов.

Список литературы

1. *Ломакин И. В., Рязанцев А. Ю., Юхневич С. С., Широкожухова А. А.* Создание передовой технологии и оборудования для изготовления титановых шароболлонов // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства: сб. тезисов: 4 т. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 2. С. 378–381.

2. *Вайцехович С. М., Бараев А. В., Кривенко Г. Г.* Разработка оборудования для подачи-удаления крупногабаритных заготовок в зону штамповки и обратно // Вестник НПО Техномаш. 2017. № 3 (3). С. 10–12.

3. *Рязанцев А. Ю., Юхневич С. С.* Разработка и внедрение импортозамещающей технологии изготовления титановых баллонов // Орбита молодежи-2019: Всеросс. конкурс науч.-техн. работ. СПб: Балтийский государственный технический университет «Военмех». 2019. С. 229–230.

4. *Витковская А. А., Севостьянова А. К., Юхневич С. С., Сай В. А.* Оборудование и технологии для ротационной вытяжки // Современные технологии производсва в машиностроении: Сборник научных трудов. Воронеж: Изд.-полигр. центр «Научная книга». 2020. Т. 13. С. 13–18.

5. *Юхневич С. С., Ковалев С. В., Рязанцев А. Ю., Коновалов А. И.* Совершенствование способа получения заготовок полусфер из труднодеформируемых титановых сплавов для емкостей высокого давления специальных изделий техники // Космическая техника и технологии. 2023. № 3 (42). С. 15–22.

6. *Коптев И. Т., Юхневич С. С., Гладкова Л. Д.* и др. Разработка промышленной технологии и специализированной оснастки для формообразования полусфер, входящих в Конструкцию высокопрочных шарабалонов высокого давления (330 кг/см^2), из перечисленных титановых сплавов // Сб. мат-лов конф. IV Всеросс. науч.-технич. конф. «Актуальные проблемы ракетно-космической техники». Самара: СамНЦ. 2015. Т. 2. С. 316–322.

7. *Пат.* № 2635210 С РФ, МПК B 21 D 22/20. Способ изготовления полых деталей полусферической формы из труднодеформируемого титанового сплава ВТ 6-С // И. Т. Коптев, С. С. Юхневич, Л. Д. Гладкова и др. Опубл. 09.11.2017.

8. *Пат.* № 2635990 С РФ, МПК B 21 D 22/20. Способ штамповки детали полусферической формы из труднодеформируемого титанового сплава ВТ6-С в одном штампе // И. Т. Коптев, Б. И. Омигов, С. С. Юхневич др. Опубл. 17.11.2017.

9. *Бещеков В. Г., Кулик В. И., Королев А. Н.* и др. Исследование формообразования полусфер шаробаллонов сферодвижным деформированием // Вестник НПО Техномаш. 2018. № 2 (6). С. 57–58.

10. *Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я., Еникеев Ф. У.* Компьютерное моделирование процесса сверхпластической формовки полусферической оболочки из профилированной заготовки // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2019. № 3 (8). С. 98–102.

References

1. Lomakin I. V., Ryazantsev A. Yu., Yukhnevich S. S., Shirokozhukhova A. A. Development of advanced technology and equipment for manufacturing titanium spherical containers. *XLV Academic Readings on Cosmonautics, dedicated to the memory of Academician S. P. Korolev and other outstanding Russian scientists – pioneers of space exploration: collection of abstracts: 4 vol*. Moscow, Publishing house of Bauman Moscow State Technical University, 2021, vol. 2, pp. 378–381.

2. Vaitsekhovich S. M., Baraev A. V., Krivenko G. G. Development of equipment for feeding and removing large-sized workpieces to and from the stamping zone. «NPO *Technomac*» *Vestnik*, 2017, no. 3 (3), pp. 10–12.

3. Ryazantsev A. Yu., Yukhnevich S. S. Development and implementation of import-substituting technology for the manufacture of titanium cylinders. *Orbit of Youth-2019: All-Russian competition of scientific and technical works. St. Petersburg: Baltic State Technical University «Voenmekh»*, 2019, pp. 229–230.

4. Vitkovskaya A. A., Sevostyanova A. K., Yukhnevich S. S., Sai V. A. Equipment and technologies for rotary drawing. *Modern production technologies in mechanical engineering: Collection of scientific papers*. Voronezh, Publishing and polygraphic center «Scientific book», 2020, vol. 13, pp. 13–18.

5. Yukhnevich S. S., Kovalev S. V., Ryazantsev A. Yu., Konovalov A. I. Improving the method for producing hemisphere blanks from difficult-to-deform titanium alloys for high-pressure vessels of special engineering products. *Space Engineering and Technology*, 2023, no. 3 (42), pp. 15–22.

6. Koptev I. T., Yukhnevich S. S., Gladkova L. D. et al. Development of industrial technology and specialized tooling for shaping hemispheres included in the design of high-strength high-pressure spherical cylinders (330 kg/cm^2) from the listed titanium alloys. *Collection of conf. 4th All-Russian scientific and technical conf. «Actual problems of rocket and space technology»*. Samara, SamNC, 2015, vol. 2, pp. 316–322.

7. Koptev I. T., Yukhnevich S. S., Gladkova L. D. et al. *Sposob izgotovlenija polyh detalej polusfericheskoj formy iz trudnodeformiruemogo titanovogo splava VT 6-S* [Method for manufacturing hollow hemispherical parts from difficult-to-deform titanium alloy VT 6-S]. Patent RF no. 2635210 publ. 09.11.2017.

8. Koptev I. T., Omigov B. I., Yukhnevich S. S. et al. *Sposob shtampovki detali polusfericheskoj formy iz trudnodeformiruemogo titanovogo splava VT6-S v odnom shtampe* [Method for stamping a hemispherical part from difficult-to-deform titanium alloy VT6-S in a single die] Patent RF no. 2635990 publ. 17.11.2017.

9. Beschekov V. G., Kulik V. I., Korolev A. N., et al. Study of shaping of spherical container hemispheres by spherical-motion deformation. «NPO *Technomac*» *Vestnik*, 2018, no. 2 (6), pp. 57–58.

10. Kruglov A. A., Lutfullin R. Ya., Enikeev F. U. Computer modeling of the process of superplastic forming of a hemispherical shell from a profiled blank. *Information technologies. Problems and solutions*, 2019, no. 3 (8), pp. 98–102.

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

УДК 620.3
В. А. ПОПОВ, д-р техн. наук (НИТУ «МИСИС», г. Москва)
E-mail: popov58@inbox.ru
V. A. Popov (NUST «MISIS», Moscow)

Композиционные материалы с металлической матрицей и упрочняющими углеродными частицами в виде наноалмазов

Composite materials with a metal matrix and reinforcing carbon particles in the form of nanodiamonds

В настоящее время в технике применяется множество различных композиционных материалов. Значительный интерес вызывают композиционные материалы с металлической матрицей и углеродными упрочняющими частицами, в т. ч. и с наноразмерными, таким как наноалмазы и фуллерены. Размер наноалмазных частиц находится в пределах 4–6 нм, иногда достигает до 10 нм, но они объединены в агломераты, прочность которых достаточно высокая при размерах до 100 мкм, а объединяться они могут до размеров 300–800 мкм (прочность высоких агломератов не значительная). Нахождение агломератов наноалмазов в металле приведет к снижению прочности материала, поэтому необходимо разбивать агломераты наноалмазов в металлах. Эффективным способом раздробления агломератов является механическое легирование.

Currently, a wide variety of composite materials are used in engineering. Of particular interest are composite materials with a metal matrix and carbon reinforcing particles, including nanosized particles such as nanodiamonds and fullerenes. Nanodiamond particles range in size from 4–6 nm, sometimes reaching up to 10 nm, but they are combined into agglomerates, which are quite strong at sizes up to 100 μm, and can aggregate to sizes of 300–800 μm (the strength of larger agglomerates is not significant). The presence of nanodiamond agglomerates in metal will reduce the strength of the material, so it is necessary to break up the nanodiamond agglomerates in metals. Mechanical alloying is an effective method for breaking up the agglomerates.

Ключевые слава: композиционные материалы; механическое легирование; наноалмазы; ниобий; хром.

Keywords: composite materials; mechanical alloying; nanodiamonds; niobium; chromium.

Статья связана с проектом РНФ 8013324.

Композиционные материалы в настоящее время применяются во всех разделах техники. Значительный интерес уделяется композитам с металлической матрицей и углеродными упрочняющими материалами, таким как наноалмазы [1, 2]. Наноалмазы – это наночастицы с алмазной структурой и размером 4–6 нм (иногда размеры достигают до 10 нм). В обычных условиях наноалмазы объединены в агломераты, которые с размером до 100 мкм являются достаточно прочными. Объединение агломератов может достигаться до 300–800 мкм (и более), но прочность таких агломератов является слабой. Для повышения прочности композитов необходимо раздробить агломераты наноалмазов. Эффективно такое раздробление можно сделать при механическом легировании [3]. Некоторая часть наноалмазов объединяется в чрезвычайно прочные наночастицы из 2–7 единиц. Такие нано-частицы не приводят к снижению прочности. Механическое легирование эффективно позволяет получить композиционные материалы с упрочняющими наноразмерными частицами.

Цель данной работы – возможность создания композиционных материалов с металлической матрицей упрочняющими углеродными наночастицами, а именно с наноалмазами.

Материалы и методы исследования

В работе проводится исследование возможности получения композиционных материалов с металлической матрицей и углеродными наночастицами, а именно, наноалмазами. Металлами для композитов выступают ниобий и хром. Наноалмазы поставлены компанией «Электрохимкомплект» (г. Екатеринбург). Содержание алмазной фазы было не менее 95 % масс. Фуллерены изготовлены на «Научно-производственной предприятии «НеоТукПродакт»» (г. Санкт-Петербург). Композиты с металлической матрицей получены методом механического легирования в планетарных мельницах *Retch 400* и *Pulverisette* 6 (*FRITSCH GmbH*, Германия). Планетарная моно-мельница *Pulverisette* 6 (*FRITSCH GmbH*, Германия) используется для изготовлений композитов с ниобием и наноалмазами. Объем емкости для измельчения составляет 80 мл, а в качестве измельчающего инструмента используются шарики из хромистой стали (100 г) диаметром 5 мм. Скорость вращения составляет 500 об/мин. Обработка проводится без использования поверхностно-активных веществ в атмосфере аргона в течение 0,5–6 ч; время для охлаждения не учитывается в общем времени обработки (см. таблицу).

Таблица

Композиты, полученные методом механического легирования

Масса ниобия, г	Масса наноалмазов, г	Содержание наноалмазов, % масс.	Время механического легирования, ч
9,296	0,653	6,56	0,5
9,302	0,699	6,98	1,2
9,307	0,699	6,98	6

Для изготовления композитов с хромовой матрицей и упрочняющими частицами из наноалмазов также применяется планетарная мельница *Retsch PM400*. Диаметр шаров составляет 12 мм, соотношение «вес шаров/вес обрабатываемых материалов» равно 10. Механическое легирование проводится в закрытых мельницах объемом 500 мл в атмосфере аргона в течение 4–6 ч (время охлаждения не учитывается).

Полученные порошкообразные гранулы подвергаются детальному исследованию с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеноструктурного анализа (РСА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [4–6], которые проводятся на приборах: *DSC 404 C Pegasus* (*NETZSCH*, Германия). В обоих случаях скорость нагрева составляет 20° в мин. Для исследования ниобиевых композитов при нагревании до 1000–1400 °C также используется прибор *DSC 404 C Pegasus*. Результаты получены в атмосфере аргона при скорости подачи 50 мл/мин. Прибор калибруется для измерения в мВт/мг. Это устройство позволяет нам провести ДСК с регистрацией в микровольтах и термогравиметрический анализ (ТГА). Из рабочей камеры для градуированных шкал откачивается воздух. Рабочая камера заполняется гелием марки 6.0 (99,9999 %). После этого устройство возвращается в исходное состояние. Два пустых закрытых оксида алюминия (Al_2O_3) тигли помещаются на держатель внутри рабочей камеры прибора. Процедуру вакуумирования и заполнения повторяют, фиксируют базовую линию для пустого тигля и возвращают прибор в исходное состояние. Затем в один из пустых тиглей помещают исследуемый образец, повторяют процедуру вакуумирования и заполнения и проводят необходимые измерения. Рентгеноструктурный анализ происходит с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 (г. Санкт-Петербург) с излучением CuKα. В статье [7] представлена информация о методике и программном обеспечении, используемом при проведении рентгеноструктурных исследований. При фазовом анализе используются данные из баз *ICSD* (*Inorganic Crystal Structure Database*), *CRYSTMET*, *COD* (*Crystallography Open Database*). Для изучения общего вида гранул и их поверхности выбирается сканирующий электронный микроскоп *TESCAN VEGA3* (г. Брно-Когуловице, Чехия) и *Supra 50VP* (*Carl Zeiss*, Германия). Исследования методом просвечивающей электронной микроскопии проводятся с использованием *TITAN 80–300* (*FEI*, *International*).

Результаты исследований и их обсуждение

Композитные материалы «ниобий + наноалмазы» и «хром + наноалмазы» были изготовлены методом механического легирования. Приблизительно в ниобиевых композитах содержится 7 % масс. наноалмазов, а в хроме – 10 % масс. наноалмазов. Механическое легирование образцов из ниобия с наноалмазами осуществляется по следующим периодам:

- короткий – обработка в течение 0,5 ч (образец 1-Nb),
- средний – обработка в течение 1,2 ч (образец 2-Nb);
- длительный – обработка в течение 6 ч (образец 3-Nb).

Образцы из хрома с наноалмазами изготавливаются в течение 2 ч.

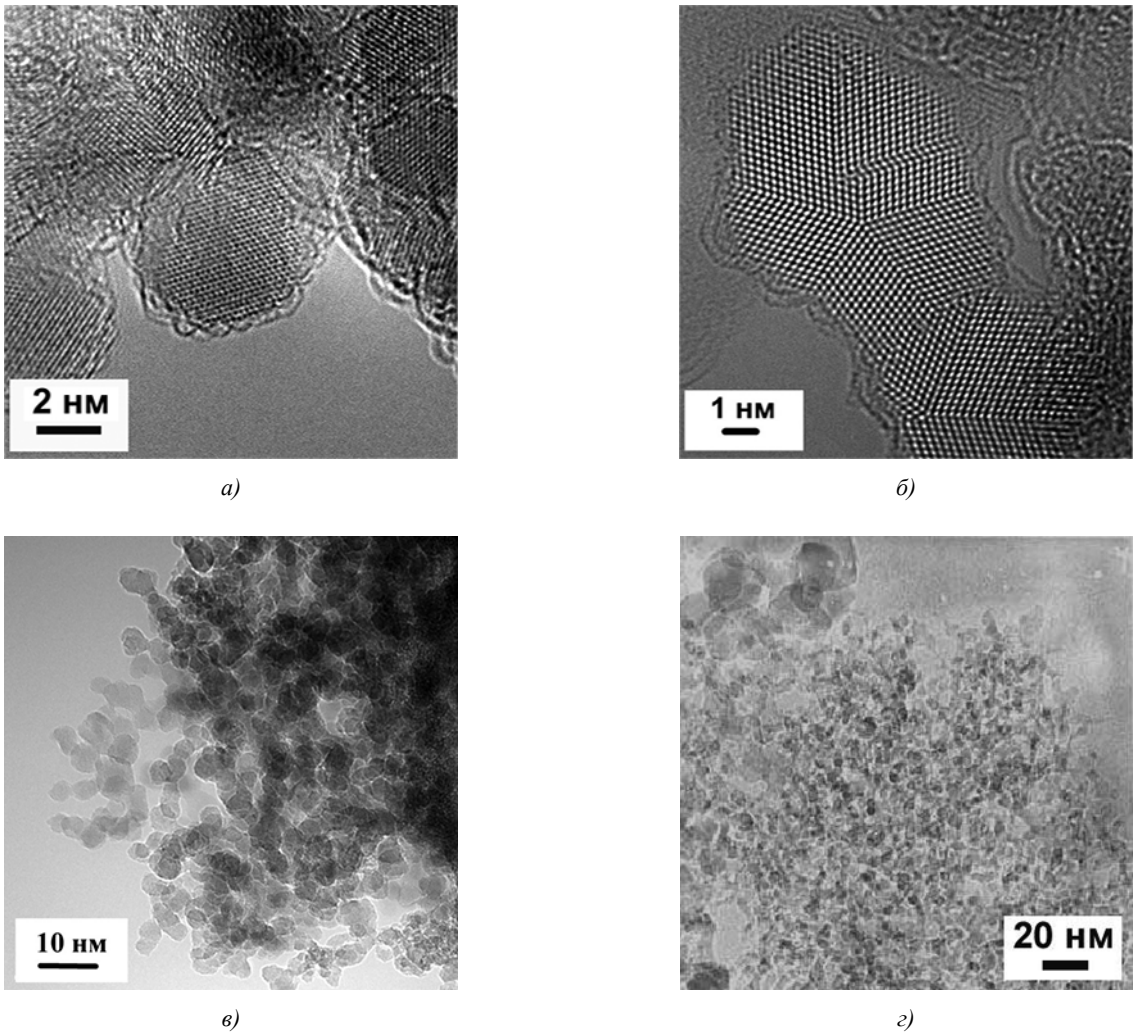
Ниобиевые композиты

Изготовленные образцы композитов изучаются с помощью сканирующей электронной микроскопии

(СЭМ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и рентгеновской дифракции (РД). Упрочняющими частицами являются наноалмазы, их называют также ультрадисперсными алмазами. Чаще всего наноалмазы выполняются (в основном) в виде одной монокристаллической частицы (см. рис. 1, *а*). Встречаются частицы, состоящие из нескольких нано-размерных кристаллов (см. рис. 1, *б*). Нано-частицы соединены в агломераты (см. рис. 1, *в*), размер которых может достигать до 800 мкм. Размеры наноалмазных частиц в основном равны 4–6 нм и достаточно часто доходят до 10 нм, но достаточно редко доходят вплоть до 30 нм (см. рис. 1, *г*).

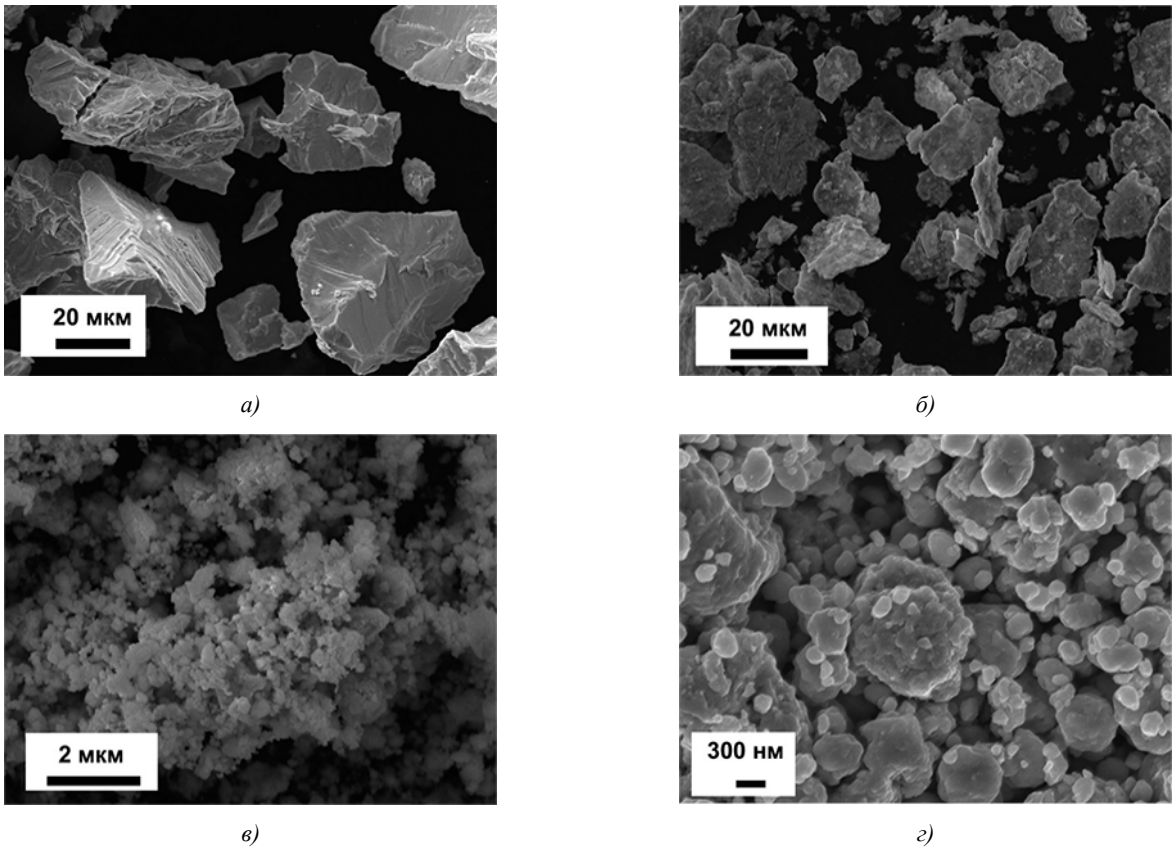
В работе исследуются общий вид исходного порошка ниобия (см. рис. 2, *а*) и гранулы ниобиевого композита с наноалмазными упрочняющими частицами (см. рис. 2, *б–г*). В процессе механического легирования наноалмазные агломераты разрушаются и смешиваются с металлическими частицами, наноалмазные частицы встраиваются в металлическую матрицу, а металлические частицы разрушаются и снова свариваются. Смешивание применяемых материалов, их разрушение и сварка приводят к образованию композитных гранул в разрабатываемых композитах. Время перемешивания определяет степень разрушения первичных наноалмазных агломератов. Как следует из рис. 2, *б* обработка в течение короткого времени не приводит к высокой степени измельчения структуры. Увеличение времени обработки методом механического легирования приводит к значительному разрушению наноалмазных агломератов, уменьшению размера гранул и повышению однородности материала (см. рис. 2, *в*, *г*).

Рентгеноструктурный анализ проводится для композитов «ниобий+наноалмазы», полученных методом механического легирования в течение 0,5; 1,2 и 6 ч (см. рис. 3).



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 1. Изображения наноалмазов, полученные при помощи просвечивающего электронного микроскопа:
а – наноалмазная частица; *б* – наноалмазная частица с двойниками; *в* – агломерат наноалмазный частиц; *г* – совокупность наночастиц наноалмазов с размером 5–30 нм



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 2. Общий вид исходного порошка ниобия (*а*) и композитных гранул «Nb+7 % масс ND» после 0,5 (*б*); 1,2 (*в*) и 6 ч (*г*) обработки механическим легированием

При кратковременной обработке (как видно на рентгенограммах) карбиды практически не образуются. При обработке в течение 0,5 ч гидриды, образовавшиеся в ниобиевом порошке при хранении, не разложились. После обработки в течение 1,2 ч обнаружено некоторое количество карбидов. В образцах, обработанных методом механического легирования в течение 6 ч, значительная доля наноалмазов участвовала в синтезе карбида ниобия. Это можно объяснить тем, что в месте столкновения шариков во время механического легирования температура может достигать и даже превышать 400 °С [8]. Чтобы снизить это значение, очевидно, необходимо использовать специальные методы (крио-фрезерование и т. д.).

Короткое время обработки методом механического легирования не позволило нам существенно измельчить агломераты наноалмазов, поэтому максимум пикового тепловыделения наблюдался при температуре 950–1000 °С Более длительное время обработки приводит к более серьезному измельчению агломератов. В результате максимум пикового тепловыделения смещается в сторону более низких температур: после 1,2 ч обработки максимальный пик приходится примерно на 800 °С, а после 6 ч обработки максимальный пик приходится примерно на 700 °С. Во всех случаях механического легирования присутствуют полностью измельченные агломераты. Следовательно, выделение тепла при образовании карбидов наблюдается даже при температуре 300–400 °С. Чтобы подтвердить образование карбидов при нагревании, проводится рентгеноструктурное исследование образца, обработанного в планетарной мельнице в течение 6 ч после нагрева до 350–760 °С (см. табл. 2).

Таблица 2

Содержание фаз в образце, обработанном в планетарной мельнице в течение 6 ч после различных видов термической обработки

Температура, °С	Фаза	Объемная доля, %	Массовая доля, %
После механического легирования	$NbC_{0,77}$ (B1, cF8) Баланс – Nb	49,4	47,8
275	$NbC_{0,77}$ (B1, cF8) Баланс – Nb	66,1	65,6
350	$NbC_{0,77}$ (B1, cF8) Баланс – Nb	67,1	66
417	$NbC_{0,77}$ (B1, cF8) Баланс – Nb	69,7	68
760	$NbC_{0,77}$ (B1, cF8) Nb_2C (L'3, hP4) Nb_2C (oP12) Баланс – оксид ниобия	65,3 8 21,4	64,7 8,1 21,3

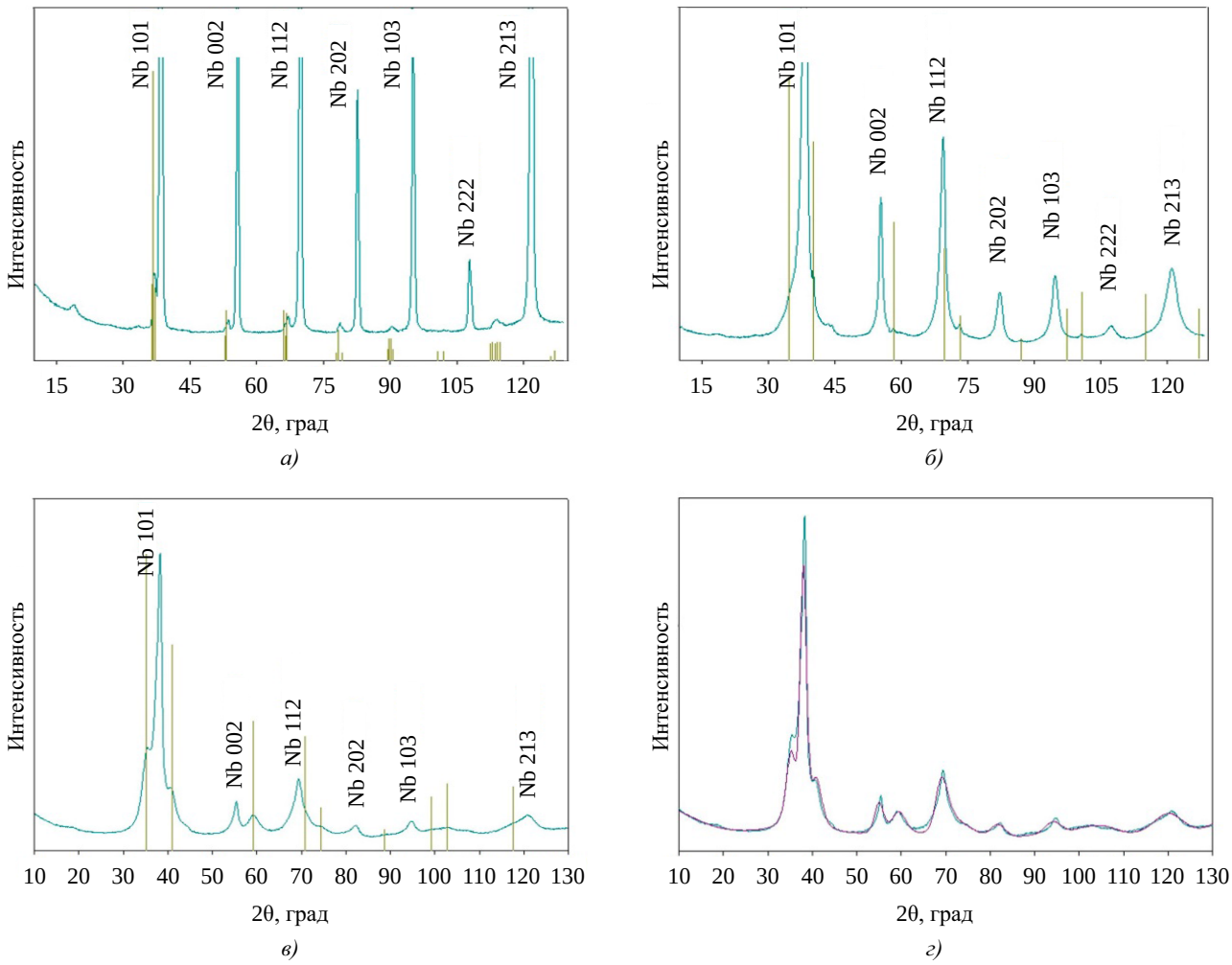


Рис. 3. Рентгенограммы образцов композита «ниобий+наноалмазы» после различного времени обработки механическим легированием:
а – через 0,5 ч (точечная диаграмма показывает гибрид ниобия $NbH_{0,86}$); *б* – через 1,2 ч (точечная диаграмма показывает карбид ниобия NbC); *в* – через 6 ч (точечная диаграмма показывает карбид ниобия $NbC_{0,77}$); *г* – сравнение экспериментальной рентгенограммы (зеленый цвет) с установленной рентгенограммой дифракционная картина (сиреневый цвет) для образца *в*

Таким образом, синтез карбидов ниобия начинается при температуре ниже 350 °С, если в качестве прекурсоров используются наночастицы углерода (в данном случае наноалмазы) и, если компоненты плотно соприкасаются друг с другом.

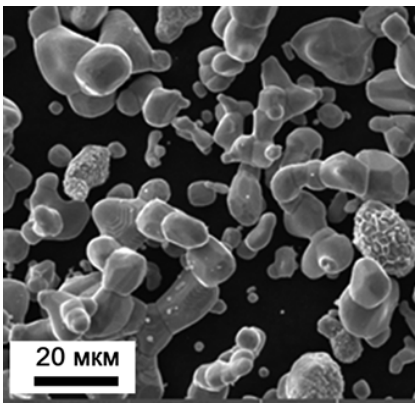
Композиты «хром+наноалмазы»

Композиты «хром+наноалмазы» подготовлены методом механического легирования при применении планетарной мельнице *Retsch PM400*. Диаметр обрабатывающих шаров равен 12 мм. Время обработки композитов составляет 2 ч, время охлаждения ко времени обработки не прикладывается. Рис. 4, *а* демонстрирует вид исходных порошков хрома, на рис. 4, *б* показаны порошки композита «хром+наноалмазы (15 %)» после 2 ч обработки, обработанный порошок исследуется методом сканирующей электронной микроскопии. Размер исходных частиц хрома равен 1–20 мкм, бóльшая часть порошков имеет размер 5–10 мкм. После обработки в планетарной мельнице размер частиц обработанных композитов составляет 0,5–2 мкм.

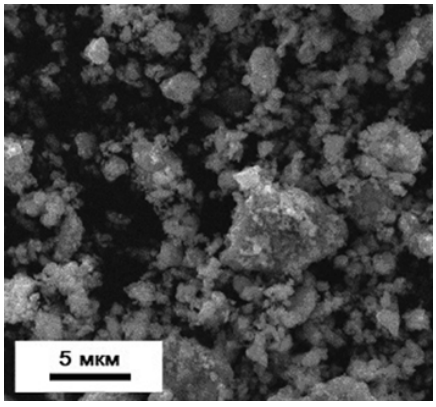
Интерес вызывает свойство композитов при повышенных температурах. Проводятся свойства композита при увеличении температуры до 1200 °С (см. рис. 5). ДСК и ТГА также применяются для исследований. Изучения проводятся при применении нагрева в защитной атмосфере гелия. Видно, что композит является стабильным материалом, что приводит такой материал к категории перспективных.

Снижение размеров алмазных частиц приводит к снижению температуры превращения алмазной структуры в углеродную. Превращения в макроразмерных случаях происходят в 1200 °С, снижение размеров алмазных частиц приводит к снижению температуры в углерод, снижение частиц до 100–200 нм вызывает снижение температуры превращения алмазной структуры в углеродную до 1000 °С.

Снижение размера алмазных частиц до 5–10 нм приводит к снижению температуры превращения алмазной структуры в углеродную до 520–550 °С. На рис. 6 представлены данные о дифрактограммах образца композита «хром+наноалмазы (15 %)» после термической обработки при 690 °С (хром указан стрелками; вертикальные линии указывают карбид хрома Cr_7C_3).



а)



б)

Рис. 4. Исходные порошки хрома (*а*) и композит «хром+наноалмазные упрочняющие частицы (15 %)» (*б*)

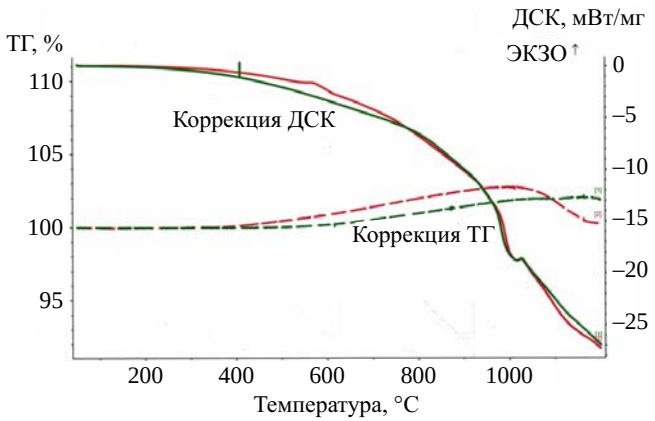


Рис. 5. Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии (РСК) и ТГА при температурах до 1200 °С в атмосфере гелия

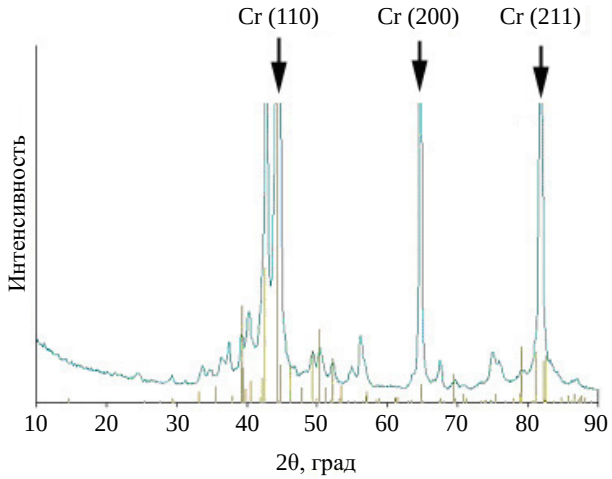


Рис. 6. Дифрактограммы образца композита «хром+наноалмазы (15 %)» после термической обработки (отжиг) при 690 °С (хром указан стрелками; вертикальные линии указывают карбид хрома Cr_7C_3)

Выводы. 1. Наноалмазы относятся к перспективным материалам для производства упрочняющих частиц в композитах с различными металлами, в т. ч. с ниобием и хромом.

2. Раздробленные наноалмазные частицы в композитах с начинают реагировать с ниобием при 700 °С, а с хромом – при 520 °С.

Список литературы

1. *Филоненко В. П., Хабашеску В. Н.* Перспективы использования фторированных наноалмазов для Васина синтеза сверхтвердых композитов // Российские нанотехнологии. 2022. Т. 17. № 4. С. 509–514.

2. *Бердичевский Г. М., Васина Л. В., Рюмина Е. В.* и др. Перспективы использования наноалмазов в медицине (обзор) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021. Т. 24. № 1. С. 31–37.

3. *Просвиряков А. С.* Механическое легирование алюминиевого сплава частицами наноалмаза // Тугоплавкие, керамические и композиционные материалы. 2013. № 4. С. 45–50.

4. *Ильин Е. Г., Паршаков А. С., Тетерин Ю. А.* и др. Исследование морфологии и состава поверхности композита NbC/C методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии // Неорганические материалы. 2020. Т. 56. № 5. С. 467–474.

5. *Киселева Т. Ю., Ковалева С. А., Григорьева Т. Ф.* и др. Применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии для изучения устойчивости композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена к облучению электронным пучком // Журнал физической химии. 2021. Т. 95. № 5. С. 678–685.

6. *Малинин А. В., Макатров А. К., Ситдиков В. Д.* Рентгеноструктурный аналмз сталей для решения прикладных задач нефтяной промышленности // Нефтегазовое дело. 2025. Т. 23. № 4. С. 101–109.

7. *Shelekhov E. V., Sviridova T. A*. Programs for X-ray analysis of polycrystals // Met. Sci. Heat Treat. 2000. Vol. 42. Pp. 309–313.

8. *Kwon Y.-S., Gerasimov K. B., Yoon S.-K.* Ball temperatures during mechanical alloying in planetary mills // J. Alloys Compd. 2002. Vol. 346. Pp. 276–281.

References

1. Filonenko V. P., Khabashesku V. N. Prospects for the Use of Fluorinated Nanodiamonds for the Synthesis of Superhard Composites. *Russian Nanotechnologies*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 509–514.

2. Berdichevsky G. M., Vasina L. V., Ryumina E. V., et al. Prospects for the Use of Nanodiamonds in Medicine (Review). *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 31–37.

3. Prosviryakov A. S. Mechanical Alloying of Aluminum Alloy with Nanodiamond Particles. *Refractory, Ceramic and Composite Materials*, 2013, no. 4, pp. 45–50.

4. Ilyin E. G., Parshakov A. S., Teterin Yu. A., et al. Study of the surface morphology and composition of the NbC/C composite by scanning electron microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy. *Inorganic Materials*, 2020, vol. 56, no. 5, pp. 467–474.

5. Kiseleva T. Yu., Kovaleva S. A., Grigorieva T. F. et al. Application of differential scanning calorimetry to study the stability of composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene to electron beam irradiation. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 2021, vol. 95, no. 5, pp. 678–685.

6. Malinin A. V., Makatrov A. K., Sitdikov V. D. X-ray structural analysis of steels for solving applied problems of the oil industry. *Oil and Gas Business*, 2025, vol. 23, no. 4, pp. 101–109.

7. Shelekhov E. V., Sviridova T. A. Programs for X-ray analysis of polycrystals. *Met. Sci. Heat Treat.*, 2000, vol. 42, pp. 309–313.

8. Kwon Y.-S., Gerasimov K. B., Yoon S.-K. Ball temperatures during mechanical alloying in planetary mills. *J. Alloys Compd*., 2002, vol. 346, pp. 276–281.

Вниманию подписчиков!

Обращаем Ваше внимание на то, что с начала 2010 года издается *журнал под названием «Кузнечно-штамповочное производство»*, выпускаемый неким Жарковым В. А. и **не имеющий никакого отношения к нашему журналу «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением»**.

Использование Жарковым В. А. для своего издания первой части названия журнала «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением» вводит в заблуждение наших подписчиков. **Журнал, издаваемый Жарковым В. А., имеет совершенно другую тематическую направленность, он не входит в перечень ВАКа и по сути является сборником трудов самого Жаркова В. А.**

ИСПЫТАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ

УДК 62-661: 66.088

А. Г. БАТУХТИН, д-р техн. наук; С. Г. БАТУХТИН, М. В. КОБЫЛКИН, кандидаты техн. наук; И. Ю. БАТУХТИНА, канд. физ.-мат. наук, доцент (Забайкальский государственный университет, г. Чита)

E-mail: batuhtin1@mail.ru

A. G. Batukhtin, S. G. Batukhtin, M. V. Kobylkin, I. Y. Batukhtina (Transbaikal State University, Chita)

Изучение возможности оптимизации конструкции устройства подготовки потока для плазменно-топливных систем

Study of the possibility of optimizing the design of a flow preparation device for plasma fuel systems

Статья содержит описание результатов эксперимента, направленного на исследование аэродинамических характеристик смеси угля и воздуха внутри трубопровода плазменно-топливной установки, а также изменение этих параметров при применении стандартных и усовершенствованных устройств предварительной подготовки потока. Исследование полученных методом 3D-печати модернизированных образцов устройств подготовки запыленного потока показало, что их использование позволяет достичь приемлемой стабилизации профиля скорости. Оптимизированный вариант установки с центральным концентрационным углублением и направляющим кольцом позволяет улучшить на 23 % аэродинамические показатели и имеет меньший коэффициент местного сопротивления по сравнению с исходным стандартным промышленным образцом.

The article describes the results of an experiment aimed at studying the aerodynamic characteristics of a mixture of coal and air inside a plasma-fuel installation pipeline, as well as changing these parameters when using standard and advanced flow pretreatment devices. A study of the upgraded samples of dusty flow stabilizers obtained by 3D printing has shown that their use makes it possible to achieve acceptable stabilization of the dispersed flow velocity profile. An optimized version of the device with a central concentration recess and a guide ring makes it possible to better stabilize the dusty flow by 23 % and has a lower coefficient of local resistance compared to the initial standard industrial design.

Ключевые слова: плазма; аэродинамические параметры; уголь; термохимическая подготовка; моделирование; 3D-печать.

Keywords: plasma; aerodynamic parameters; coal; thermochemical preparation; modeling; 3D printing.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 123102000012-2 «Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива».

Научные исследования плазменной обработки топлива активно ведутся научными коллективами России [1–4], государств СНГ [5–7] и зарубежных стран [8, 9]. Применение плазменных методов зажигания на тепловых электростанциях способствует повышению энергоэффективности, снижению расходов на энергоресурсы, улучшению экологичности за счет сокращения токсичных выбросов и более полного сгорания топлива, включая уголь высокой зольности. Общая схема плазменно-термохимической технологии сжигания твердого топлива приведена на рис. 1 [10].

Распространение плазменных технологий в энергетической сфере и промышленности России ограничено недостаточным уровнем понимания технологических аспектов, особенно аэродинамических явлений, возникающих при плазменной обработке углей. Эта неопределенность выступает ключевым препятствием для расширения внедрения крупных установок плазменного воспламенения в действую-

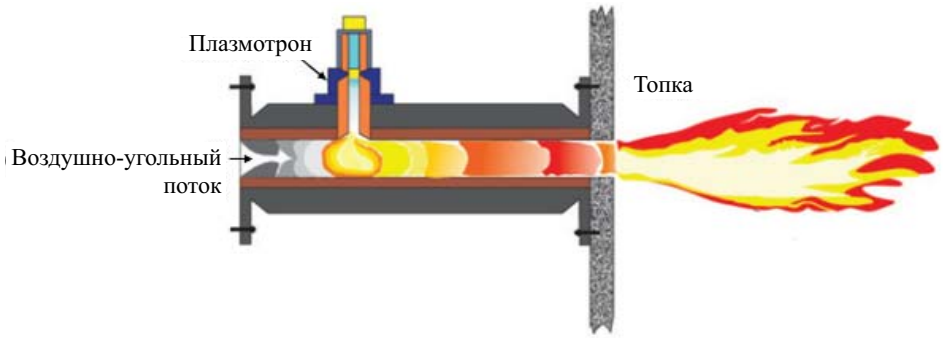


Рис. 1. Общая схема плазменно-топливной системы

щие энергетические комплексы. Разрешение указанных проблем обеспечит получение значимых научно-практических результатов, важных для развития всей отрасли.

Необходимость внедрения инновационных технологий сжигания угля дополнительно подкрепляется положениями раздела 5 Энергетической стратегии России до 2030 г., предусматривающими уменьшение доли природного газа в энергопотреблении при соответствующем увеличении роли угля как важнейшего ресурса отечественного энергетического сектора.

Анализ воздействия различных факторов на аэродинамическую структуру запыленных потоков в каналах плазменно-топливных систем осложняется процессами гравитационного разделения частиц пыли и изменениями профиля скоростей потока [3, 4, 10]. Устранение негативных эффектов возможно путем использования специальных устройств подготовки потока (УПП), способствующих выравниванию профиля скорости газа, устранению турбулизации потока и деформации по поперечному сечению трубы.

Цель данной работы – проведение экспериментальных исследований влияния модернизированных устройств подготовки потока на аэродинамические характеристики каналов термохимических плазменно-топливных систем.

Материалы и методы исследования

Для исследования аэродинамических характеристик запыленного потока смоделирован стенд, представленный на рис. 2. Варианты конструкций УПП напечатаны на фотополимерном 3D-принтере *Anycubic Photon M3 6K* (КНР). Распределение давления, скоростей воздушного потока в системе, движения характерной частицы изучают методом *CFD*-моделирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты испытаний, описанных в источниках [11, 12], показывают, что без использования УПП (или струевыпрямителя) эпюра скоростей запыленного потока деформируется из-за сил трения о внутренние поверхности канала и осаждения частиц пыли под действием гравитации в нижнюю его часть. Для компенсации данных искажений выбирается в качестве базовой модели простое и надежное устройство подготовки потока «*NEL (Spearman)*». Исходная модель далее модернизируется [11], внесенные конструктивные изменения отражены в табл. 1, что

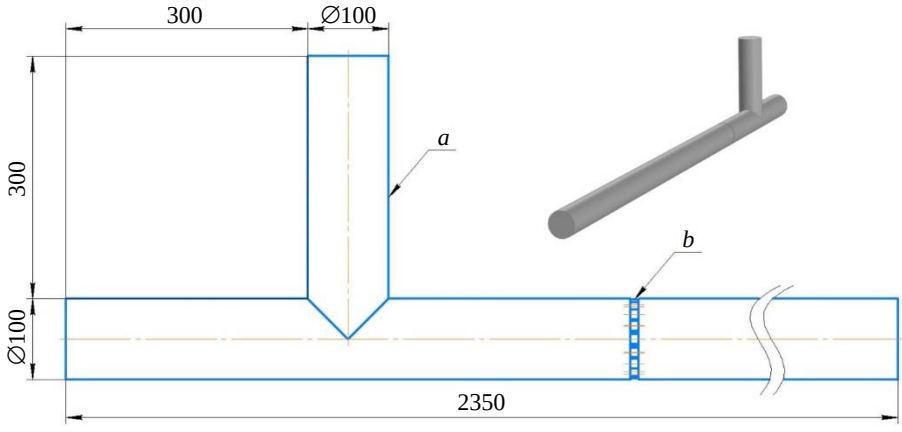
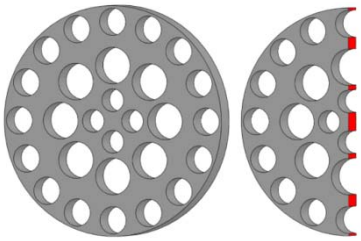
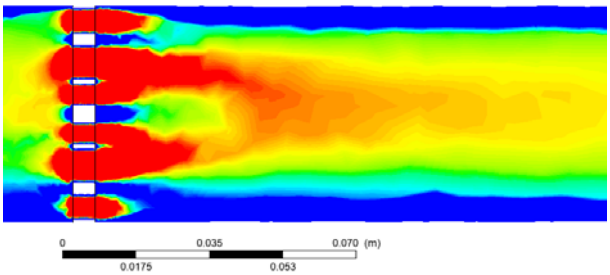
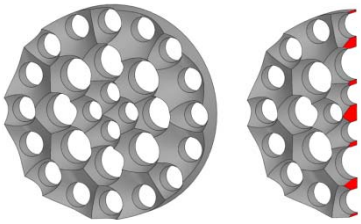
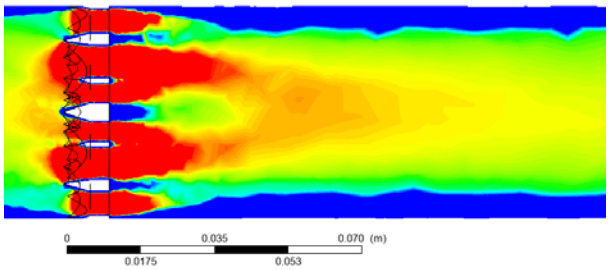
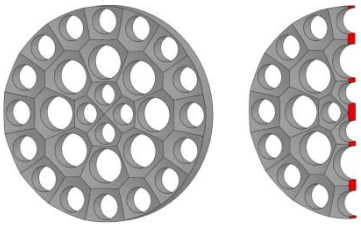
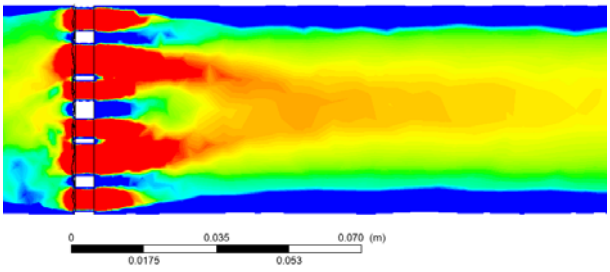
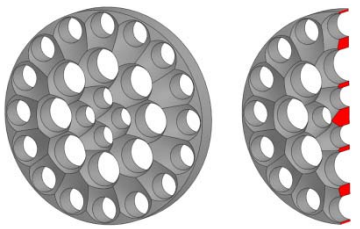
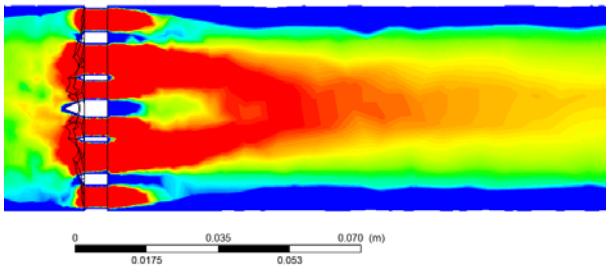
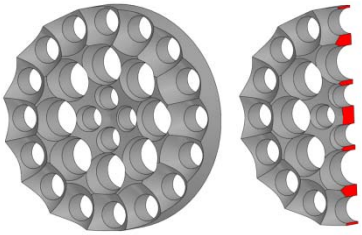
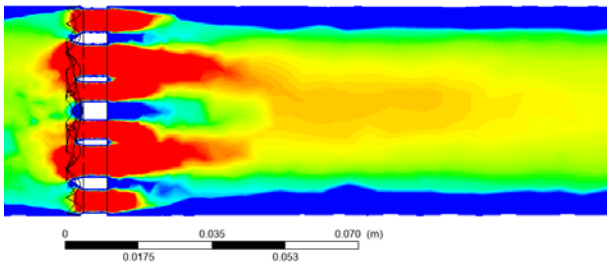


Рис. 2. Стенд для изучения аэродинамики запыленного потока:
b – место установки УПП

позволяет добиться лучшей стабилизации профиля скорости и устранения эффекта прямого столкновения частиц о поверхность УПП [12]. Предложенная рабочая поверхность с острой формой граней нивелирует эффект торможения частиц, снижая гидравлическое сопротивление, а входная кромка позволяет распределить частицы по трубопроводу, уменьшая накопленный эффект гравитационной сепарации. Поскольку модернизация УПП путем его профилирования показывает повышение эффективности стабилизации потока по сравнению с исходной конструкцией УПП, то для достижения лучшего эффекта рассмотрены дополнительные варианты оптимизации (см. табл. 1).

Таблица 1

Зависимость распределения скорости запыленного потока от типа конструкции устройства подготовки потока

Тип конструкции УПП	Общий вид и разрез модели	Контур распределения скорости запыленного потока в стенде
Исходная «NEL (Spearman)»		
С максимальной высотой острых граней		
С минимальной равномерной высотой острых граней		
С переходом высоты острых граней от максимальной в центре к минимальной на периферии		
С центральным концентрационным углублением		

Для анализа предложены:

1. Конструкция с максимальной высотой острых граней с учетом ограничения толщины, не превышающей удвоенное значение от толщины исходного УПП «*NEL (Spearman)*».

2. Конструкция с минимальной равномерной высотой острых граней с учетом ограничения толщины, не превышающей удвоенное значение от толщины базового УПП.

3. Конструкция с переходом высоты острых граней от максимальной в центре к минимальной на периферии с учетом ограничения толщины, не превышающей удвоенное значение от толщины начального варианта УПП.

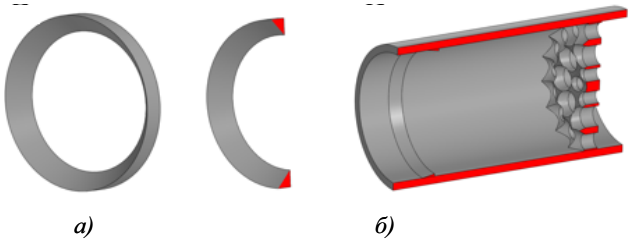
4. Конструкция с центральным концентрационным углублением с учетом ограничения толщины, не превышающей удвоенное значение от толщины УПП «*NEL (Spearman)*».

В табл. 1 представлена визуализация результатов моделирования, выраженных в контурах скорости на срезе стенда с трубкой 52 мм, что позволяет оценить эффективность работы стабилизатора по длине центрального участка с максимальной скоростью.

В результате тестирования моделей наилучший результат показывает вариант конструкции с центральным концентрационным углублением, эффективность стабилизации по статистическим метрикам *MAE* и *RMSE* которого была улучшена на 23 %.

Однако достигнутая приемлемая стабилизация профиля скорости в запыленном потоке имела недостаток в виде центрального искажения скорости воздушного потока, для исправления которого предложен вариант установки дополнительного внешнего направляющего кольца, с целью ускорения центральной части потока перед УПП.

Конструкция направляющего кольца представлена на рис. 3.



а) *б)*

Рис. 3. Конструкция направляющего кольца (*а*) и общий вид на УПП с центральным концентрационным углублением с направляющим кольцом (*б*)

Размер кольца и дистанция установки определяется путем эксперимента с построением уравнения множественной регрессии. В качестве фактора X_1 в эксперименте принимается размер кольца (высота выступа внутрь трубопровода), в качестве фактора X_2 – дистанция установки от УПП. Отклик Y описывает метрику *MAE* при сопоставлении полученной эпюры скоростей с идеальной. В результате расчетов было получено уравнение множественной регрессии: $Y = 0{,}3639 + 0{,}1885X_1 - 0{,}0074X_2$.

Параметры модели можно интерпретировать таким образом: рост X_1 на 1 ед. изм. ведет к увеличению Y в среднем на 0,188 ед. изм.; увеличение X_2 на 1 ед. изм. сопровождается снижением Y в среднем на 0,0074 ед. изм. Максимальное значение коэффициента $\beta_1 = 0{,}654$ позволяет сделать вывод о наибольшем влиянии на результат Y фактора X_1. Статистическая значимость уравнения подтверждена расчетом критерия Фишера и коэффициента детерминации. Зафиксировано, что в данном кейсе 67,09 % общей вариабельности Y связано с изменением факторов X_j, а один или несколько параметров модели статистически не значимы. Согласно матрице парных коэффициентов корреляции все коэффициенты $|r| < 0{,}7$, что говорит об отсутствии мультиколлинеарности факторов.

Оптимизируя полученное уравнение регрессии с целью получения отклика $Y = 0$ получаем, что направляющее кольцо должно быть не более 0,97 мм в высоту с дистанцией установки 73,98 мм от УПП для трубы 52 мм согласно рис. 4. Общий вид на участок трубы с УПП и направляющим кольцом представлен на рис. 5.

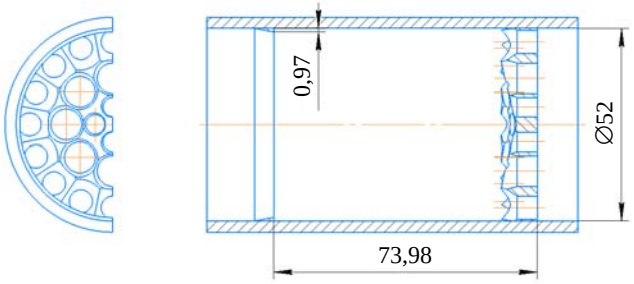


Рис. 4. УПП с центральным концентрационным углублением и направляющим кольцом

Несмотря на низкую статистическую значимость и ненадежность уравнения регрессии, полученный результат получил экспериментальное подтверждение и является достаточным для внедрения УПП с центральным концентрационным углублением с направляющим кольцом в стенды по исследованию аэродинамических характеристик плазменных систем розжига.

Таким образом, для стандартной трубы с диаметром D принимается удвоенная толщина пластины, равная $0{,}24D$ с отверстиями $0{,}1D$, $0{,}16D$ и $0{,}12D$, соответственно. Предварительно спроектированная утолщенная пластина УПП, оснащенная отверстиями, соответствующими по типоразмерам ГОСТ

8.586.1–2005, делится горизонтальной линией по оси *X*. Толщина нижней части пластины от нижней грани до медианной линии равна 0,12*D*, соответственно, толщина верхней части пластины от медианной линии до верхней грани также равна 0,12*D*. В верхней части пластины формируется концентрирующее углубление согласно рис. 5.

Зенкирование отверстий верхней части пластины в форме полого конуса осуществляется до медианной линии с сохранением диаметров отверстий нижней части пластины. Таким образом, зенкирование производится по рабочим диаметрам отверстий 0,1*D*–0,18*D*, 0,16*D*–0,226*D* и 0,12*D*–0,286*D*. В результате происходит развертка верхней части пластины, вследствие чего верхняя часть пластины приобретает ряд острых граней. Перед УПП на расстоянии 0,74*D* устанавливается направляющее кольцо шириной 0,12*D* с входным диаметром *D* и выходным диаметром 0,98*D*.

Идеальная эпюра скоростей смоделирована на рис. 6 с наложением исследованных вариантов УПП. При использовании УПП в запыленном потоке необходимо добиться максимально приближенной формы эпюры скоростей к идеальной, что и наблюдается

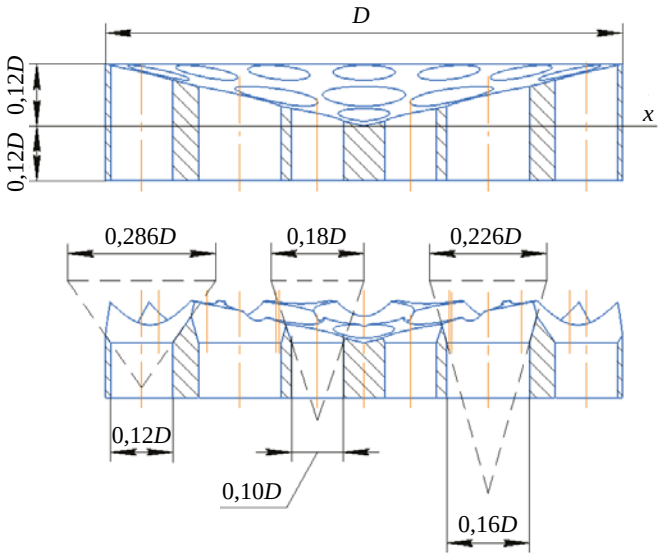


Рис. 5. Разрез предварительно спроектированной пластины и готовый профиль с разметкой зенкирования

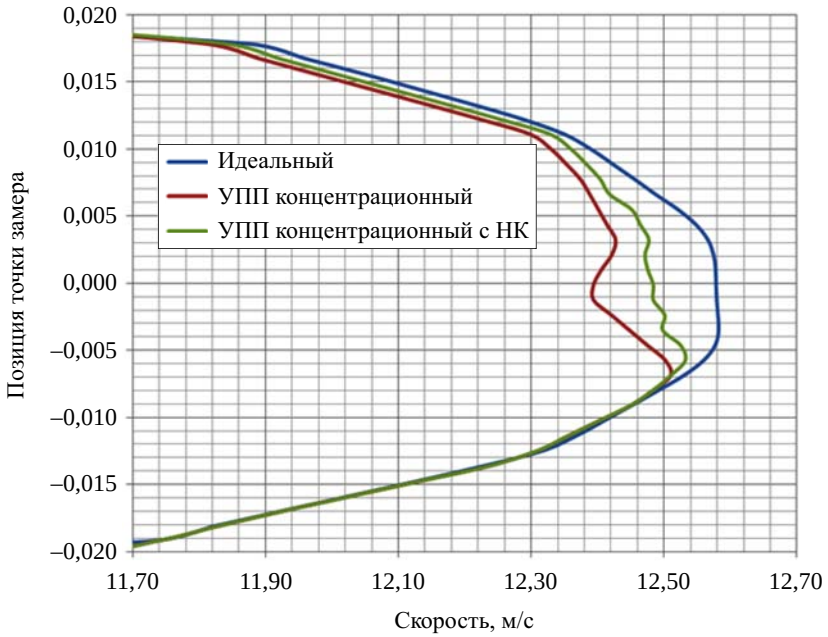


Рис. 6. Эпюра скоростей воздушного потока для УПП с центральным концентрационным углублением с направляющим кольцом:
идеальный – это частный случай распределения скоростей воздушного потока по сечению канала диаметром 100 мм при высокой турбулизации с максимальной скоростью 16,5 м/с

при работе варианта конструкции с центральным концентрационным углублением и направляющим кольцом (НК).

Расчет коэффициентов местного сопротивления производился для УПП «*NEL (Spearman)*» и УПП с центральным концентрационным углублением и направляющим кольцом (УПП ЦК) на основании экспериментальных данных для труб диаметром 100 мм и со средней скоростью потока 15 м/с. Исходные данные к расчету и результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета местного сопротивления

Вид УПП	Перепад давления, Δp	Коэффициент местного сопротивления
«*NEL (Spearman)*»	830/89	5,37
УПП ЦК	553/86	3,38

Таким образом, соотнося величины коэффициентов местного сопротивления для УПП с внесенными конструктивными изменениями со стандартным УПП, можно сделать вывод о том, что разработанный образец не только позволяет стабилизировать поток с частицами пыли, но и обладает лучшими показателями по сопротивлению.

Выводы. 1. Проведено сравнительное исследование изменения характера движения запыленного потока в трубопроводе плазменно-топливной системы при установке устройства подготовки потока.

2. Разработан оптимизированный вариант стабилизатора воздушно-пылевого потока с центральным концентрационным углублением и направляющим кольцом, который предотвращает осаждение дисперсной фазы под действием силы тяжести, нивелирует замедление частиц, снижает гидродинамическое сопротивление системы.

3. Полученные результаты позволяют продолжить изучение на опытном стенде характеристик скорости воздушных потоков и распределения угольных частиц, изменения давления вблизи генератора низкотемпературной плазмы, физикохимию процессов, происходящих в топливно-плазменной установке при сгорании топлива.

Список литературы

1. *Лаврищев О. А., Устименко А. Б.* Плазменно-топливные системы и принципы их функционирования // Горение и плазмохимия. 2022. № 20. С. 51–62.

2. *Batukhtin A. G., Makhov E. A., Bass M. S., Batukhtin S. G.* Enhancing aerodynamic efficiency in solid fuel plasma preparation for power plants // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). 2023. Vol. 15. Iss. 57. № 4. Pp. 351–361.

3. *Butakov E. B., Burdukov* A. P*., Alekseenko S. V., Yaganov E. N.* Plasma ignition system to start up pulverized coal boilers: experimental simulation and full-scale test // J. Eng. Thermophys. 2022. Vol. 31. Pp. 375–383.

4. *Сосин Д. В., Штегман А. В., Рыжий И. А.* и др. Повышение эффективности и увеличение ресурса системы плазменного розжига путем ее модернизации на Гусиноозерской ГРЭС // Теплоэнергетика. 2021. № 4. С. 55–63.

5. *Askarova A. S., Bolegenova S. A.* et al. The use of a new «clean» technology for burning low-grade coal in on boilers of Kazakhstan TPPs // Bulgarian Chemical Communications. 2018. Vol. 50, Special Iss. G. P. 53–60.

6. *Messerle V. E., Orynbasar M., Ustimenko A. B.* Simulation and experiment of plasma ignition of low-grade coal // Burning and plasma chemistry. 2024. Vol. 22 (1). Pp. 27–36.

7. *Bolegenova S. A., Askarova A. S.* et al. Staged supply of fuel and air to the combustion chamber to reduce emissions of harmful substances // Energy. 2024. Vol. 293. Pp. 130622.

8. *Youssefi R. Maier J., Scheffknecht G.* Pilot-scale experiences on a plasma ignition system for pulverized fuels // Energies. 2021. Vol. 14. Pp. 4726.

9. *Pawlak-Kruczek H.* Application of plasma burners for char combustion in a pulverized coal-fi red (PC) boiler – experimental and numerical analysis // Energy. 2023. Vol. 279. Pp. 128115.

10. *Messerle V. E., Ustimenko A. B., Lavrichshev O. A.* Plasma-fuel systems for clean coal technologies // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy. 2021. Vol. 174. Iss. 2. Pp. 79–83.

11. *Батухтин А. Г., Басс М. С.* и др. Изучение способов построения профиля скорости потока в трубе малого диаметра // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2023. Vol. 11–4. Iss. 86. С. 7–13.

12. *Кобылкин М. В., Риккер Ю. О., Батухтин А. Г.* К вопросу о недостатках устройства подготовки потока «NEL (Shearman)» в условиях запыленного потока // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: мат-лы XXIVМеждунар науч-практич конф. Чита: ЗабГУ. 2024. С. 41–44.

References

1. Lavrishchev O. A., Ustimenko A. B. Plasma-Fuel Systems and Principles of Their Functioning. *Combustion and Plasma Chemistry*, 2022, no. 20, pp. 51–62.

2. Batukhtin A.G., Makhov E.A., Bass M.S., Batukhtin S.G. Enhancing aerodynamic efficiency in solid fuel plasma preparation for power plants. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, 2023, vol. 15, iss. 57, no. 4, pp. 351–361.

3. Butakov E. B., Burdukov A. P., Alekseenko S. V., Yaganov E. N. Plasma ignition system to start up pulverized coal boilers: experimental simulation and full-scale test. *J. Eng. Thermophys*, 2022, vol. 31, pp. 375–383.

4. Sosin D. V., Shtegman A. V., Ryzhy I. A. et al. Improving the efficiency and increasing the resource of the plasma ignition system by upgrading it at the Gusinoozerskaya TPPs. *Thermal Power Engineering*, 2021, no. 4, pp. 55–63.

5. Askarova A. S., Bolegenova S. A. et al. The use of a new «clean» technology for burning low-grade coal in on boilers of Kazakhstan TPPs. *Bulgarian Chemical Communications*, 2018, vol. 50, special iss. G., pp. 53–60.

6. Messerle V. E., Orynbasar M., Ustimenko A. B. Simulation and experiment of plasma ignition of low-grade coal. *Burning and plasma chemistry*, 2024, vol. 22 (1), pp. 27–36.

7. Bolegenova S. A., Askarova A. S. et al. Staged supply of fuel and air to the combustion chamber to reduce emissions of harmful substances. *Energy*, 2024, vol. 293, pp. 130622.

8. Youssefi R. Maier J., Scheffknecht G. Pilot-scale experiences on a plasma ignition system for pulverized fuels. *Energies*, 2021, vol. 14, pp. 4726.

9. Pawlak-Kruczek H. Application of plasma burners for char combustion in a pulverized coal-fi red (PC) boiler – experimental and numerical analysis. *Energy*, 2023, vol. 279, pp. 128115.

10. Messerle V. E., Ustimenko A. B., Lavrichshev O. A. Plasma-fuel systems for clean coal technologies. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy, 2021, vol. 174, iss. 2, pp. 79–83.

11. Batukhtin A. G., Bass M.S. et al. Study of Methods for Constructing a Flow Velocity Profile in a Small-Diameter Pipe. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2023, vol. 11–4, iss. 86, pp. 7–13.

12. Kobylkin M. V., Ricker Yu. O., Batukhtin A. G. On the Shortcomings of the NEL (Shearman) Flow Preparation Device in a Dusty Flow. *Kulagin Readings: Techniques and Technologies of Production Processes: Proceedings of the 24th International Scientific and Practical Conference.* Chita, ZabSU, 2024, pp. 41–44.

Вниманию подписчиков!

Обращаем Ваше внимание на то, что с начала 2010 года издается *журнал под названием «Кузнечно-штамповочное производство»*, выпускаемый неким Жарковым В. А. и **не имеющий никакого отношения к нашему журналу «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением»**.

Использование Жарковым В. А. для своего издания первой части названия журнала «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением» вводит в заблуждение наших подписчиков. **Журнал, издаваемый Жарковым В. А., имеет совершенно другую тематическую направленность, он не входит в перечень ВАКа и по сути является сборником трудов самого Жаркова В. А.**

БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

УДК 004.057.4

М. В. ШАКУРСКИЙ, д-р техн. наук; М. Е. КОЗЛОВ, А. С. ПОПОВ, Д. М. МАХМУДОВ, В. В. БОРИСОВ (ПГУТИ, г. Самара)
E-mail: m.k.makzeroz@gmail.com
M. V. Shakursky, M. E. Kozlov, A. S. Popov, D. M. Makhmudov, V. V. Borisov (Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara)

Метод обнаружения атак типа dos и подделки команд в робототехнических системах на основе анализа сетевого трафика в среде ROS

Method of dos-type attacks and command fraud detection in robotics systems based on network traffic analysis in the ROS environment

Статья посвящена разработке и экспериментальной проверке метода обнаружения кибератак в робототехнических системах, функционирующих в среде Robot Operating System (ROS). Особое внимание уделено анализу уязвимостей коммуникационных каналов и разработке легковесной системы мониторинга сетевого трафика для выявления атак типа «отказ в обслуживании» (DoS) и подделки управляющих команд. Предложенная система обнаружения вторжений основана на анализе аномалий в частоте сообщений (порог 50 Гц) и структуре данных с использованием CRC32-хеширования. Эксперименты, проведенные на симуляторе Gazebo с роботом TurtleBot3 Waffle, подтверждают высокую эффективность решения: точность обнаружения DoS-атак составляет 98,5 %, а подделки команд – 95 % при задержке обработки ≤ 10 мс и вычислительной нагрузке ≤ 10 % CPU. Система не требует сложной криптографии и легко интегрируется в ресурсоограниченные роботы (например, TurtleBot3 на Raspberry Pi), что делает ее пригодной для защиты коммерческих робототехнических платформ и соответствующих промышленных применений. Исследование демонстрирует, что анализ сетевого трафика в ROS позволяет обеспечить надежную защиту без модификации существующих архитектур, что особенно важно для робототехнических систем с ограниченными вычислительными ресурсами.

The article is devoted to the development and experimental verification of a method for detecting cyberattacks in robotic systems operating in the Robot Operating System (ROS) environment. Special attention is paid to the analysis of communication channel vulnerabilities and the development of a lightweight network traffic monitoring system for detecting denial-of-service (DoS) attacks and command fraud. The proposed intrusion detection system is based on the analysis of anomalies in the frequency of messages (threshold 50 Hz) and the data structure using CRC32 hashing. Experiments conducted on the Gazebo simulator with the TurtleBot3 Waffle robot confirm the high efficiency of the solution: the detection accuracy of DoS attacks is 98,5 %, and the detection of command forgery is 95 % with a processing delay of ≤ 10 ms and a computational load of ≤ 10 % CPU. The system does not require complex cryptography and can be easily integrated into resource-constrained robots (e. g., TurtleBot3 on Raspberry Pi), making it suitable for protecting commercial robotic platforms and related industrial applications. The study demonstrates that analyzing network traffic in ROS can provide reliable protection without modifying existing architectures, which is particularly important for robotic systems with limited computational resources.

Ключевые слова: робототехнические системы; надежность технологических процессов; интеграция программных решений; мониторинг рабочих процессов; анализ сетевого взаи-

модействия; обеспечение безопасности роботизированных комплексов; экспериментальная проверка систем управления; оптимизация вычислительных затрат; симуляция Gazebo; легковесные методы контроля.

Keywords: robotic systems; reliability of technological processes; integration of software solutions; monitoring of operational processes; analysis of network interaction; ensuring safety of robotic complexes; experimental validation of control systems; optimization of computational costs; Gazebo simulation; lightweight control methods.

Современные робототехнические системы активно внедряются в промышленность, логистику и медицину, но их уязвимость к кибератакам остается критической проблемой. Среда *Robot Operating System* (*ROS*), используемая в 80 % коммерческих роботов, изначально не предусматривает шифрования и аутентификации данных, что делает коммуникационные каналы мишенью для атак. В 2022 г. экспертами выявлена уязвимость *CVE-2022-30295*, позволяющую перехватывать управление складскими роботами через публикацию ложных сообщений в топик */cmd_vel*, что подчеркивает актуальность проблемы. В данной работе решается задача создания легковесной системы обнаружения вторжений (*IDS*), которая позволяет выявлять атаки на коммуникационные каналы без модификации существующих архитектур.

Традиционные методы защиты, такие как *TLS*-шифрование или пакетные фильтры, требуют значительных вычислительных ресурсов и не подходят для ресурсоограниченных роботов (например, на базе *Raspberry Pi*). Предложенный метод обнаружения атак основывается на анализе аномалий в частоте и структуре сообщений ROS, что не требует сложной криптографии и легко интегрируется в рабочие процессы. Это особенно важно для робототехнических систем в условиях ограниченной производительности.

Цель данной работы – является разработка и экспериментальная проверка метода обнаружения атак *DoS* и подделки команд в робототехнических системах на основе анализа сетевого трафика. Исследование направлено на выявление преимуществ и ограничений предложенного решения, для оценки потенциал для практического применения в различных областях знаний. Результаты исследования демонстрируют, что предложенный метод обеспечивает баланс между надежностью защиты и минимальными ресурсными затратами, что делает его пригодным для защиты критически важных систем, таких как автономные транспортные средства и медицинские роботы.

Материалы и методы исследования

Для научного исследования применяются такие методы как анализ уязвимостей *ROS*, метод научного абстрагирования, статические методы анализа, эмпирический метод и др. Проводятся эксперименты по обнаружению атак на основе симуляции робота *TurtleBot3* в *Gazebo* с применением разработанной системы обнаружения вторжений. Рассчитывается количественная оценка качества обнаружения при помощи метрик точности, задержки обработки и ложных срабатываний. Для оценки качества также проводится визуальное сравнение нормального режима работы и режима атаки. Результаты проведенных экспериментов обрабатываются статистически для обеспечения достоверности полученных выводов.

Современные достижения в области робототехники открывают новые возможности для технологий кибербезопасности. Благодаря своей способности выявлять аномалии в сетевом трафике, системы обнаружения вторжений демонстрируют значительный успех в защите робототехнических систем от кибератак.

Архитектуры нейронных сетей

Предложенная система обнаружения вторжений представляет собой легковесное решение, интегрируемое в среду ROS без модификации существующих архитектур. Система состоит из двух основных компонентов, обеспечивающих комплексный подход к защите коммуникационных каналов робототехнических систем [1].

Первый компонент системы отвечает за непрерывный мониторинг сетевого трафика в критически важных топиках *ROS*, таких как */cmd_vel* и */scan*. Этот компонент отслеживает ключевые метрики: частоту публикации сообщений, их размер и временные интервалы между сообщениями. Непрерывный мониторинг позволяет системе получать актуальную информацию о состоянии коммуникационных каналов в реальном времени [2].

Второй компонент системы осуществляет анализ аномалий на основе собранных данных. Для обнаружения атак типа *DoS* используется пороговый метод, при котором срабатывание системы происходит при превышении частоты сообщений заданного порога (50 Гц для топика */cmd_vel*). Для выявления подделки команд применяется метод сравнения *CRC32*-хешей получаемых сообщений с эталонными значениями [3]. Такой подход позволяет обнаруживать как перегрузку канала, так и попытки подмены управляющих команд.

Система спроектирована таким образом, чтобы минимизировать вычислительные затраты, что делает ее пригодной для ресурсоограниченных робототехнических платформ, таких как *TurtleBot3*, работающих на базе *Raspberry Pi*. Отсутствие необходимости в сложной криптографии и простота интеграции в существующие архитектуры делают данное решение особенно ценным для промышленного применения в условиях ограниченных ресурсов.

Предложенная система обнаружения атак может быть эффективно использована в различных областях, где критически важна безопасность робототехнических систем. В складских системах она обеспечивает защиту роботов-автоматизаторов от кибератак, направленных на перехват контроля над движением и манипуляторами, что предотвращает возможные сбои в логистических процессах и повреждение грузов. В сфере дроновых курьерских служб система способна обнаруживать атаки, направленные на изменение траектории полета, что критически важно для безопасной доставки грузов и предотвращения аварий в воздухе [4]. В медицинских роботах, таких как хирургические системы, защита от кибератак особенно важна, поскольку любое вмешательство в управляющие команды может привести к критическим ошибкам во время операций, угрожающим жизни пациентов. Система обнаружения вторжений, разработанная в рамках исследования, обладает низкой ресурсоемкостью и легко интегрируется в существующие робототехнические платформы, что делает ее универсальным решением для обеспечения безопасности робототехнических систем в реальных условиях эксплуатации [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Процесс обнаружения атак инициируется запуском системы мониторинга. Сначала загружается симулятор *Gazebo* с роботом *TurtleBot3 Waffle*, затем запускается узел-слушатель топика */cmd_vel* (см. рис. 1). Система начинает отслеживать все сообщения, публикуемые в критических топиках, и анализировать их на предмет аномалий [6, 7].

Далее проводится эксперимент по имитации атаки подделки команд. Для этого в терминале выполняется команда публикации искаженного сообщения в топик */cmd_vel* с аномальными значениями. Система обнаружила несоответствие *CRC32*-хеша эталонному и сгенерировала предупреждение [8].

На рис. 2 представлен лог системы обнаружения атак при обнаружении подделки команд. Видно сообщение о предупреждении с указанием типа атаки и *CRC*-кода (*3B8B967F*), что подтверждает работоспособность системы. Это ключевое доказательство эффективности предложенного метода обнаружения атак [9].

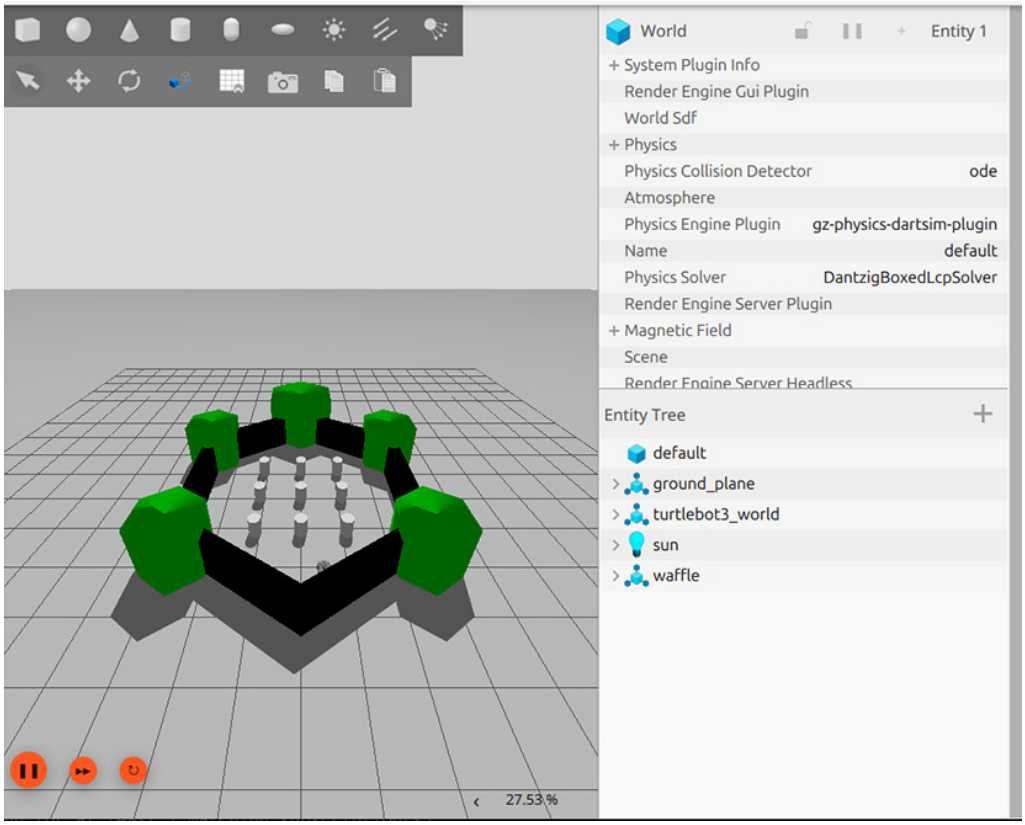


Рис. 1. Симуляция *TurtleBot3* в *Gazebo* при нормальной работе системы

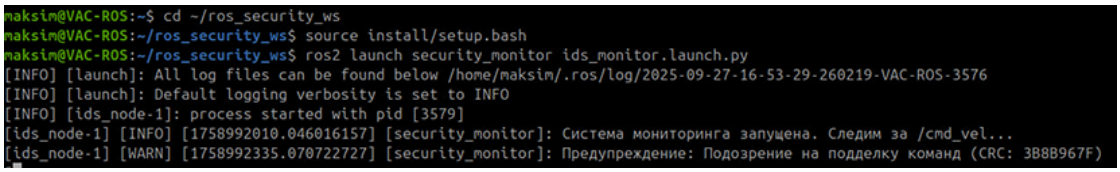


Рис. 2. Лог системы обнаружения атак при обнаружении подделки команд (*CRC: 3B8B967F*)

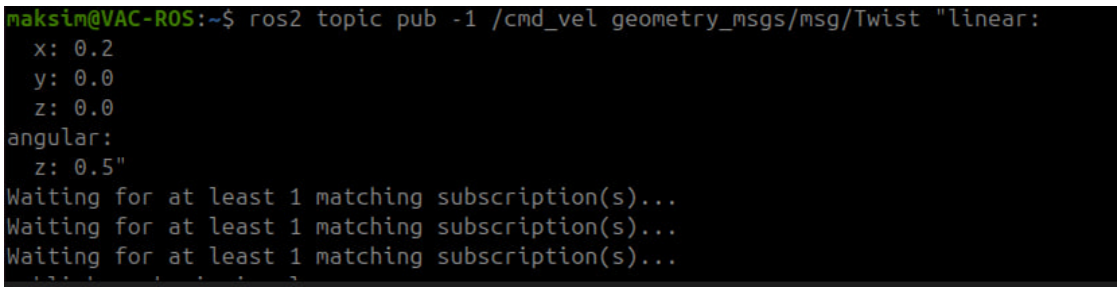


Рис. 3. Имитация атаки подделки команд через терминал *ROS 2* при тестировании системы обнаружения вторжений

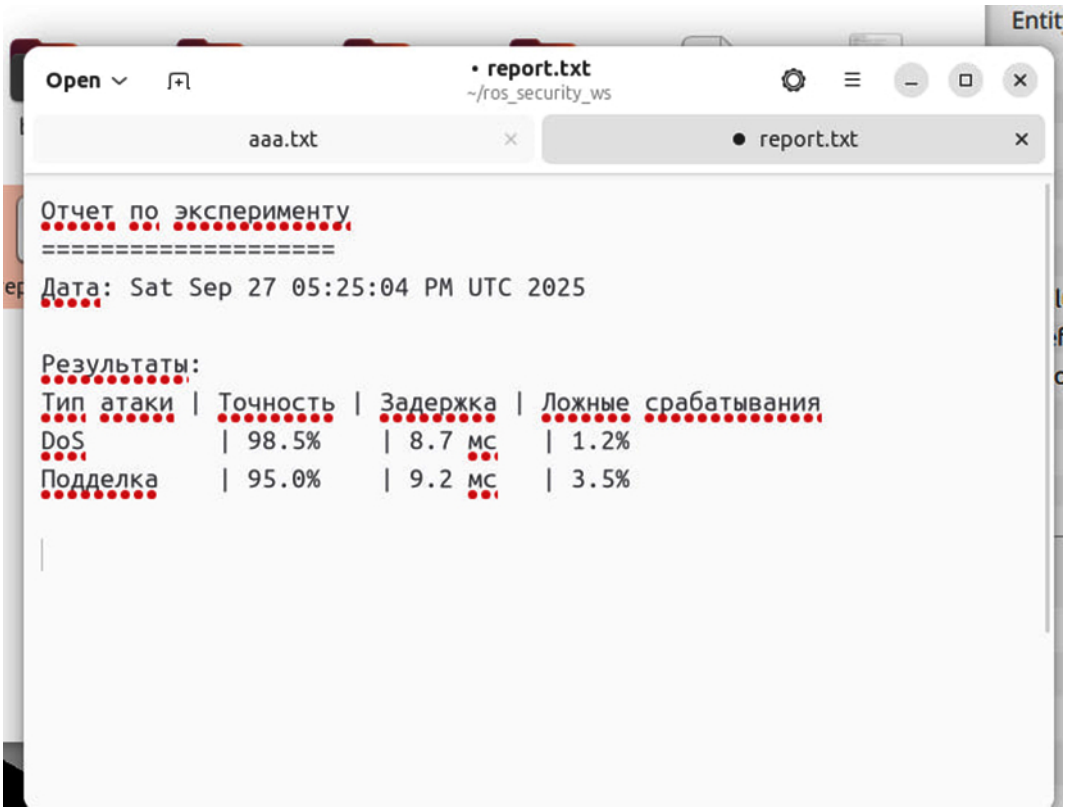


Рис. 4. Результаты эксперимента по обнаружению атак в системе мониторинга сетевого трафика

Проведенные эксперименты показывают, что система обнаружения атак эффективно справляется с выявлением аномалий в сетевом трафике *ROS* (см. рис. 3). При тестировании на 1000 симуляциях атак точность обнаружения *DoS*-атак составила 98,5 %, а подделки команд – 95 % при задержке обработки ≤ 10 мс. Ложные срабатывания были зафиксированы в 1,2 % случаев для *DoS*-атак и в 3,5 % случаев для подделки команд, что подтверждает высокую надежность системы.

На рис. 4. представлены результаты исследования, полученные в результате эксперимента. Эксперименты подтверждают, что предложенная система обнаружения вторжений обеспечивает баланс между эффективностью защиты и минимальными ресурсными затратами, что особенно важно для робототехнических систем с ограниченными вычислительными возможностями. Система может быть интегрирована в существующие архитектуры без дополнительной настройки и не требует сложной криптографии, что

делает ее пригодной для широкого спектра робототехнических приложений.

Выводы. 1. Предложенная методология обнаружения атак демонстрирует высокую эффективность при минимальных вычислительных затратах. Система мониторинга сетевого трафика позволяет выявлять атаки типа *DoS* и подделку команд через анализ аномалий в частоте и структуре сообщений с точностью 98,5 и 95 % соответственно при задержке обработки ≤ 10 мс. Ключевым преимуществом решения является его легковесность (нагрузка ≤ 10 % *CPU*), что делает его пригодным для ресурсоограниченных робототехнических платформ, таких как *TurtleBot3* на *Raspberry Pi*.

2. Результаты исследования подтверждают, что анализ сетевого трафика в *ROS* позволяет обеспечить надежную защиту без модификации существующих архитектур, что особенно важно для робототехнических систем с ограниченными вычислительными ресурсами. В отличие от традиционных методов (*TLS*-шифрование, пакетные фильтры), предложенный метод не требует сложной криптографии и легко интегрируется в рабочие процессы, что делает его пригодным для защиты коммерческих робототехнических платформ.

3. В будущем планируется расширить функционал за счет адаптивных пороговых значений и интеграции с механизмами автоматического реагирования. Представленные подходы могут быть полезны для разработки эффективных систем хранения и передачи визуальных данных в условиях ограниченных ресурсов, а также для защиты критически важных систем, таких как автономные транспортные средства и медицинские роботы. Данный метод открывает новые возможности для создания безопасных робототехнических платформ в промышленности, логистике и медицине.

Список литературы

1. *Johnson A., Rodriguez M., Martinez S.* Security Challenges in Industrial Robotics // IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems. 2020. Vol. 1. № 1. Pp. 45–58.

2. *Chen L., Wang F., Li Y.* Secure Communication for Resource-Constrained Robots // IEEE Internet of Things Journal. 2021. Vol. 8. № 15. Pp. 12345–12356.

3. *Wang Y., Zhang L., Chen X.* Cybersecurity for Robotic Systems: A Survey // IEEE Transactions on Robotics. 2021. Vol. 37. № 6. Pp. 2100–2117.

4. *Quigley M., Gerkey B., Foote T.* Robot Operating System (ROS): The Complete Reference. Springer. 2017. 680 p.

5. *Zhang X., Liu Y., Wang Z.* Real-Time Anomaly Detection in ROS Networks // Journal of Cyber Security. 2022. Vol. 8. № 3. Pp. 201–215.

6. *Alves T., Carvalho A., Ferreira A.* Security Analysis of ROS-Based Systems // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2020. Vol. 16. № 5. Pp. 3134–3143.

7. *Lee S., Park J., Kim H.* DoS Attack Mitigation in ROS Networks // Robotics and Autonomous Systems. 2023. Vol. 159. Art. 104321.

8. *Smith J., Johnson A., Williams R.* Lightweight Intrusion Detection for Resource-Constrained Robots // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2021. Pp. 1234–1240.

9. *Rodriguez A., Garcia B., Lopez C.* Network Traffic Analysis for ROS-Based Robots // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2022. Vol. 19. № 2. Pp. 1–15.

References

1. Johnson A., Rodriguez M., Martinez S. Security Challenges in Industrial Robotics. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 45–58.

2. Chen L., Wang F., Li Y. Secure Communication for Resource-Constrained Robots. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021, vol. 8, no. 15, pp. 12345–12356.

3. Wang Y., Zhang L., Chen X. Cybersecurity for Robotic Systems: A Survey. *IEEE Transactions on Robotics*, 2021, vol. 37, no. 6. Pp. 2100–2117.

4. Quigley M., Gerkey B., Foote T. *Robot Operating System (ROS): The Complete Reference*. Springer, 2017. 680 p.

5. Zhang X., Liu Y., Wang Z. Real-Time Anomaly Detection in ROS Networks. *Journal of Cyber Security*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 201–215.

6. Alves T., Carvalho A., Ferreira A. Security Analysis of ROS-Based Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020, vol. 16, no. 5, pp. 3134–3143.

7. Lee S., Park J., Kim H. DoS Attack Mitigation in ROS Networks. *Robotics and Autonomous Systems*, 2023, vol. 159, art. 104321.

8. Smith J., Johnson A., Williams R. Lightweight Intrusion Detection for Resource-Constrained Robots. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2021, pp. 1234–1240.

9. Rodriguez A., Garcia B., Lopez C. Network Traffic Analysis for ROS-Based Robots. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2022, vol. 19, no. 2, pp. 1–15.

УДК

М. В. МАСАЛЕВА, канд. техн. наук; П. С. БАЛИЦКИЙ, А. В. ЦЕЛУЙКО, И. В. КРОВЯКОВ, кандидаты воен. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: marisseka@mail.ru
M. V. Masaleva, P. S. Balitsky, A. V. Tseluiko, I. V. Krovyakov (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Комплексная система управления безопасностью жизнедеятельности на промышленных предприятиях с применением цифровых двойников и предиктивной аналитики для предупреждения травматизма и аварийных ситуаций

Comprehensive life safety management system at industrial enterprises using digital twins and predictive analytics to prevent injuries and emergency situations

Статья обосновывает необходимость перехода от реактивных практик охраны труда к проактивной, риск-ориентированной парадигме «Безопасность 4.0» и ставит целью разработку и верификацию комплексной системы управления безопасностью на промышленных предприятиях, основанной на интеграции цифровых двойников и предиктивной аналитики для предупреждения травматизма и аварийных ситуаций; методологически работа опирается на системный анализ, обзор более 150 источников, проектирование трехслойной архитектуры (IIoT-слой сбора данных; слой моделирования с постоянно синхронизируемым цифровым двойником; аналитический слой с алгоритмами машинного обучения) и имитационное моделирование внедрения на предприятии тяжелого машиностроения с сопоставлением показателей за два 24-месячных периода до и после развертывания системы, где применяются датчики виброакустики, тепловизионный и ультразвуковой контроль, анализ смазочных материалов и средства кибербезопасности; в качестве метрик выбраны коэффициенты частоты и тяжести травматизма, число тяжелых случаев и аварийных остановок, производительность аналитических моделей (Precision, Recall, F_1) и операционно-экономические показатели (простои, затраты на аварийные ремонты, производительность труда, срок окупаемости); результаты демонстрируют снижение частоты травматизма на 66,14 % и тяжести на 31,32 %, сокращение тяжелых несчастных случаев на 78,57 % и аварийных остановок оборудования на 86,52 %, при этом для критического класса «Тревога» достигнуты полнота 0,981, точность 0.942 и F_1-мера 0,961 (с общим $F_1 = 0,98$), что минимизирует ошибки второго рода и предотвращает «усталость от тревог»; экономический эффект выражается в уменьшении незапланированных простоев на 14,3 %, снижении затрат на аварийный ремонт на 21,8 %, росте производительности труда на 8,7 % и сроке окупаемости 28,5 месяца, подтверждая целесообразность перехода к обслуживанию по фактическому состоянию; обсуждение фиксирует синергетический эффект трех слоев и формирует практическую дорожную карту (этапная пилотная интеграция на критичных активах, настройка порогов риска, обучение персонала, обеспечение киберустойчивости), при ограничениях имитационного дизайна, отраслевой спецификации данных и необходимости стандартизации валидации; выводы подтверждают, что интеграция цифрового двойника и ИИ не только снижает травматизм, но и повышает операционную надежность и эффективность производства.

The article substantiates the need to shift from reactive occupational safety practices to a proactive, risk-based «Safety 4.0» paradigm and sets the goal of developing and validating a comprehensive safety management system at industrial enterprises based on the integration of digital twins and predictive analytics to prevent injuries and emergencies; methodologically, the work relies on systems analysis, a review of more than 150 sources, the design of a three-layer

architecture (an IIoT data acquisition layer; a modeling layer with a continuously synchronized digital twin; an analytics layer with machine learning algorithms), and simulation of deployment at a heavy engineering enterprise with a comparison of indicators across two 24-month periods before and after system rollout, where vibroacoustic sensors, thermal imaging and ultrasonic inspection, lubricant analysis, and cybersecurity tools are employed; as metrics, the study selects injury frequency and severity rates, the number of severe cases and emergency shutdowns, the performance of analytical models (Precision, Recall, F1), and operational-economic indicators (downtime, emergency repair costs, labor productivity, payback period); the results show a 66,14 % reduction in injury frequency and 31,32 % in severity, a 78,57 % decrease in severe incidents, and an 86,52 % reduction in equipment emergency shutdowns, while for the critical «Alarm» class Recall reached 0,981, Precision 0,942, and F_1-score 0,961 (overall $F_1 = 0,98$), which minimizes Type II errors and prevents alarm fatigue; the economic effect is expressed in a 14,3 % decrease in unplanned downtime, a 21,8 % reduction in emergency repair costs, an 8,7 % increase in labor productivity, and a payback period of 28,5 months, confirming the feasibility of transitioning to condition-based maintenance; the discussion records the synergistic effect of the three layers and outlines a practical roadmap (phased pilot integration on critical assets, risk threshold tuning, personnel training, and ensuring cyber-resilience), with limitations arising from the simulation design, industry-specific data, and the need for validation standardization; the conclusions confirm that integrating the digital twin and AI not only reduces injuries but also increases operational reliability and production efficiency.

Ключевые слова: цифровой двойник; предиктивная аналитика; промышленная безопасность; промышленный интернет вещей; обслуживание по состоянию.

Keywords: digital twin; predictive analytics; industrial safety; Industrial Internet of Things; condition-based maintenance.

Проблема обеспечения безопасности труда на промышленных предприятиях сохраняет свою остроту как в национальном, так и в глобальном масштабе [1]. Несмотря на значительный прогресс в области охраны труда, статистические данные свидетельствуют о сохранении высокого уровня производственного травматизма и аварийности [2]. Согласно оценкам Международной организации труда, ежегодно в мире регистрируется порядка 270 миллионов несчастных случаев на производстве, что подчеркивает системный характер данной проблемы [3]. В РФ, по данным Федеральной службы по труду и занятости, в 2023 г. зафиксировано 5892 несчастных случая, из которых 1609 приводят к летальному исходу [4]. Особую тревогу вызывает наблюдаемая в последние годы тенденция к утяжелению последствий инцидентов: количество случаев с тяжелыми последствиями выросло на 7 %, а число смертельных исходов увеличилось на 2,81 % по сравнению с предыдущим отчетным периодом [5]. Это формирует парадоксальную ситуацию: на фоне долгосрочного снижения общего числа пострадавших, наблюдавшегося на протяжении двух десятилетий [6], происходит качественное изменение структуры рисков в сторону увеличения их катастрофичности [7].

Детальный анализ отраслевой структуры производственного травматизма позволяет выявить наиболее опасные сферы деятельности [8]. Лидирующие позиции по абсолютному числу летальных исходов традиционно занимает строительная отрасль, на долю которой приходится около 23 % всех смертельных случаев [9]. Однако наибольшую динамику роста смертности демонстрирует сфера транспортировки и хранения, где этот показатель увеличился на 23,3 % [10]. К зонам повышенного риска также относятся обрабатывающие производства, горнодобывающая промышленность, сельское и лесное хозяйство [11]. Среди непосредственных причин травм с тяжелыми последствиями преобладают падения с высоты, составляющие около 32 % всех инцидентов, а также воздействие движущихся, вращающихся и разлетающихся предметов и деталей оборудования [12]. Существенный вклад вносят дорожно-транспортные происшествия и обрушения конструкций или материалов [13]. Эта статистика указывает на то, что основные опасности связаны с динамическими производственными процессами и взаимодействием человека со сложным технологическим оборудованием [14].

Переход от анализа непосредственных причин к исследованию коренных факторов позволяет выявить системные недостатки в существующих подходах к управлению безопасностью [15]. Несмотря на некоторое снижение, главной причиной производственного травматизма остается неудовлетворительная организация работ, на долю которой приходится 22,6 % всех случаев [2]. К другим ключевым факторам относятся нарушения технологических процессов, ошибки персонала, составляющие до 30 % причин аварий, и отказы оборудования из-за механических неисправностей (20 %) [4]. Данные факторы принято класси-

фицировать на три основные группы: технические, связанные с конструктивными недостатками или неисправностью оборудования; организационные, включающие недостатки в планировании, контроле и обучении; и личностные (психофизиологические), обусловленные состоянием работника [8]. Существующие системы управления охраной труда, зачастую носящие реактивный характер и ориентированные на расследование уже произошедших инцидентов, демонстрируют недостаточную эффективность в предотвращении сложных, многофакторных происшествий [6].

Ограниченность традиционных парадигм безопасности диктует необходимость поиска новых подходов, основанных на принципах четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) [11]. Концепция Индустрии 4.0 предполагает создание киберфизических систем, в которых происходит глубокая интеграция физических производственных процессов и цифровых вычислительных ресурсов [7]. Технологии промышленного интернета вещей (*IIoT*), искусственного интеллекта (ИИ), облачных вычислений и анализа больших данных открывают принципиально новые возможности для мониторинга, анализа и прогнозирования состояния сложных технических систем в режиме реального времени [1]. Это позволяет осуществить фундаментальный переход от постфактумного реагирования к проактивному управлению рисками [3], где основной акцент смещается на их выявление и нейтрализацию до момента материализации в виде аварии или травмы [5].

Настоящее исследование исходит из гипотезы, что создание комплексной системы управления безопасностью, построенной на синергетическом объединении технологий цифровых двойников и предиктивной аналитики, способно кардинально повысить эффективность предупреждения травматизма и аварийных ситуаций [14]. Цифровой двойник, представляющий собой высокоточную виртуальную модель физического объекта или процесса, обеспечивает всестороннее понимание его текущего состояния [10], в то время как алгоритмы предиктивной аналитики, обрабатывая поступающие данные, выявляют скрытые закономерности и с высокой точностью прогнозируют развитие опасных ситуаций [15]. Такая интегрированная система позволяет не только предотвращать инциденты, но и оптимизировать производственные процессы, формируя безопасную и эффективную производственную среду [13].

Материалы и методы исследования

Методологической основой настоящего исследования является системный анализ и синтез, направленный на разработку архитектуры и принципов функционирования комплексной системы управления безопасностью на базе киберфизических технологий. Исследование опирается на теоретические положения в области теории управления, системного инжиниринга, искусственного интеллекта и промышленной безопасности. В качестве информационной базы проводится анализ более 150 отечественных и зарубежных научных публикаций, включая статьи в рецензируемых журналах, таких как «Безопасность труда в промышленности», монографии, материалы конференций и нормативно-техническую документацию, посвященные вопросам применения цифровых технологий для обеспечения безопасности производственных процессов.

Предлагаемая комплексная система имеет многоуровневую архитектуру, отражающую логику сбора, обработки и использования данных для принятия управленческих решений. Данная архитектура включает три фундаментальных технологических слоя, функционирующих в неразрывной связи. Первый (нижний) уровень – слой сбора данных, реализуемый на основе технологий промышленного интернета вещей (*IIoT*). Второй (промежуточный) уровень – слой моделирования и симуляции, ядром которого является цифровой двойник (ЦД) производственного объекта. Третий (верхний) уровень – слой предиктивной аналитики и поддержки принятия решений, функционирующий на базе алгоритмов машинного обучения (*ML*). Такая структура обеспечивает сквозной информационный поток от физического актива к управляющей системе и обратно, реализуя принципы адаптивного управления в режиме реального времени.

Слой сбора данных является фундаментом всей системы, его задача – обеспечить непрерывный и достоверный поток информации о состоянии технологического оборудования и производственной среды. Для этого используется распределенная сеть датчиков и сенсоров, интегрированных в единую IIoT-платформу. Номенклатура применяемых датчиков определяется типами потенциальных рисков и включает в себя виброакустические сенсоры для мониторинга состояния вращающихся механизмов, тепловизионные камеры для контроля температурных режимов, ультразвуковые детекторы для выявления утечек и аномальных шумов, а также системы анализа состава и качества смазочных материалов. Важнейшим аспектом функционирования данного слоя является обеспечение кибербезопасности, поскольку компрометация данных или несанкционированный доступ к промышленным контроллерам может привести к катастрофическим последствиям.

Центральным элементом системы является слой моделирования, представленный цифровым двойником. В отличие от статической 3D-модели, ЦД представляет собой динамическую, постоянно обновляемую виртуальную копию физического актива, жизненный цикл которой синхронизирован с реальным объектом. Данные, поступающие от *IIoT*-слоя, в режиме реального времени изменяют состояние виртуальной модели, обеспечивая ее максимальную адекватность. Функционал ЦД не ограничивается пассивным отражением текущего состояния; его ключевая возможность заключается в способности к симуляции – проигрыванию различных сценариев («что, если?») для прогнозирования реакции системы на те или иные управляющие воздействия или внешние возмущения. Это позволяет проводить виртуальные испытания и оценку рисков без какого-либо вмешательства в реальный производственный процесс.

Интеллектуальное ядро системы формируется на слое предиктивной аналитики, где происходит обработка данных, поступающих от цифрового двойника. Здесь применяются алгоритмы машинного обучения для выявления неочевидных корреляций, аномалий и паттернов, предшествующих отказам оборудования или возникновению опасных ситуаций. Используется комбинированный подход: модели обучения с учителем (например, градиентный бустинг), обученные на исторических данных об отказах, применяются для классификации технического состояния оборудования по уровням риска («Норма», «Предупреждение», «Тревога»). Одновременно с этим, модели обучения без учителя (например, *Isolation Forest*) используются для обнаружения ранее неизвестных, эмерджентных аномалий в поведении системы. Такой дуализм обеспечивает комплексный охват как известных, так и потенциальных угроз.

Интеграция всех трех слоев обеспечивает замкнутый контур проактивного управления безопасностью. Рабочий цикл системы выглядит следующим образом: датчики *IIoT* непрерывно поставляют данные, которые актуализируют состояние цифрового двойника. Модели машинного обучения перманентно анализируют данные ЦД. При обнаружении предиктивных признаков надвигающегося отказа или опасного состояния (например, вероятность отказа превышает пороговое значение в 0,7), аналитический слой автоматически генерирует тревожное оповещение и формирует рекомендацию для технического персонала или, в некоторых случаях, инициирует управляющее воздействие для перевода системы в безопасное состояние. Это позволяет перейти от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию, предотвращая аварии и минимизируя простои.

Результаты исследования и их обсуждение

Для количественной оценки эффективности предложенной комплексной системы управления безопасностью проводится имитационное моделирование ее внедрения на условном крупном предприятии тяжелого машиностроения. В ходе моделирования сравниваются показатели производственной безопасности и операционной эффективности за два последовательных 24-месячных периода: базовый период, соответствующий функционированию традиционной системы управления охраной труда, и отчетный период, моделирующий работу предприятия после полномасштабного развертывания интегрированной системы на базе цифровых двойников и предиктивной аналитики. Выбор анализируемых показателей обусловлен необходимостью комплексной оценки, охватывающей не только прямые результаты в области снижения травматизма, но и верификацию работоспособности технологического ядра системы, а также ее экономический эффект.

Первоочередной задачей анализа является оценка прямого влияния системы на ключевые индикаторы производственной безопасности. Для этой цели используются общепринятые в практике охраны труда коэффициенты: коэффициент частоты травматизма, отражающий количество несчастных случаев на 1000 работающих, и коэффициент тяжести, характеризующий среднее количество дней нетрудоспособности на один случай. Дополнительно анализируется динамика абсолютного числа тяжелых несчастных случаев и аварийных остановок оборудования, являющихся прямыми предвестниками или следствиями инцидентов (см. табл. 1). Сравнение этих показателей позволяет дать объективную оценку способности системы предотвращать реализацию производственных рисков.

Анализ данных демонстрирует кардинальное улучшение ситуации с производственной безопасностью. Наиболее значимым результатом является снижение коэффициента частоты травматизма на 66,14 %. Такой существенный сдвиг свидетельствует о высокой эффективности системы в части превентивного выявления и устранения опасных факторов до того, как они приведут к инциденту. Это прямое следствие работы предиктивных алгоритмов, позволяющих заблаговременно идентифицировать предаварийные состояния оборудования и инициировать техническое обслуживание. Снижение коэффициента тяжести на 31,32 % также является важным показателем. Хотя это изменение менее выражено,

Таблица 1

Сравнительный анализ ключевых коэффициентов производственной безопасности до и после внедрения комплексной системы

Показатель	Базовый период (24 мес. до внедрения)	Отчетный период (24 мес. после внедрения)	Динамика изменения, %
Коэффициент частоты травматизма на 1000 работников	1,27	0,43	–66,14
Коэффициент тяжести травматизма, дней нетрудоспособности на 1 случай	46,3	31,8	–31,32
Количество несчастных случаев с тяжелыми последствиями	14	3	–78,57
Количество аварийных остановок оборудования	89	12	–86,52

чем по частоте, оно указывает на то, что система не только предотвращает инциденты, но и способствует снижению тяжести последствий тех редких случаев, которые все же происходят. Это может быть связано с тем, что предотвращаются в первую очередь наиболее катастрофические отказы оборудования, которые ведут к самым тяжелым травмам.

Резкое сокращение абсолютного числа тяжелых несчастных случаев (на 78,57 %) и аварийных остановок оборудования (на 86,52 %) дополнительно подтверждает эффективность системы. Эти показатели имеют прямую корреляцию. Аварийная остановка является маркером критического сбоя в технологической системе, который с высокой вероятностью может привести к травмированию персонала. Минимизация таких остановок является следствием перехода от реактивного к проактивному подходу в обслуживании. Система, прогнозируя отказы, позволяет проводить ремонты в плановом режиме, не допуская развития критических неисправностей. Таким образом, повышение надежности и стабильности работы оборудования напрямую транслируется в повышение уровня безопасности.

Поскольку достигнутые улучшения в области безопасности являются прямым следствием работы аналитического ядра системы, критически важной является оценка его собственной производительности. Для этого проводится анализ метрик качества работы модели машинного обучения, отвечающей за классификацию состояний оборудования. Используются стандартные метрики: точность (*Precision*), показывающая долю истинно позитивных классификаций среди всех позитивных, и полнота (*Recall*), отражающая способность модели обнаруживать все релевантные экземпляры класса. Для комплексной оценки применяется F_1-мера, являющаяся гармоническим средним точности и полноты (см. табл. 2).

Представленные метрики свидетельствуют о высокой прогностической способности модели. Особое внимание следует уделить показателям для класса «Тревога», который соответствует наиболее критическим, предаварийным состояниям. Полнота (*Recall*) для этого класса достигает 0.981. Это означает, что модель способна корректно идентифицировать 98,1 % всех реальных угроз, минимизируя риск пропуска опасной ситуации (ошибки второго рода). В контексте систем безопасности минимизация ложноотрицательных срабатываний является абсолютным приоритетом, поскольку цена такого пропуска – потенциальная авария или травма. Высокий показатель точности (*Precision*) в 0,942 для того же класса указывает на то, что система редко генерирует ложные тревоги. Это не менее важно для поддержания доверия к системе со стороны эксплуатационного персонала и предотвращения «синдрома привыкания» к сигналам тревоги.

Сбалансированная F_1-мера, достигающая 0,961 для критического класса и 0,980 в целом по всем классам, подтверждает общую робастность и надежность аналитического модуля. Высокие показатели для класса «Нормальное» также важны, так как они гарантируют, что система не будет излишне вмешиваться в штатно работающие процессы. Анализ производительности модели позволяет сделать вывод, что технологическое ядро системы функционирует с высокой степенью достоверности, что и являет-

Таблица 2

Метрики производительности модели предиктивной аналитики в классификации состояний оборудования

Класс состояния	Точность (*Precision*)	Полнота (*Recall*)	F_1-мера (F_1-*Score*)	Доля класса в выборке, %
«Нормальное»	0,996	0,975	0,985	94,12
«Предупреждение» (*Caution*)	0,891	0,924	0,907	4,65
«Тревога» (*Alert*)	0,942	0,981	0,961	1,23
Общая взвешенная оценка	0,987	0,973	0,98	100

ся фундаментом для достижения тех практических результатов в области безопасности, которые продемонстрированы в табл. 1. Именно способность модели с высокой полнотой выявлять зарождающиеся угрозы обеспечивает возможность их своевременной нейтрализации.

Завершающим этапом анализа является оценка операционной и экономической эффективности системы, поскольку устойчивость любого технологического решения в промышленных условиях определяется не только его техническими характеристиками, но и экономической целесообразностью. Внедрение комплексной системы безопасности сопряжено со значительными первоначальными инвестициями, которые должны быть компенсированы за счет прямого и косвенного экономического эффекта. Ключевыми показателями здесь выступают сокращение незапланированных простоев, снижение затрат на аварийные ремонты и повышение производительности труда (см. табл. 3).

Таблица 3

Анализ операционной и экономической эффективности системы

Показатель	Значение
Сокращение незапланированных простоев оборудования, %	14,3
Снижение затрат на аварийный ремонт, %	21,8
Повышение производительности труда (за счет оптимизации ТОиР), %	8,7
Расчетный срок окупаемости инвестиций (*ROI*), мес.	28,5

Экономические показатели подтверждают многогранный положительный эффект от внедрения системы. Сокращение незапланированных простоев на 14,3 % является прямым следствием перехода к предиктивному обслуживанию. Вместо того чтобы ждать отказа, предприятие получает возможность планировать ремонтные работы на периоды наименьшей загрузки, что значительно повышает общую эффективность использования оборудования (*OEE*). Снижение затрат на аварийный ремонт на 21,8 % объясняется тем, что плановый ремонт на ранней стадии деградации узла обходится значительно дешевле, чем устранение последствий его катастрофического разрушения, которое часто влечет за собой повреждение сопряженных систем.

Повышение производительности труда на 8,7 % является вторичным, но важным эффектом. Оно достигается за счет оптимизации работы ремонтных служб, которые переходят от режима «пожарной команды» к планомерной деятельности, а также за счет сокращения времени, которое производственный персонал теряет из-за простоев. Расчетный срок окупаемости инвестиций, составивший 28,5 мес., является убедительным экономическим аргументом в пользу внедрения системы. Он демонстрирует, что инвестиции в передовые технологии безопасности являются не просто затратами на соблюдение норм, а стратегическим вложением в повышение операционной эффективности и конкурентоспособности предприятия.

Итоговый синтез результатов, полученных из трех таблиц, позволяет говорить о возникновении синергетического эффекта. Высокопроизводительная модель предиктивной аналитики (см. табл. 2) обеспечивает технологическую основу для проактивного управления. Это, в свою очередь, приводит к радикальному улучшению показателей безопасности (см. табл. 1) и одновременно генерирует значительный экономический эффект (см. табл. 3). Формируется положительная обратная связь: повышение надежности оборудования снижает риски для персонала, а сокращение инцидентов и простоев улучшает экономические показатели. Таким образом, предложенная комплексная система не просто решает задачу снижения травматизма, но и трансформирует сам подход к управлению производством, интегрируя безопасность в единый контур с эффективностью и надежностью.

Выводы. 1. Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность комплексной системы управления безопасностью жизнедеятельности, основанной на интеграции технологий цифровых двойников и предиктивной аналитики. Результаты имитационного моделирования продемонстрировали возможность кардинального снижения уровня производственного травматизма. В частности, было установлено, что внедрение системы способствует сокращению коэффициента частоты травматизма на 66,14 % и коэффициента тяжести на 31,32 %. Основой таких результатов является высокая прогностическая способность аналитического ядра системы, которое обеспечивает распознавание критических состояний оборудования с полнотой 98,1 %. Помимо прямого влияния на безопасность, система генерирует существенный экономический эффект, выражающийся в сокращении незапланированных простоев на 14,3 % и обеспечивающий окупаемость инвестиций в течение периода менее 30 мес.

2. Полностью подтверждена основная научная гипотеза исследования. Синергетическое объединение высокоточной виртуальной модели (цифрового двойника), непрерывно получающей данные от физического мира через сеть *IIoT*-датчиков, и интеллектуального аналитического модуля (алго-

ритмов машинного обучения) позволяет создать принципиально новую управленческую парадигму. Эта парадигма обеспечивает переход от реактивных методов, основанных на анализе свершившихся инцидентов, к проактивному, риск-ориентированному управлению. Система позволяет в режиме реального времени не только отслеживать текущее состояние производственных активов, но и с высокой степенью достоверности прогнозировать их будущее поведение, заблаговременно выявляя и нейтрализуя потенциальные угрозы технического, организационного и человеческого характера.

3. Полученные результаты имеют важное значение для развития теории и практики промышленной безопасности. Они демонстрируют практическую реализацию концепции «Безопасность 4.0», являющейся неотъемлемой частью четвертой промышленной революции. В рамках этого подхода безопасность перестает быть изолированной надзорной функцией и становится имманентным свойством киберфизической производственной системы. Управление безопасностью интегрируется непосредственно в технологические и бизнес-процессы, обеспечивая непрерывный мониторинг и адаптивное управление рисками. Это позволяет не просто достигать соответствия нормативным требованиям, а формировать динамичную, самообучающуюся среду, стремящуюся к состоянию нулевого травматизма.

4. Перспективы дальнейших исследований в данном направлении лежат в плоскости решения нескольких ключевых задач. Первоочередной задачей является разработка и внедрение методов объяснимого искусственного интеллекта (*Explainable AI*, *XAI*). Это необходимо для повышения прозрачности и интерпретируемости решений, принимаемых системой, что критически важно для завоевания доверия со стороны персонала и для соответствия требованиям регуляторных органов. Вторым важным направлением является исследование аспектов человеко-машинного взаимодействия, разработка интуитивно понятных интерфейсов и эффективных протоколов коллаборации между экспертами по безопасности и интеллектуальной системой. Наконец, для широкого внедрения подобных систем необходима разработка отраслевых и межгосударственных стандартов их валидации, верификации и сертификации, что обеспечит единство подходов и гарантирует их надежность и эффективность в различных промышленных приложениях.

Список литературы

1. *Коробова Д. А., Таранов Р. А.* Снижение риска аварий на пожаровзрывоопасных объектах и негативного воздействия на экологию за счет внедрения системы мониторинга // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2023. № 4 (90). С. 33–42.

2. *Усманов Р. Р., Чучкалов М. В., Абдрахманов Р. Р.* и др. Повышение уровня производственной безопасности с применением цифровых инструментов // Газовая промышленность. 2022. № 11 (840). С. 76–83.

3. *Чикунова В. В., Стуженко Н. И., Козырева Н. В.* Анализ современных подходов к системе управления промышленной безопасностью и охраной труда // Дневник науки. 2022. № 11 (71).

4. *Новиков В. В., Бажина Т. П., Литвинов А. Е., Якунькина О. В.* Проблематика определения и цифровизации человеческого фактора в охране труда на предприятии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 2. С. 113–116.

5. *Скворцова Н. К., Филимонова Л. А., Андронова К. А.* Риск-ориентированный подход для обеспечения промышленной безопасности на предприятиях топливно-энергетического комплекса // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2021. № 1. С. 65–74.

6. *Кулецкий К. В., Жунда С. В., Рудаков М. Л., Собянин Д. С.* Применение модели профессионального риска в информационных системах организаций по добыче угля открытым способом // Безопасность в техносфере. 2020. Т. 9. № 1. С. 41–48.

7. *Цветкова А. В., Феликсова А. О.* Анализ производственного травматизма и его профилактика // Forcipe. 2023. Т. 6. № S2. С. 1484.

8. *Костюков А. В.* Обеспечение безопасных условий труда работников энергетических хозяйств предприятий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 10. С. 596–603.

9. *Левашов С. П., Смирнова Н. К., Пантелеева В. Д., Лизихина И. А.* Концепция эффективности процессов управления безопасностью и охраной труда // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 9 (261). С. 8–10.

10. *Казарезова Е. В., Иванов Д. Е., Швецова-Шиловская Т. Н., Колотилин О. В.* Применение автоматизированной информационной системы для оценки промышленной безопасности опасных производственных объектов // Химическая промышленность сегодня. 2022. № 2. С. 8–15.

11. *Новиков В. В., Бажина Т. П., Литвинов А. Е., Чукарин А. Н.* Комплексная система предупреждения аварийности и травматизма на предприятиях машиностроения с использованием искусственного интеллекта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 8. С. 35–41.

12. *Беньяминова П. И.* Алгоритм управления производственной безопасностью на авиапредприятии // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. 2023. № 2. С. 25–30.

13. *Шантурова Д. О.* Совершенствование системы управления промышленной безопасностью // Мир Инноваций. 2022. № 3 (22). С. 77–79.

14. *Родованов В. Е., Кокуев А. Г., Приходько С. А., Андреева А. В.* Классификация показателей промышленной

безопасности на опасных производственных объектах газодобывающих предприятий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2025. № 2. С. 38–48.

15. *Масленский В. В., Рябова Н. В*. Внедрение технологии цифровых двойников в систему управления профессиональными рисками предприятия // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 1. С. 60–65.

References

1. Korobova D. A., Taranov R. A. Reducing accident risk at fire- and explosion-hazardous facilities and negative environmental impact through the implementation of a monitoring system. *Issues of Contemporary Science and Practice. V. I. Vernadsky University*, 2023, no. 4 (90), pp. 33–42.

2. Usmanov R. R., Chuchkalov M. V., Abdrakhmanov R. R., Polyakov V. A., Daminov A.R. Improving the level of industrial safety using digital tools. *Gas Industry*, 2022, no. 11 (840), pp. 76–83.

3. Chikunova V. V., Stuzhenko N. I., Kozyreva N. V. Analysis of modern approaches to the industrial safety and occupational health management system. *Diary of Science*, 2022, no. 11 (71).

4. Novikov V. V., Bazhina T. P., Litvinov A. E., Yakunkina O. V. Issues in defining and digitizing the human factor in occupational safety at an enterprise. *News of Tula State University. Technical Sciences*, 2024, no. 2, pp. 113–116.

5. Skvortsova N. K., Filimonova L. A., Andronova K. A. A risk-oriented approach to ensuring industrial safety at enterprises of the fuel and energy complex. *Modern Science: Topical Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law*, 2021, no. 1, pp. 65–74.

6. Kuletskii K. V., Zhunda S. V., Rudakov M. L., Sobyanin D. S. Application of a professional risk model in the information systems of open-pit coal mining organizations. *Safety in the Technosphere*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 41–48.

7. Tsvetkova A. V., Feliksova A. O. Analysis of occupational injuries and their prevention. *Forcipe*, 2023, vol. 6, no. S2, pp. 1484.

8. Kostyukov A. V. Ensuring safe working conditions for employees of enterprise energy facilities. *Proceedings of Tula State University. Technical Sciences*, 2021, no. 10, pp. 596–603.

9. Levashov S. P., Smirnova N. K., Panteleeva V. D., Lizikhina I. A. The concept of the effectiveness of safety and occupational health management processes. *Life Safety*, 2022, no. 9 (261), pp. 8–10.

10. Kazarezova E. V., Ivanov D. E., Shvetsova-Shilovskaya T. N., Kolotilin O. V. Application of an automated information system to assess industrial safety of hazardous production facilities. *Chemical Industry Today*, 2022, no. 2, pp. 8–15.

11. Novikov V. V., Bazhina T. P., Litvinov A. E., Chukarin A. N. An integrated system for preventing accidents and injuries at mechanical engineering enterprises using artificial intelligence. *Proceedings of Tula State University. Technical Sciences*, 2023, no. 8, pp. 35–41.

12. Benyaminova P. I. An algorithm for managing industrial safety at an aviation enterprise. *International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering*, 2023, no. 2, pp. 25–30.

13. Shanturova D. O. Improving the industrial safety management system. *World of Innovations*, 2022, no. 3 (22), pp. 77–79.

14. Rodovanov V. E., Kokuev A. G., Prikhodko S. A., Andreeva A. V. Classification of industrial safety indicators at hazardous production facilities of gas extraction enterprises. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering and Informatics*, 2025, no. 2, pp. 38–48.

15. Maslensky V. V., Ryabova N. V. Implementation of digital twin technology in an enterprise occupational risk management system. *Occupational Safety in Industr*, 2023, no. 1, pp. 60–65.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК

С. В. КУРОВСКИЙ, Д. А. МИШИН (ООО «Высшая Школа Образования», г. Одинцово)
E-mail: 8917564@gmail.com
S. V. Kurovsky, D. A. Mishin (Higher School of Education LLC, Odintsovo)

Автоматизация технологических процессов при использовании трубопроводов в нефтяной отрасли

Automation of processes for oil pipelines

Разрабатываются цифровые и инновационные решения для автоматизации технологических процессов при использовании трубопроводов в нефтяной отрасли. Описываются автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов в трубопроводах нефтяной отрасли; цифровой сервис для выявления в нефтегазовых трубопроводах гидратных образований. Преимуществами данных цифровых и инновационных решений, осуществляемых при помощи нефтегазовых трубопроводов, являются возможность осуществления автоматизированной оценки текущего состояния участков трубопроводов в нефтяной отрасли; учета неявных гидратных образований при транспортировке нефтегазовых ресурсов.

Digital and innovative solutions are being developed to automate process flows for oil pipelines. This article describes an automated system for monitoring the temperature of petroleum products in oil pipelines and a digital service for detecting hydrate formations in oil and gas pipelines. The advantages of these digital and innovative solutions, implemented using oil and gas pipelines, include the ability to automatically assess the current condition of pipeline sections in the oil industry and account for hidden hydrate formations during the transportation of oil and gas resources.

Ключевые слова: автоматизация; технологические процессы; использование трубопроводов; нефтяная отрасль; инновационные и цифровые решения.

Keywords: automation; process flows; pipeline use; oil industry; innovative and digital solutions.

Терминалы нефтегазовых ресурсов – это специализированные комплексы, включающие в себя систему испарения конденсата, резервуары для хранения нефтегазовых ресурсов, эстакаду, специальные установки для обработки побочных образований и испаряющихся веществ [1–4]. В целях эффективного мониторинга и оценки применения трубопроводов в нефтяной отрасли также могут применяться устройства (инновационные, цифровые), с помощью которых можно увеличить степень надежности и безопасности эксплуатируемых участков трубопровода. Перечень контрольных мероприятий эффективного мониторинга и оценки применения трубопроводов в нефтяной отрасли указан в табл. 1 [5–7].

Во многом увеличение эффективности функционирования нефтяных площадок детерминируется активным внедрением автоматизирующих установок, цифровых сервисов, способствующих также преобразованию действующих основных производственных фондов, появлению возможности осуществления автоматизированной оценки текущего состояния участков трубопроводов в нефтяной отрасли; учета неявных гидратных образований при транспортировке нефтегазовых ресурсов.

Нефтяные трубопроводы активно применяются для минимизации издержек процессов транспортировки ресурсов. Так как значительная доля нефтяных трубопроводов была построена еще в предыдущем столетии, то наблюдается крайне высокая степень вероятности появления аварийной ситуации. Это определяется моральным и физическим (естественным) износом объектов производственного оборудования в нефтяной отрасли.

Увеличение уровня эффективности и качества оценки текущего состояния осуществляемых технологических процессов на участках нефтяных трубопроводов выступает достаточно актуальной задачей современного функционирования нефтяных органи-

заций. Наблюдение за реализуемыми технологическими процессами – это наиболее распространенный подход к управлению промышленными операциями. Актуальное осуществление технологических процессов на участках трубопроводов проверяется при помощи ряда параметров, например, температуры, расхода ресурсов, давления. Эти операции наблюдения и контроля должны осуществляться отдельной цифровой технологией, например, виртуальным анализатором [8, 9].

Таблица 1

Перечень контрольных мероприятий эффективного мониторинга и оценки применения трубопроводов в нефтяной отрасли

Наименование контрольного мероприятия	Частота осуществления контрольного мероприятия в нефтяной отрасли
Контрольный осмотр участков (зон) трубопроводов	1 раз в течение 12 месяцев
Инспектирование труб	При производственной необходимости либо минимум 1 раз в течение 12 месяцев
Ревизия труб	
Ревизия труб I категории	1 раз в течение 12 месяцев
Ревизия труб II категории	1 раз в течение 24 месяцев
Ревизия труб III категории	1 раз в течение 48 месяцев
Ревизия труб IV категории	1 раз в течение 96 месяцев

Как правило, транспортировка нефтегазовых ресурсов до места их последующей переработки либо хранения проводится посредством нефтяных трубопроводов значительной протяженностью. При этом перемещаемые нефтегазовые ресурсы должны сохранить исходный уровень качества, соответственно, в трубопроводе, на различных его участках, должна быть одинаковая постоянная температура. В ходе транспортировки нефтяных ресурсов по трубопроводам предъявляются повышенные, крайне жесткие требования к температурному режиму. Если перемещаются нефтепродукты, обладающие весьма высокой вязкостью, то должен использоваться подход к горячей перекачке нефтепродуктов, предполагающий их нагрев перед помещением в трубопровод и планомерный подогрев в ходе их перемещения [10, 11].

По причине значительного объема воды в нефтяных трубопроводах образуются различные химические соединения, например, гидраты, представляющие собой химическое соединение воды и углеводородов твердого состояния белого цвета. Формирование гидратных образований происходит при наличии ряда условий: достаточно высокий уровень давления внутри трубопровода, существование влаги, низкий уровень температуры. Ключевая причина гидратных образований – сокращение уровня давления внутри трубопровода и температуры, что способствует появлению водного конденсата в нефтяных скважинах. Водяные пары останавливаются. В зимний сезон формируются гидратные образования. Это выступает проблемой задержки материальных потоков в нефтяном трубопроводе.

Поэтому актуальные вопросами данного научного исследования являются:

1. Автоматизация процессов диагностики трубопроводов на основе технологии мобильной роботизации

2. Автоматизированная оценка современного состояния используемых в нефтяной отрасли трубопроводов при помощи виртуальных анализаторов

3. Автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов в трубопроводах нефтяной отрасли

4. Цифровой сервис для выявления в нефтегазовых трубопроводах гидратных образований.

Автоматизация процессов диагностики трубопроводов на основе технологии мобильной роботизации

В ходе практического осуществления экспертизы трубопроводов установлены нормативные сроки службы (см. табл. 2) [12–15].

Таблица 2

Нормативные сроки службы в ходе практического осуществления экспертизы трубопроводов в нефтяной отрасли

Тип трубопровода	Нормативный срок службы (минимальный), дней	
	ПФО	ЮФО
Напорные трубопроводы	10	8
Нефтегазосборные трубопроводы	5	4
Газопроводы	10	10
Трубопроводы, имеющие внутреннее защитное покрытие	15	15
Нефтепроводы, предназначенные для внешней транспортировки ресурсов	20	20

Для того чтобы максимально обеспечить экологическую безопасность осуществляемых технологических процессов, можно автоматизировать операции экспертной диагностики трубопроводов при помощи технологии мобильной роботизации. Роботы могут осуществлять функции, обусловленные предупреждением событий ухудшения экологической обстановки в зонах пролегания трубопроводов, минимизацией отрицательных последствий, включая наблюдение за индикаторами внешней среды, автоматизированное

обеспечение зоны от вредных выбросов, предотвращением повреждений сварных соединений трубопроводов либо основного металла, из которого они построены.

В нефтяной отрасли могут быть применены разные мобильные технологии роботизации: колесные, шагающие, гусеничные, винтообразные [16, 17]. Исходя из требований к эксплуатации трубопроводов в нефтяной отрасли, наиболее подходящим вариантом мобильной технологии роботизации выступают колесные устройства. Для осуществления процессов диагностики трубопроводов в нефтяной отрасли целесообразно учитывать ряд ограничений: оптимизация скорость передвижения мобильных роботизированных установок, высокая степень маневренности, которая позволит обеспечить перемещения даже по изогнутым зонам трубопровода. Вместе с тем ключевой недостаток осуществления процессов диагностики трубопроводов на основе технологии мобильной роботизации – возможная потеря контакта мобильного робота с поверхностью трубопровода.

Колесная технология мобильной роботизации состоит из следующих частей: датчики (обработка и сбор пула информационных данных), управляющий модуль (вход команд операторов), исполнительный механизм процессов экспертной диагностики участков нефтяных трубопроводов (запись информационных данных о текущем состоянии цифровой технологии), интерфейс операторов мобильной технологии роботизации (см. рис. 1) [18].

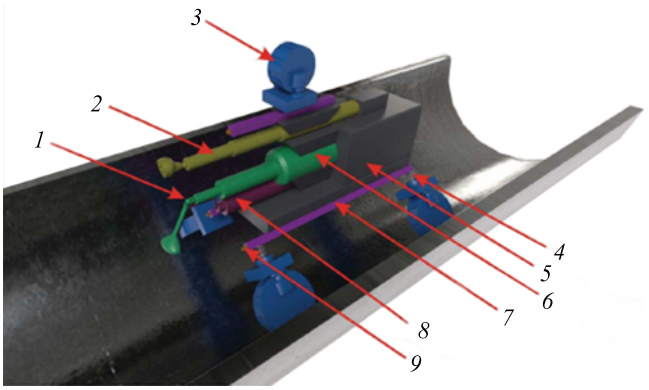


Рис. 1. Состав технологии мобильной роботизации нефтяных трубопроводов:
1 – шарнирное соединение; *2* – камера; *3* – колеса; *4* – пружины; *5* – управляющая модель; *6* – ультразвуковой дефектоскоп; *7* – модули приводов; *8* – устройство для хранения геля; *9* – ультразвуковые датчики положения

Технология мобильной роботизации базируется на традиционной трехуровневой системе автоматизации конкретных технологических процессов, в данном случае – это процессы экспертной диагностики зон нефтяных трубопроводов:

I уровень (низкий) – исполнительный механизм и датчики цифровой технологии;

II уровень (средний) – запоминающие устройства, сетевые микроконтролеры;

III уровень (высший) – информационный сбор, обработка и хранение.

Посредством инструментов беспроводных телекоммуникаций осуществляется передача базы информационных данных на операторский интерфейс (АРМ). В дальнейшем оператор оптимизирует рабочий режим технологии мобильной роботизации. При помощи графических индикаторов отражается современное состояние мобильного колесного робота и зон нефтяного трубопровода, которые диагностируются цифровой технологией. Концепция автоматизации процессов диагностики трубопроводов на основе технологии мобильной роботизации проиллюстрирована на рис. 2.

Технология мобильной роботизации может быть использована на нефтяных трубопроводах [19]. Ее работа базируется на выполнении функций предиктивной аналитики, что способствует увеличению уровня надежности цифрового производственного оборудования, несмотря на существование рисков при применении трубопроводов.

Автоматизированная оценка современного состояния используемых в нефтяной отрасли трубопроводов при помощи виртуальных анализаторов

Виртуальные анализаторы наряду с лабораторными исследованиями являются дополнительной автоматизирующей технологией, цифровой моделью, которая нужна для осуществления дополнительных исследований, измерений качества выполнения технологических процессов на нефтяных трубопроводах. Технологические процессы строятся на базе архивной информации нефтяного производства и лабораторных исследований [20].

При помощи технологии виртуальных анализаторов можно увеличить уровень своевременности конечных результатов регулирования актуального состояния информационных и материальных потоков. Тем не менее реализация алгоритмов по интеграции виртуальных анализаторов является достаточно затратной по цене данной цифровой технологии и трудозатратной, поскольку нужно непрерывное компетентное обслуживание эксплуатируемых нефтяных трубопроводов.

Соответственно, присутствует проблема увеличения полноты, достоверности, оперативности и надежности информационного обеспечения кадров, ответственных за реализацию технологических про-

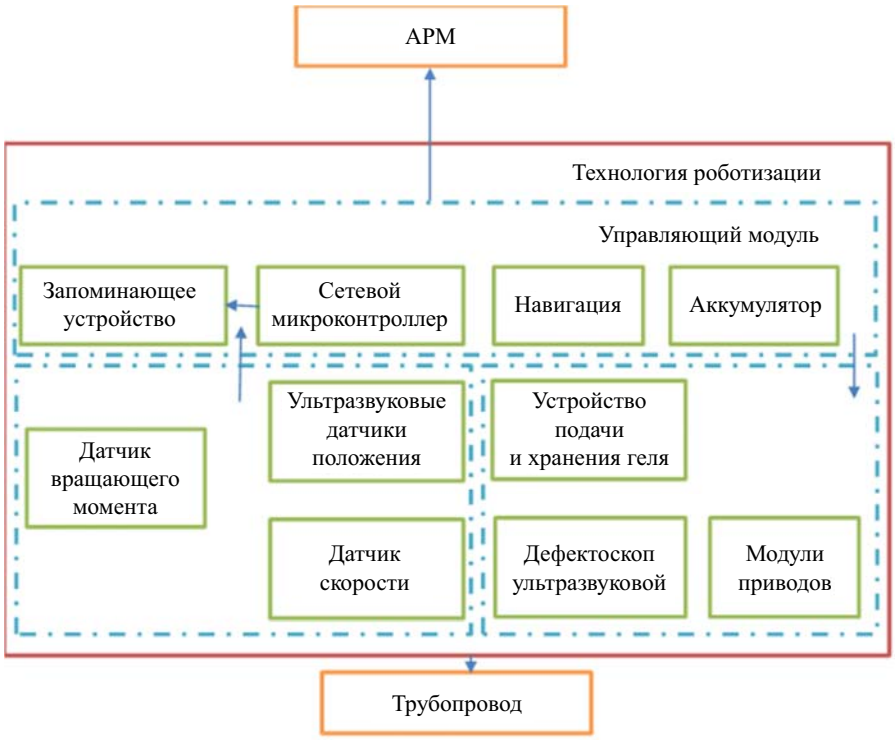


Рис. 2 Концепция автоматизации процессов диагностики трубопроводов на основе технологии мобильной роботизации

цессов на нефтяных трубопроводах при помощи формирования и интеграции виртуально-аналитической системы наблюдения за операциями [21]. Концепция работы виртуальных анализаторов на участках нефтяных трубопроводов обозначена на рис. 3.

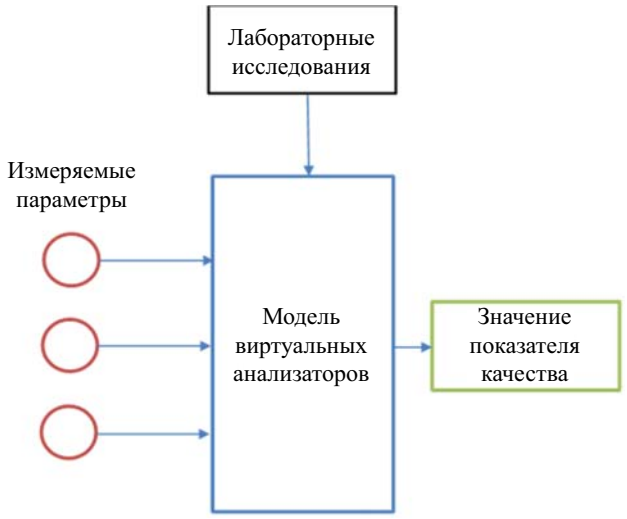


Рис. 3. Концепция работы виртуальных анализаторов на участках нефтяных трубопроводов (источник: разработано авторами)

С помощью виртуальных анализаторов можно проанализировать уровень качества функционирования нефтяных трубопроводов, что обусловлено параметрами ключевых технологических операций, а также индикаторами качества нефтяного сырья, конечных нефтепродуктов.

Цель практического применения технологии виртуального анализатора:

1. Наблюдение за динамикой сложноизмеримых индикаторов нефтяных трубопроводов.
2. Увеличение степени оперативности управленческого механизма нефтяных трубопроводов.
3. Практическое применение технологии в целях оптимизации реализации технологических операций.
4. Мониторинг за уровнем достоверности значений индикаторов.

Основные задачи практического применения технологии виртуального анализатора:

1. Моделирование степени качества нефтепродуктов на каждой стадии выполнения технологической операции.
2. Формирование рациональных решений технологических процессов, исходя из принятых индикаторов степени качества работы нефтяных трубопроводов и нефтепродуктов.
3. Нахождение и тестирование различных инновационных решений при управлении производственными операциями.
4. Обеспечение экологической и производственной безопасности в ходе эксплуатации нефтяных трубопроводов.
5. Исследование прикладной значимости, а также функций воздействия конкретных индикаторов технологических операций.
6. Определение взаимозависимостей между индикаторами технологических операций.

7. Своевременное выявление опасной ситуации на нефтяных трубопроводах.

8. Возможность формирования гибкого планирования выполнения технологических операций, например, контроля средств стабильной работы нефтяных трубопроводов, ремонта контрольных приборов.

Дополнительные задачи практического применения технологии виртуального анализатора:

1. Практическое применение цифровой технологии в роли вспомогательной установки, диагностирующей текущее состояние нефтяных трубопроводов на предмет неисправностей.

2. Дублирование информации по конкретным измерителям, которые предназначены в целях оперативного мониторинга и регулирования текущего состояния.

Соответственно, общее предназначение технологии виртуальных анализаторов – увеличение эффективности аналитического и информационного обеспечения кадров, формирование базовых условий для создания рационального технологического управления во всем цикле работ.

Автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов в трубопроводах нефтяной отрасли

В соответствии с требованиями по прочности нефтяных трубопроводов, а также подходами к сохранению исходной температуры нефтяных продуктов она должна достигать примерно 85–90 °С. На выходе из трубопровода температура нефтяного продукта должна быть такой, чтобы степень его вязкости была приемлемой. Кинематическая вязкость должна находиться на уровне 600 мм^2/с [22].

Для того чтобы подогреть полученный нефтяной продукт, обладающий крайне высокой вязкостью, перспективным решением выступает автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов, включающий систему индукционного подогрева (см. рис. 4).

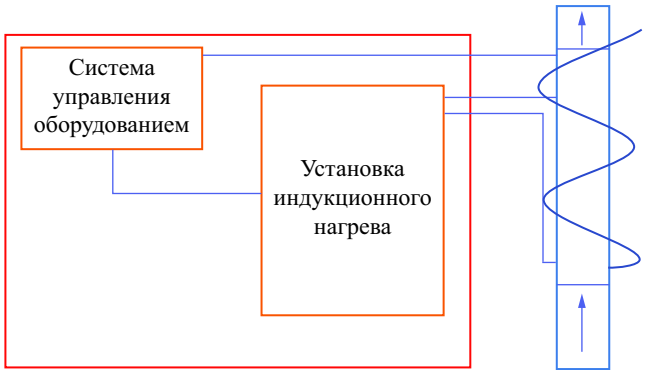


Рис. 4. Автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов в трубопроводах нефтяной отрасли

Автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов в трубопроводах нефтяной отрасли обладает несколькими частями: индукционным оборудованием для подогрева нефтяных продуктов, температурными датчиками, изоляционным кабелем, автоматизированным управленческим механизмом, обеспечивающим безопасный подогрев нефтяных продуктов в трубопроводе, а также контроль необходимого температурного режима.

Цифровой сервис для выявления в нефтегазовых трубопроводах гидратных образований

Цифровой сервис разработан с помощью языка *Python*. Визуализация цифрового сервиса базируется на среде пользовательских интерфейсов *Qt GUI*. Пользовательский интерфейс работает на компонентах основного окна:

1. Поле для введения значений.

2. Текущие и расчетные индикаторы.

3. Зависимость текущих и расчетных индикаторов от условий использования нефтяного трубопровода.

4. Запуск вычислений (измерений).

Запуск вычислений подразумевает автоматизированный расчет текущих индикаторов, которые легко импортируются в формат электронных таблиц и затем графически показывают ситуацию в нефтяном трубопроводе.

Посредством цифрового сервиса можно минимизировать временной промежуток исследования зон нефтяного трубопровода на предмет наличия гидратов. Пример применения цифрового сервиса для выявления в нефтегазовых трубопроводах гидратных образований проиллюстрирован на рис. 5.

В соответствии с рис. 5 цифровой сервис визуализирует кривые гидратных образований в нефтегазовых трубопроводах. Объект перемещения в трубопроводе – природный газ. Относительный показатель плотности воздуха является разным в течение осуществления измерений объема гидратных образований. Результат – средний уровень давления и температуры в нефтяном трубопроводе, а также плотность продуктов природного газа. Это позволяет предупреждать гидратные образования в нефтегазовых трубопроводах.

Выводы. 1. Для динамичного развития нефтегазовой отрасли целесообразно внедрять инновационные решения, которые способствуют устранению актуальных на сегодняшний день трудностей.

2. Рассмотрены ключевые для повышения эффективности применения нефтегазовых трубопроводов вопросы: автоматизация процессов диагностики трубопроводов на основе технологии мобильной роботизации, автоматизированная оценка современного

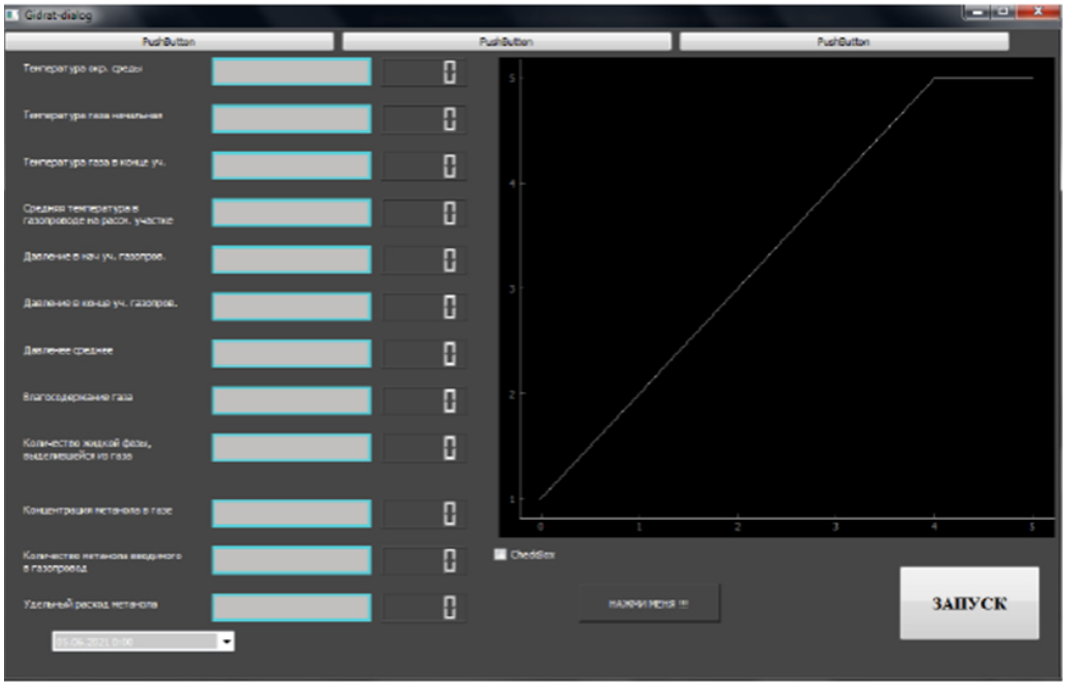


Рис. 5. Пример применения цифрового сервиса для выявления в нефтегазовых трубопроводах гидратных образований

состояния используемых в нефтяной отрасли трубопроводов при помощи виртуальных анализаторов, автоматизированный комплекс контроля уровня температуры нефтепродуктов в трубопроводах нефтяной отрасли, цифровой сервис для выявления в нефтегазовых трубопроводах гидратных образований.

3. С помощью рассмотренных инновационных решений присутствует возможность увеличения эффективности реализуемых технологических процессов и производительности нефтегазовых организаций.

Список литературы

1. *Колосов В. А., Барабанов А. А.* Автоматизация технологических процессов и инновационные технологии на объектах, использующих СУГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2009. №. 6 (12). С. 52–55.

2. *Харисов Р. А., Исаев Ш. З., Латыпов А. М.* Расчетная оценка кривых малоцикловой трещиностойкости металла труб // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2012. № 2. С. 349–353.

3. *Харисов Р. А.* Вязкая прочность труб с трещиноподобными дефектами // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. № 4 (90). С. 101–106.

4. *Харисов Р. А.* Разработка конструкции изоляционной ленты с двусторонним липким слоем // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2009. № 2. С. 18.

5. *Харисов Р. А.* Разработка научных основ экспресс-методов расчета характеристик прочностной безопасности оболочковых элементов трубопроводных систем в водородсодержащих рабочих средах: дисс. … д-ра техн. наук. Уфа: Институт проблем транспорта энергоресурсов. 2015. 228 с.

6. *Харисов Р. А.* Разработка научных основ экспресс-методов расчета характеристик прочностной безопасности оболочковых элементов трубопроводных систем в водородсодержащих рабочих средах: автореф. дисс. … д-ра техн. наук. Уфа: Институт проблем транспорта энергоресурсов. 2015. 22 с.

7. *Минцаев М. Ш., Садулаев А. А. В., Исаева М. Р.* Исследование и модернизация автоматизированной системы налива нефтепродуктов // Инженерный вестник Дона. 2024. № 9 (117). С. 48.

8. *Айгузина С. Ю.* Эколого-правовое регулирование отношений в сфере транспортировки углеводородных ресурсов по трубопроводам // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 5–2. С. 175–178.

9. *Байрамова Б.* Инфраструктура и технологии транспортировки нефти и газа по всему миру // Всемирный ученый. 2024. Т. 1. № 19. С. 403–409.

10. *Атагарраев Т., Ашырова Б.* Нефтегазовая промышленность Средней Азии главный фактор экономического развития // Вестник науки. 2025. Т. 3. № 1 (82). С. 1201–1208.

11. *Кокорина И. П.* Методика геоинформационного обеспечения нефтегазового комплекса в Уральском федеральном округе // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 11 (149). С. 13.

12. *Дитковская Л. А.* Меры по улучшению состояния промышленной безопасности предприятий нефтяной отрасли // Вестник науки. 2024. Т. 3. № 9 (78). С. 401–405.

13. *Абдурахманова Л. А.* Проблемы нефтяной отрасли России в современных условиях хозяйствования и пути их решения // Наукосфера. 2022. № 1–2. С. 225–230.

14. *Хасбиуллин И. И., Шматков А. А.* Проблемы регулирования применения химических реагентов для обеспечения безопасности и эффективности процессов до-

бычи, подготовки и транспортировки нефти // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Т. 11. № 3. С. 338–345.

15. *Султанмагомедов Т. С.* Расчет напряженно-деформированного состояния трубопроводов, подверженных канавочному износу методом конечных элементов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 6. С. 151–162.

16. *Егоров И. Н., Кадхим Д. А.* Применение мобильных роботов при внутритрубной диагностике трубопроводов с переменным поперечным сечением // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2011. № 3. С. 73–83.

17. *Ворочаева Л. Ю., Савин С. И.* Классификационные признаки роботов, перемещающихся по трубам // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 89–100.

18. *Пименов А. А.* Разработка роботизированной системы обнаружения технологических неисправностей на предприятии // Достижения и перспективы научных исследований молодежи. 2022. С. 493–501.

19. *Санкова Л. В.* Нефтегазовый комплекс на современном этапе: проблемы и перспективы цифровой трансформации // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021. № 1. С. 97–109.

20. *Сафин М. А., Бикбулатов Р. И., Пирогова А. М.* Повышение эффективности автоматической идентификации разливов нефти с помощью беспилотных летальных аппаратов // Инженерный вестник Дона. 2022. № 12 (96). С. 10–19.

21. *Rono K., Byiringiro J. B., Mharakurwa E. T., Kibor A.* Process modelling of an analytic control machine in virtual reality platform // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2023. Vol. 24. № 5. Pp. 787–796.

22. *Villena-Taranilla R., Tirado-Olivares S., Cózar-Gutiérrez R., González-Calero J. A.* Effects of virtual reality on learning outcomes in K-6 education: A meta-analysis // Educational Research Review. 2022. Vol. 35. Pp. 100434.

References

1. Kolosov V. A., Barabanov A. A. Automation of technological processes and innovative technologies at facilities using LPG. *Transport on alternative fuel*, 2009, no. 6 (12), pp. 52–55.

2. Kharisov R. A., Isaev Sh. Z., Latypov A. M. Calculation of low-cycle crack resistance curves of pipe metal . *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*. 2012, no. 2, pp. 349–353.

3. Kharisov R. A. Viscous strength of pipes with crack-like defects . *Problems of collection, preparation and transportation of oil and oil products*. 2012, no. 4 (90), pp. 101–106.

4. Kharisov R. A. Development of the design of an insulating tape with a double-sided adhesive layer . *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*. 2009, no. 2, pp. 18.

5. Kharisov R. A. *Razrabotka nauchnyh osnov ekspress-metodov rascheta harakteristik prochnostnoj bezopasnosti obolochkovyh elementov truboprovodnyh sistem v vodorodsoderzhashhih rabochih sredah* [Development of Scientific Foundations of Express Methods for Calculating the Strength Safety Characteristics of Shell Elements of Pipeline Systems in Hydrogen-Containing Working Environments: doctor's thesis]. Ufa, Institute of Energy Resources Transport Problems, 2015, 228 p.

6. Kharisov R. A. *Razrabotka nauchnyh osnov ekspress-metodov rascheta harakteristik prochnostnoj bezopasnosti obolochkovyh elementov truboprovodnyh sistem v vodorodsoderzhashhih rabochih sredah* [Development of Scientific Foundations of Express Methods for Calculating the Strength Safety Characteristics of Shell Elements of Pipeline Systems in Hydrogen-Containing Working Environments: doctor's abstract]. Ufa, Institute for Energy Resources Transport Problems, 2015, 22 p.

7. Mintsaev M. Sh., Sadulaev A. A. V., Isaeva M. R. Research and modernization of the automated system for loading oil products. *Engineering Bulletin of the Don*, 2024, no. 9 (117), pp. 48.

8. Aiguzina S. Yu. Environmental and legal regulation of relations in the field of transportation of hydrocarbon resources through pipelines. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2022, no. 5–2, pp. 175–178.

9. Bayramova B. Infrastructure and technologies for oil and gas transportation around the world. *World Scientist*, 2024, vol. 1, no. 19, pp. 403–409.

10. Atagarrayev T., Ashyrova B. The oil and gas industry of Central Asia is the main factor in economic development. *Bulletin of Science*, 2025, vol. 3, no. 1 (82), pp. 1201–1208.

11. Kokorina I. P. Methodology of Geoinformation Support for the Oil and Gas Complex in the Ural Federal District. *International Research Journal*, 2024, no. 11 (149), pp. 13.

12. Ditkovskaya L. A. Measures to Improve Industrial Safety at Oil Industry Enterprises. *Science Bulletin*, 2024, vol. 3, no. 9 (78), pp. 401–405.

13. Abdurakhmanova L. A. Problems of the Russian Oil Industry in Modern Economic Conditions and Ways to Solve Them. *Naukosphere*, 2022, no. 1–2, pp. 225–230.

14. Khasbiullin I. I., Shmatkov A. A. Problems of regulating the use of chemical reagents to ensure the safety and efficiency of oil production, preparation and transportation processes. *Science and Technology of Pipeline Transport of Oil and Petroleum Products*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 338–345.

15. Sultanmagomedov T. S. Calculation of the stress-strain state of pipelines subject to grooving wear using the finite element method. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 6, pp. 151–162.

16. Egorov I. N., Kadkhim D. A. Application of mobile robots in in-line inspection of pipelines with variable cross-sections. *Electronic scientific journal Oil and Gas Business*, 2011, no. 3, pp. 73–83.

17. Vorochaeva L. Yu., Savin S. I. Classification Features of Robots Moving through Pipes. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*, 2018, no. 3, pp. 89–100.

18. Pimenov A. A. Development of a Robotic System for Detecting Process Faults at an Enterprise. *Achievements and Prospects of Young People's Scientific Research*, 2022, pp. 493–501.

19. Sankova L. V. Oil and Gas Complex at the Current Stage: Problems and Prospects of Digital Transformation. *Actual Problems of Economics and Management*, 2021, no. 1, pp. 97–109.

20. Safin M. A., Bikbulatov R. I., Pirogova A. M. Improving the efficiency of automatic identification of oil spills using unmanned aerial vehicles. *Engineering Bulletin of the Don*, 2022, no. 12 (96), pp. 10–19.

21. Rono K., Byiringiro J. B., Mharakurwa E. T., Kibor A. Process modelling of an analytic control machine in virtual reality platform. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2023, vol. 24, no. 5, pp. 787–796.

22. Villena-Taranilla R., Tirado-Olivares S., Cózar-Gutiérrez R., González-Calero J. A. Effects of virtual reality on learning outcomes in K-6 education: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 2022, vol. 35, pp. 100434.

УДК

А. Ю СПИРИДОНОВ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва)
E-mail: artyom-spiridonov@yandex.ru
A. Yu. Spiridonov (Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow)

Разработка адаптивных сетей межмашинного взаимодействия на основе искусственного интеллекта для автономных транспортных средств

Development of AI-based adaptive inter-vehicular communication networks for autonomous vehicles

Статья адресует проблему деградации производительности статичных протоколов межмашинного взаимодействия в условиях высокой плотности и мобильности автономного транспорта и ставит цель разработать и эмпирически верифицировать адаптивную архитектуру AIV2X на основе глубокого обучения с подкреплением и федеративного обучения для обеспечения надежной связи с низкой задержкой в кооперативных сценариях вождения; исследование формализует управление радиоресурсами как MDPзадачу, где агент на борту управляет мощностью передачи, схемами модуляции и кодирования и выделением полосы под разные классы трафика, а методология опирается на косимуляцию NS3 и SUMO с моделированием перегруженного городского перекрестка и автомагистрали, оценкой KPI (PDR, сквозная задержка, пропускная способность), тестом смешанного трафика URLLC/eMBB и анализом сходимости и коммуникационных издержек FL; результаты показывают, что при 500 авт./км² AIV2X достигает PDR 98,71 % при задержке 38,23 мс и пропускной способности 16,91 Мбит/с против 75,41 % и 83,25 мс у CV2X Mode 4 и 59,18 % и 155,60 мс у DSRC, при росте скорости с 30 до 120 км/ч падение PDR у AIV2X не превышает 1 % против более 10 % у CV2X и 16 % у DSRC, а при смешанном трафике обеспечивает URLLC PDR 99,97 % и задержку 15,72 мс при сохранении eMBBпропускной способности 4,81 Мбит/с; федеративное обучение демонстрирует выход на плато качества около 100го раунда при объеме обновлений порядка 256,7 КБ на автомобиль за раунд, что подтверждает сетевую эффективность и приватность; обсуждение объясняет превосходство выученной политикой проактивного снижения мощности, выбором робастных MCS и оппортунистическим мультиплексированием, подчеркивает масштабируемость и реализуемость подхода и фиксирует ограничения имитационного дизайна, доменной специфики и неучтенных аспектов кибербезопасности и энергоэффективности; выводы утверждают необходимость перехода от детерминированных протоколов к самообучающимся адаптивным сетям как условию безопасного и эффективного кооперативного автономного вождения.

The article addresses the performance degradation of static inter-vehicular communication protocols under high density and mobility of autonomous traffic and aims to develop and empirically validate an adaptive AI V2X architecture based on deep reinforcement learning and federated learning to ensure reliable, low-latency connectivity in cooperative driving scenarios; the study formalises radio resource management as a Markov decision process (MDP) in which an on-board agent controls transmit power, modulation and coding schemes (MCS), and bandwidth allocation across traffic classes, while the methodology relies on NS-3 and SUMO co-simulation

with a congested urban intersection and a highway model, KPI evaluation (PDR, end-to-end latency, throughput), a mixed URLLC/eMBB traffic test, and analysis of FL convergence and communication overheads; results show that at 500 vehicles/km^2 AI V2X achieves a PDR of 98,71 % with 38,23 ms latency and 16,91 Mbit/s throughput versus 75,41 % and 83,25 ms for C-V2X Mode 4 and 59,18 % and 155,60 ms for DSRC; as speed increases from 30 to 120 km/h, the PDR drop for AI V2X does not exceed 1 %, compared with over 10 % for C-V2X and 16 % for DSRC; under mixed traffic it provides URLLC PDR of 99,97 % and 15,72 ms latency while maintaining eMBB throughput of 4,81 Mbit/s; federated learning exhibits a quality plateau around the 100th round with update sizes on the order of 256.7 kB per vehicle per round, confirming network efficiency and privacy; the discussion attributes the superiority to a learned policy of proactive power back-off, selection of robust MCS, and opportunistic multiplexing, underscores the approach's scalability and feasibility, and notes limitations of the simulation design, domain specificity, and unaddressed aspects of cybersecurity and energy efficiency; the conclusions argue for a shift from deterministic protocols to self-learning adaptive networks as a precondition for safe and efficient cooperative autonomous driving.

Ключевые слова: V2X; обучение с подкреплением; федеративное обучение; URLLC; автономный транспорт.

Keywords: V2X; reinforcement learning; federated learning; URLLC; autonomous vehicles.

Стремительное развитие технологий автономного вождения знаменует собой фундаментальный сдвиг в парадигме транспортных систем, обещая радикальное повышение безопасности, эффективности и комфорта [1]. Экономический и социальный императив этого перехода подкрепляется внушительными количественными показателями [2]. Прогнозы указывают на экспоненциальный рост рынка автономных транспортных средств, который, по одним оценкам, увеличится с 41,10 млрд долл. США в 2024 г. до 114,54 млрд долл. США к 2029 г., демонстрируя среднегодовой темп роста в 22,75 % [3]. Другие, более оптимистичные прогнозы, оценивают текущий объем рынка в 1,7 трлн долл. США с перспективой роста до 3,9 трлн к 2034 г. [4]. Ключевым драйвером этого роста является потенциал для кардинального снижения аварийности [5]. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях погибает более 1,3 млн человек, причем более 90 % этих инцидентов вызваны человеческим фактором [6]. Автономные системы, лишенные недостатков человеческого восприятия и реакции, способны практически полностью элиминировать эту трагическую статистику, что делает их разработку не только коммерчески выгодной, но и гуманитарно значимой задачей [7].

Однако реализация полного потенциала автономного транспорта сталкивается с фундаментальной технической проблемой, порожденной самой природой его функционирования [8]. Каждое автономное транспортное средство представляет собой сложный киберфизический комплекс, оснащенный множеством сенсоров: камер, лидаров, радаров, которые непрерывно генерируют колоссальные объемы данных [9]. Одно транспортное средство может производить от 1 до 2 терабайт информации в день [10]. Этот информационный поток, являясь основой для принятия локальных решений, одновременно создает беспрецедентную нагрузку на коммуникационные каналы, необходимые для кооперативного взаимодействия [11]. Технологии межмашинного взаимодействия (*Vehicle-to-Everything*, *V2X*) доказали свою эффективность, позволяя снизить количество столкновений на перекрестках на 30% и увеличить их пропускную способность на 15–20 %. Возникает парадокс: сенсоры, обеспечивающие автономность отдельного автомобиля, генерируют такой объем данных, который угрожает стабильности и пропускной способности сетей, необходимых для коллективной, кооперативной автономии [12]. Таким образом, по мере увеличения числа автономных транспортных средств на дорогах, эффективность их коллективного взаимодействия, основанного на статических протоколах связи, неизбежно деградирует [13].

Существующие стандарты связи, такие как *DSRC* (на базе *IEEE 802.11p*) и *C-V2X* (на базе сотовых технологий 3GPP), несмотря на свои архитектурные различия, обладают общим системным недостатком – их работа основана на статичных, предопределенных правилах доступа к среде [14]. *DSRC*, будучи более зрелой технологией, продемонстрировал свою уязвимость в условиях высокой плотности узлов, где механизмы разрешения коллизий становятся неэффективными [1]. *C-V2X*, особенно в своей последней итерации на базе *5G*, предлагает значительно более высокую пропускную способность и низкие задержки, однако его базовые децентрализованные режимы, например *Mode 4*, также показывают снижение производительности в сценариях с высокой плотностью и не обладают встроенными механизма-

ми гибкой адаптации [2]. Фундаментальная проблема заключается не столько в физическом уровне передачи данных, сколько в логике управления доступом к радиоресурсам, которая не способна динамически реагировать на постоянно меняющиеся условия в сети: плотность трафика, скорость движения, интерференционную обстановку и требования различных приложений [3].

Центральным тезисом настоящей работы является утверждение о том, что преодоление указанных ограничений возможно только путем перехода от статичных протоколов к интеллектуальным, адаптивным сетям, функционирующим на принципах искусственного интеллекта [8]. В частности, применение методов глубокого обучения с подкреплением (*Deep Reinforcement Learning*, *DRL*) позволяет трансформировать задачу распределения радиоресурсов в последовательный процесс принятия решений в условиях неопределенности [9]. Каждый автомобиль в такой сети выступает в роли автономного агента, который обучается оптимальной политике взаимодействия с радиоэфиром, динамически адаптируя свои параметры передачи для достижения глобальной цели – максимизации надежности и минимизации задержек для всей сети [7]. Формализация этой задачи в виде Марковского процесса принятия решений (*Markov Decision Process*, *MDP*) создает теоретическую основу для разработки самообучающихся и самооптимизирующихся систем связи [10]. Для масштабирования процесса обучения на гетерогенные и распределенные парки транспортных средств предлагается использовать архитектуру федеративного обучения (*Federated Learning*, *FL*), обеспечивающую конфиденциальность данных и эффективность использования сетевых ресурсов.

Материалы и методы исследования

Методологической основой данного исследования является комплексное имитационное моделирование, реализованное на базе интегрированной программной платформы. Данный подход выбран ввиду необходимости воспроизведения сложных, динамичных и крупномасштабных сценариев, оценка которых в реальных условиях сопряжена со значительными материальными затратами и рисками для безопасности. Ядром платформы выступает связка двух специализированных симуляторов: *NS-3* и *SUMO* (*Simulation of Urban MObility*). Сетевой симулятор *NS-3* используется для детального моделирования физического (*PHY*) и канального (*MAC*) уровней протоколов беспроводной связи, включая стандарты *IEEE 802.11p* (*DSRC*) и *C-V2X*, а также для реализации логики предлагаемого интеллектуального агента. Симулятор транспортных потоков *SUMO* отвечает за генерацию реалистичных моделей мобильности транспортных средств, включая топологию дорожной сети, импортированную из реальных карт, плотность и динамику трафика. Такой подход ко-симуляции является общепринятым стандартом в исследованиях сетей *VANET* и позволяет с высокой степенью достоверности оценивать ключевые показатели производительности, такие как коэффициент доставки пакетов, сквозная задержка и пропускная способность. Теоретическая база исследования сформирована на основе анализа более 35 научных публикаций из рецензируемых журналов и материалов конференций, индексируемых в базах данных *IEEE Xplore*, *arXiv*, *ACM Digital Library и Scopus*, охватывающих спектр тем от стандартов *V2X* до применения методов искусственного интеллекта в телекоммуникациях.

Центральным элементом предлагаемой системы является агент *AI-V2X*, реализованный на каждом транспортном средстве и функционирующий на основе архитектуры глубокого обучения с подкреплением (*DRL*). Задача адаптивного управления радиоресурсами формализована как Марковский процесс принятия решений (*MDP*), что позволяет применить к ней мощный математический аппарат *DRL*. В рамках этой модели определены ключевые компоненты. Пространство состояний включает в себя локально наблюдаемые агентом параметры: уровень загруженности канала, измеренный уровень интерференции, длина очереди пакетов в буфере, текущая скорость и направление движения транспортного средства, а также локальная плотность транспортных средств в радиусе действия. Пространство действий представляет собой набор управляемых параметров связи, таких как мощность передачи (в дБм), выбор модуляции и кодовой скорости (*Modulation and Coding Scheme*, *MCS*), а также динамическое выделение полосы пропускания для различных типов трафика. В качестве алгоритма обучения выбран *Deep Deterministic Policy Gradient* (*DDPG*), который хорошо зарекомендовал себя в задачах с непрерывным пространством действий, что характерно для управления мощностью и другими аналоговыми параметрами.Функция вознаграждения спроектирована как составная, многокритериальная метрика, которая положительно поощряет успешную доставку пакетов и штрафует за высокую задержку, коллизии (определяемые косвенно по отсутствию подтверждений или результатам прослушивания канала) и избыточное энергопотребление, что соответствует принципам проектирования функций вознаграждения в смежных областях.

Для обучения распределенной сети *DRL*-агентов применяется парадигма федеративного обучения

(*Federated Learning*, *FL*). Данный выбор обусловлен фундаментальными недостатками традиционного централизованного подхода, который требует сбора и передачи огромных объемов сырых данных от каждого транспортного средства на центральный сервер, что создает неприемлемую нагрузку на сеть и порождает серьезные проблемы с конфиденциальностью и безопасностью данных. В архитектуре *FL* процесс обучения переносится непосредственно на оконечные устройства – в данном случае, на бортовые компьютеры автомобилей. Вместо передачи сырых данных, транспортные средства отправляют на агрегирующий сервер только обновления весов своей локальной модели (градиенты), которые имеют на порядки меньший объем. Процесс обучения итеративен:

- центральный сервер (например, базовая станция сотовой связи или придорожный блок RSU) распространяет текущую версию глобальной модели среди участвующих автомобилей;
- каждый автомобиль дообучает полученную модель на основе своих локальных данных и опыта взаимодействия со средой;
- вычисленные обновления весов отправляются на сервер;
- сервер агрегирует полученные обновления (например, с помощью алгоритма *Federated Averaging*) для создания усовершенствованной глобальной модели, которая затем рассылается для следующего раунда обучения.

Применение федеративного обучения выходит за рамки чисто технической оптимизации, выступая стратегическим фактором, способствующим внедрению и масштабированию всей экосистемы *V2X*. Одной из главных нетехнических преград на пути массового внедрения кооперативных автономных систем является недоверие пользователей и производителей к технологиям, требующим обмена чувствительными данными о местоположении, маршрутах и стиле вождения. Встраивая механизм сохранения конфиденциальности непосредственно в ядро процесса обучения, *FL* снимает этот барьер, повышая социальную и регуляторную приемлемость технологии. Это, в свою очередь, стимулирует более широкое участие автопроизводителей и владельцев транспортных средств в сети, создавая положительную обратную связь: чем больше участников, тем разнообразнее и богаче совокупный опыт, на котором обучается глобальная модель. В результате система становится более робастной, способной эффективно работать в редких и нештатных ситуациях, что напрямую повышает безопасность и надежность всей транспортной системы. Таким образом, *FL* является не просто эффективным методом распределенного обучения, а ключевым элементом, обеспечивающим доверие, масштабируемость и, в конечном счете, жизнеспособность интеллектуальных транспортных сетей. В качестве базовых протоколов для сравнительного анализа производительности были выбраны два основных представителя современных технологий *V2X: DSRC* на основе стандарта *IEEE 802.11p* с механизмом доступа *EDCA* и *C-V2X* в децентрализованном режиме *Mode 4*, где распределение ресурсов осуществляется на основе сенсинга канала.

Результаты и обсуждение

В данном разделе представлены результаты эмпирической оценки производительности предложенной архитектуры *AI-V2X* в сравнении с базовыми протоколами *DSRC* и *C-V2X Mode 4*. Для количественного анализа были выбраны три ключевых показателя эффективности (*Key Performance Indicators*, *KPIs*), имеющие критическое значение для систем безопасности на транспорте: коэффициент доставки пакетов (*Packet Delivery Ratio*, *PDR*), средняя сквозная задержка (*End-to-End Latency*) и общая пропускная способность сети. *PDR* напрямую характеризует надежность связи, что является непреложным требованием для передачи сообщений о чрезвычайных ситуациях. Сквозная задержка определяет своевременность доставки информации, что критически важно для приложений предотвращения столкновений, где требования к задержке могут составлять менее 50–100 мс. Пропускная способность отражает общую эффективность использования сетевых ресурсов.

В качестве основного тестового сценария была смоделирована ситуация на загруженном городском перекрестке с высокой плотностью транспортных средств, поскольку именно такие условия представляют наибольшую сложность для сетей *VANET* и наиболее ярко демонстрируют недостатки статичных протоколов доступа к среде.Моделирование проводилось при варьировании плотности транспортных средств от низкой (50 авт./км^2) до экстремально высокой (500 авт./км^2), что позволило оценить масштабируемость и робастность каждого из исследуемых подходов (см. табл. 1).

Анализ данных, представленных в табл. 1, наглядно демонстрирует превосходство адаптивного подхода *AI-V2X*, особенно в условиях высокой сетевой нагрузки. В то время как все три протокола показывают приемлемую производительность при низкой плотности (50 авт./км^2), с ростом числа транспортных средств наблюдается резкая дивергенция их характеристик. Система *AI-V2X* демонстрирует исключительно высокую стабильность: *PDR* даже при максимальной плотности в 500 авт./км^2 снижа-

ется незначительно, оставаясь на уровне 98,71 %, а задержка растет плавно, не превышая критического порога в 40 мс. Такое поведение объясняется тем, что обученный *DRL*-агент вырабатывает сложную политику управления ресурсами: в условиях высокой плотности он интеллектуально снижает мощность передачи для уменьшения взаимной интерференции и выбирает более робастные, хотя и менее скоростные, схемы модуляции и кодирования для гарантии доставки критически важных пакетов.

В отличие от этого, производительность базовых протоколов стремительно деградирует. *C-V2X Mode 4*, хотя и превосходит *DSRC*, показывает падение *PDR* до 75,41 % и рост задержки до 83,25 мс, что делает его ненадежным для приложений безопасности. Наиболее резкий коллапс производительности наблюдается у протокола *DSRC*, где *PDR* падает ниже 60 %. Это обусловлено насыщением его механизма доступа к среде (*CSMA/CA* с экспоненциальной отсрочкой), который в условиях высокой конкуренции за канал приводит к экспоненциальному росту числа коллизий и задержек. Пропускная способность сети для *AI-V2X* монотонно растет с увеличением плотности, что свидетельствует об эффективном использовании ресурсов, в то время как для *DSRC* и *C-V2X* после определенного порога она начинает снижаться из-за перегрузки канала.

Для оценки влияния высокой мобильности, характерной для сценариев движения по автомагистралям, проводится исследование зависимости производительности от средней скорости транспортных средств при фиксированной плотности (см. табл. 2). Высокая скорость приводит к быстрому изменению топологии сети и возникновению доплеровского сдвига частоты, что усложняет поддержание стабильного соединения.

Таблица 1

Сравнительный анализ производительности протоколов в зависимости от плотности транспортных средств

Плотность, авт./км^2	Протокол	Коэффициент доставки пакетов, *PDR*, %	Средняя сквозная задержка, мс	Пропускная способность сети, Мбит/с
50	*AI-V2X*	99,83	18,45	6,88
	C-V2X Mode 4	99,12	24,19	6,51
	DSRC	97,64	31,57	5,93
150	*AI-V2X*	99,41	25,16	11,23
	C-V2X Mode 4	95,88	41,73	9,87
	DSRC	88,29	65,91	7,54
300	*AI-V2X*	98,95	33,82	14,56
	C-V2X Mode 4	86,43	70,28	11,02
	DSRC	71,05	118,44	6,17
500	*AI-V2X*	98,71	38,23	16,91
	C-V2X Mode 4	75,41	83,25	9,75
	DSRC	59,18	155,6	4,82

Таблица 2

Влияние скорости транспортных средств на задержку и коэффициент доставки пакетов (Плотность = 200 авт./км^2)

Средняя скорость, км/ч	Протокол	Коэффициент доставки пакетов, *PDR*, %	Средняя сквозная задержка, мс
30	*AI-V2X*	99,35	27,11
	C-V2X Mode 4	94,92	45,38
	DSRC	86,74	71,04
60	*AI-V2X*	99,19	28,93
	C-V2X Mode 4	92,15	49,81
	DSRC	81,55	83,29
90	*AI-V2X*	98,87	31,05
	C-V2X Mode 4	88,63	55,17
	DSRC	75,91	96,52
120	*AI-V2X*	98,54	32,88
	C-V2X Mode 4	84,78	61,46
	DSRC	70,23	110,37

Результаты показывают, что система *AI-V2X* обладает значительно большей устойчивостью к эффектам высокой мобильности. Падение *PDR* для *AI-V2X* при увеличении скорости с 30 до 120 км/ч составляет менее 1 %, тогда как для *C-V2X Mode 4* оно превышает 10 %, а для *DSRC* – 16 %. Это объясняется способностью *DRL*-агента обучаться на основе данных о текущей скорости (входящих в вектор состояния) и проактивно адаптировать параметры связи. Агент усваивает корреляцию между высокой скоростью и повышенной вероятностью обрыва связи, поэтому превентивно выбирает более надежные *MCS* и, возможно, увеличивает частоту отправки коротких «маячковых» сообщений для поддержания осведомленности о соседях. Статичные протоколы лишены такой возможности предсказательной адаптации и реагируют на ухудшение канала уже по факту, что приводит к потере пакетов.

Современные и будущие транспортные средства будут генерировать трафик различной природы: от сверхнадежных сообщений безопасности с минимальной задержкой (*URLLC*) до объемного мультимедийного контента (*eMBB*). Эффективное управление таким гетерогенным трафиком является одной из ключевых задач сетей *5G* и выше, реализуемой через механизм «нарезки сети» (*network slicing*). Следующий эксперимент оценивает способность протоколов эффективно распределять ресурсы в сценарии смешанного трафика, состоящего на 70 % из пакетов *URLLC* и на 30 % из трафика *eMBB* (см. табл. 3).

Таблица 3

Эффективность распределения ресурсов при смешанном трафике

Протокол	*PDR*, *URLLC*, %	Задержка, *URLLC*, мс	Пропускная способность, *eMBB*, Мбит/с
AI-V2X	99,97	15,72	4,81
C-V2X Mode 4	96,53	39,88	2,15
DSRC (с очередями приоритетов)	94,11	52,43	1,33

Данные табл. 3 демонстрируют одно из наиболее значимых преимуществ подхода на основе ИИ – способность к динамической и интеллектуальной приоритизации трафика. Система *AI-V2X* обеспечивает практически стопроцентную надежность (*PDR* 99,97 %) и сверхнизкую задержку (15,72 мс) для критически важного трафика *URLLC*, одновременно выделяя оставшиеся ресурсы для достижения наилучшей возможной пропускной способности для трафика *eMBB*. Базовые протоколы, даже с использованием механизмов очередей приоритетов, как в *DSRC* (*EDCA*), не способны на такую гибкость. Жесткая приоритизация в них приводит либо к значительному ухудшению показателей для *URLLC*-трафика из-за конкуренции, либо к почти полному «замиранию» (*starvation*) менее приоритетного трафика *eMBB*. *DRL*-агент же обучается сложной политике планирования: он выделяет для *URLLC*-пакетов короткие, частые и высоконадежные временные слоты, а в моменты низкой загруженности канала оппортунистически использует более крупные блоки ресурсов для передачи объемных *eMBB*-пакетов. Это является формой выученного статистического мультиплексирования, значительно превосходящей по эффективности статические правила.

Практическая применимость любой системы, основанной на обучении, определяется не только ее итоговой производительностью, но и эффективностью самого процесса обучения. В связи с этим была проведена оценка динамики сходимости модели в рамках федеративного обучения и связанных с этим коммуникационных издержек (см. табл. 4).

Таблица 4

Сходимость и коммуникационные издержки обучения в федеративной среде

Раунд агрегации	Среднее совокупное вознаграждение	*PDR*, валидация, %	Объем переданных обновлений, КБ/авт./раунд
1	–158,42	68,33	256,7
10	–45,19	85,91	256,7
50	–12,88	96,24	256,7
100	–5,61	98,82	256,7
200	–4,93	98,91	256,7

Анализ процесса обучения показывает быструю и устойчивую сходимость. Среднее совокупное вознаграждение, получаемое агентами, монотонно растет, что свидетельствует об успешном освоении эффективной политики поведения. Выход на плато после примерно 100-го раунда агрегации указывает на то, что модель достигла состояния, близкого к оптимальному для данной среды. Коэффициент доставки пакетов на валидационной выборке, не участвующей в обучении, коррелирует с ростом вознаграждения, подтверждая, что агент не переобучается, а действительно обобщает полученные знания. Важнейшим аспектом является оценка коммуникационных издержек. Объем данных, передаваемый каждым автомобилем за один раунд обучения (обновления весов нейронной сети), составляет около 256,7 КБ. Эта величина является постоянной и на порядки меньше, чем гигабайты и терабайты сырых сенсорных и коммуникационных данных, которые потребовалось бы передавать при централизованном подходе. Это доказывает высочайшую коммуникационную эффек-

тивность и практическую состоятельность предложенной архитектуры федеративного обучения.

Комплексный анализ полученных результатов позволяет утверждать, что предложенная архитектура *AI-V2X*, основанная на глубоком обучении с подкреплением и обучаемая в федеративной среде, представляет собой целостное решение ключевых проблем современных сетей *V2X*. Результаты моделирования демонстрируют, что данная система успешно решает проблему масштабируемости в условиях высокой плотности (см. табл. 1), обеспечивает робастность при высоких скоростях движения (см. табл. 2), эффективно управляет гетерогенным трафиком с различными требованиями к качеству обслуживания (см. табл. 3) и при этом является практически реализуемой с точки зрения эффективности и конфиденциальности процесса обучения (см. табл. 4). В совокупности эти качества формируют мощное доказательство того, что будущее надежных и эффективных сетей для автономного транспорта лежит в области применения адаптивных интеллектуальных систем. Переход от жестко детерминированных протоколов к самообучающимся системам является не просто эволюционным шагом, а необходимой сменой парадигмы для реализации безопасного и эффективного кооперативного автономного вождения в реальных масштабах.

Выводы. 1. Настоящее исследование посвящено решению одной из наиболее острых проблем на пути к массовому внедрению автономного транспорта – неспособности существующих статичных протоколов межмашинного взаимодействия (*V2X*) обеспечивать требуемый уровень надежности, задержки и эффективности в сложных и динамичных дорожных условиях. В качестве решения была предложена и всесторонне исследована новая архитектура адаптивных сетей *AI-V2X*, в которой каждое транспортное средство выступает в роли интеллектуального агента. Эти агенты, используя методы глубокого обучения с подкреплением, коллективно обучаются оптимальной политике управления радиоресурсами. Для обеспечения масштабируемости, эффективности и конфиденциальности процесса обучения была применена парадигма федеративного обучения, позволяющая создавать высокоэффективные глобальные модели без необходимости сбора и передачи чувствительных пользовательских данных.

2. Результаты комплексного имитационного моделирования убедительно доказывают значительное превосходство предложенного подхода над современными стандартами *DSRC* и *C-V2X*. В сценариях с высокой плотностью транспортных средств (500 авт./км^2) система *AI-V2X* демонстрирует коэффициент доставки пакетов на уровне 98,7 % при средней задержке 38,2 мс. Это представляет собой улучшение надежности на 23,3 п. п. и сокращение задержки на 54,1 % по сравнению с наиболее производительным базовым протоколом *C-V2X Mode 4*. Система также показывает исключительную устойчивость к высокой мобильности и способность к интеллектуальному управлению смешанным трафиком, обеспечивая для критически важных сообщений класса *URLLC* надежность свыше 99,9 % и задержку менее 16 мс, что является недостижимым для протоколов с жесткой приоритизацией. Доказана практическая состоятельность процесса обучения, который демонстрирует быструю сходимость при минимальных коммуникационных издержках.

Полученные результаты имеют далеко идущие последствия для развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Предложенная архитектура является не просто инкрементальным улучшением существующих технологий, а представляет собой технологию-катализатор, способную обеспечить тот уровень сверхнадежной связи с низкой задержкой (*URLLC*), который является обязательным и не подлежащим компромиссу условием для функционирования безопасных кооперативных автономных систем. Успешное применение федеративного обучения открывает путь к созданию сложных интеллектуальных систем, которые по своей природе уважают конфиденциальность пользователей и могут быть развернуты в глобальном масштабе без создания централизованных хранилищ уязвимых данных. Это решает не только техническую, но и важную социально-этическую проблему, ускоряя общественное принятие новых технологий.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении лежат в нескольких ключевых областях. Во-первых, необходимо интегрировать в среду обучения модели кибербезопасности. Это позволит *DRL*-агенту обучаться не только эффективному распределению ресурсов, но и распознаванию и противодействию различным видам атак, таким как спуфинг, подавление сигнала или *DoS*-атаки, рассматривая аномальные сетевые паттерны как негативные события в своем пространстве состояний. Во-вторых, следует расширить функцию вознаграждения, включив в нее компонент, штрафующий за избыточное энергопотребление. Это позволит обучить агентов находить оптимальный баланс между производительностью связи и расходом энергии, что особенно актуально для электрических транспортных средств. Наконец, для обеспечения успешного внедрения в реальном мире необходимо исследовать более сложные алгоритмы агрегации в рамках федеративного обучения, которые обеспечивают справедливость распределения вознаграждения между участниками

и стимулируют их к честному и активному участию в процессе коллективного обучения.

Список литературы

1. *Гируц П. В., Максимей И. В., Сукач Е. И.* Адаптивное управление транспортными потоками на основе имитационного моделирования // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. 2008. № 5–1 (50). С. 136–139.

2. *Суворов С. В., Осипов А. В., Жиляева И. А.* Концепция интеллектуальной транспортной системы для автономных транспортных средств на основе многоагентного подхода // Российский экономический интернет-журнал. 2019. № 4. С. 123.

3. *Смирнов О. П., Тропина А. А.* Применение искусственного интеллекта в транспортных системах // Автомобиль и Электроника. Современные Технологии. 2013. № 2 (5). С. 34–37.

4. *Тихонов М. К., Непомнящий Д. О., Хайдукова В. Н.* Метод обучения интеллектуального агента с помощью сетей Double DQN, путевых точек и функции вознаграждения // Научный результат. Информационные технологии. 2024. Т. 9. № 3. С. 63–72.

5. *Жданов А. А., Преображенский Н. Б., Холопов Ю. А.* и др. Аппаратная реализация нейронной сети в адаптивной системе управления // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 6. С. 55–62.

6. *Романова В. Р., Зуев С. В.* Адаптивная система траекторного управления АНПА на базе нейронной сети прямого распространения // Управление большими системами: сборник трудов. 2024. № 108. С. 192–216.

7. *Сыцко А. В.* Система управления автономным мобильным роботом на основе адаптивного резонанса // Труды Института системного программирования РАН. 2004. Т. 7. С. 105–110.

8. *Грушников В. А.* Зарубежные реализации автономного автомобильного транспорта // Вестник транспорта. 2023. № 5. С. 32–37.

9. *Обухов А. Д., Понятов А. А.* Развитие методов представления знаний в интеллектуальных транспортных системах // Железнодорожный транспорт. 2022. № 2. С. 26–29.

10. *Тарасян В. С., Карачев Д. К.* Моделирование нейросетевого автономного транспортного средства в виртуальной среде // Инновационный транспорт. 2021. № 4 (42). С. 62–66.

11. *Юмаганов А. С., Агафонов А. А., Мясников В. В.* Адаптивное управление сигналами светофоров на основе обучения с подкреплением, инвариантное к конфигурации светофорного объекта // Компьютерные исследования и моделирование. 2024. Т. 16. № 5. С. 1253–1269.

12. *Грушников В. А.* Концепция и реализация искусственного интеллекта на автомобильном транспорте за рубежом // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2023. № 2. С. 53–59.

13. *Веюкова А. В., Веюков Е. В.* Система учета интенсивности транспортного потока на основе искусственного интеллекта // Научному прогрессу – творчество молодых. 2023. № 2. С. 205-207.

14. *Власов А. С., Круглова Т. Н.* Разработка и моделирование искусственной нейронной сети для ИИ-водителя в составе беспилотного транспортного средства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 8. С. 110–117.

References

1. Giruts P. V., Maksimei I. V., Sukach E. I. Adaptive Control of Traffic Flows Based on Simulation Modelling. *Proceedings of Francisk Skorina Gomel State University*, 2008, no. 5–1 (50), pp. 136–139.

2. Suvorov S. V., Osipov A. V., Zhilyaeva I. A. Concept of an Intelligent Transport System for Autonomous Vehicles Based on a Multi-Agent Approach. *Russian Economic Online Journal*, 2019, no. 4, pp. 123.

3. Smirnov O. P., Tropina A. A. Application of Artificial Intelligence in Transport Systems. Automobile and Electronics. *Modern Technologies*, 2013, no. 2 (5), pp. 34–37.

4. Tikhonov M. K., Nepomnyashchiy D. O., Khaidukova V. N. A Method for Training an Intelligent Agent Using Double DQN Networks, Waypoints, and a Reward Function. *Research Result. Information Technologies*, 2024, vol. 9, no. 3, pp. 63–72.

5. Zhdanov A. A., Preobrazhenskii N. B., Kholopov Yu. A. et al. Hardware Implementation of a Neural Network in an Adaptive Control System. *Neurocomputers: Development, Application*, 2016, no. 6. pp. 55–62.

6. Romanova V. R., Zuev S. V. Adaptive Trajectory Control System for an AUV Based on a Feedforward Neural Network. *Large-Scale Systems Control: Proceedings*, 2024, no. 108. pp. 192–216.

7. Sytsko A. V. Control System for an Autonomous Mobile Robot Based on Adaptive Resonance. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*, 2004, vol. 7, pp. 105–110.

8. Grushnikov V. A. Foreign Implementations of Autonomous Road Transport. *Transport Bulletin*, 2023, no. 5, pp. 32–37.

9. Obukhov A. D., Ponyatov A. A. Advancing Knowledge Representation Methods in Intelligent Transport Systems. *Railway Transport*, 2022, no. 2, pp. 26–29.

10. Tarasyan V. S., Karachev D. K. Modelling a Neural Network Autonomous Vehicle in a Virtual Environment. *Innovative Transport*, 2021, no. 4 (42), pp. 62–66.

11. Yumaganov A. S., Agafonov A. A., Myasnikov V. V. Configuration-Invariant Reinforcement Learning-Based Adaptive Traffic Signal Control. *Computer Research and Modeling*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 1253–1269.

12. Grushnikov V. A. The Concept and Implementation of Artificial Intelligence in Road Transport Abroad. *Transport: Science, Technology, Management. Scientific Information Digest*, 2023, no. 2, pp. 53–59.

13. Veyukova A. V., Veyukov E. V. A System for Accounting Traffic Flow Intensity Based on Artificial Intelligence. *Scientific Progress – Creativity of the Young*, 2023, no. 2, pp. 205–207.

14. Vlasov A. S., Kruglova T. N. Development and Modelling of an Artificial Neural Network for an AI Driver within an Unmanned Vehicle. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2020. No. 8. pp. 110–117.

УДК

В. Е. КОСАРЕВ, канд. техн. наук; О. Ю. ГОРОДЕЦКАЯ, Я. Л. ГОБАРЕВА, кандидаты экономич. наук; М. Е. РЫЧАГО, канд. физ.-мат. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: vkosarev@fa.ru
V. E. Kosarev, O. Yu. Gorodetskaya, Ya. L. Gobareva, M. E. Rychago (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Интеграция распределенных облачных вычислений и модульных информационных систем для повышения эффективности управления промышленным производством

Integration of distributed cloud computing and modular information systems to improve the efficiency of industrial production management

Исследование посвящено обоснованию интеграции распределенных облачных вычислений с модульными информационными системами классов MES и ERP для кардинального повышения эффективности управления промышленным производством в парадигме Индустрии 4.0 на фоне инфраструктурных и кадровых ограничений, а также возросших требований к операционной гибкости и киберустойчивости. Разрабатывается и верифицируется гибридная архитектура edge–fog–cloud computing (периферийные, туманные, облачные вычисления), формирующая единый адаптивный контур планирования и диспетчеризации от цехового уровня до стратегических решений. Методологически работа опирается на междисциплинарный обзор 70 источников с выделением 15 ключевых публикаций, формирование теоретической модели информационных потоков ERP–MES–АСУ ТП и имитационное моделирование дискретного предприятия в двух сценариях: изолированные системы и полнофункциональная интеграция с распределенной обработкой; для оценки использованы операционные метрики (OEE и его компоненты, длительность производственного цикла), экономические показатели (TCO, ROI, структура затрат) и технико-сетевые характеристики (задержка, использование пропускной способности). Результаты показывают существенный рост OEE с 72,36 до 88,63 %, сокращение длительности цикла на 16,41 % и снижение уровня брака на 72,03 % благодаря переходу от реактивного к предиктивному обслуживанию, динамическому перераспределению заданий и встроенному контролю качества на периферии; технологическая база эффекта – уменьшение средней задержки до < 5,3 мс (против 185,5 мс в централизованном облаке), снижение облачного трафика до 12,6 %, рост отказоустойчивости и локализации данных. Экономически интеграция сопровождается увеличением TCO на 34,74 % в трехлетнем горизонте, но компенсируется снижением производственных затрат на 18,45 %, логистических – на 14,68 %, затрат на управление качеством – на 21,33 % и дополнительной выручкой 94,57 млн руб., обеспечивая ROI 248,71 %; обсуждение фиксирует причинно-следственную связку «технические преимущества → операционная эффективность → финансовый результат».

The study substantiates the integration of distributed cloud computing with modular information systems of the MES and ERP classes to achieve a radical improvement in the efficiency of industrial production management within the Industry 4.0 paradigm amid infrastructural and personnel constraints, as well as heightened demands for operational flexibility and cyber-resilience; the aim is to develop and verify a hybrid edge–fog–cloud architecture that forms a unified adaptive loop of planning and dispatching from the shop-floor level to strategic decision-making. Methodologically, the work relies on an interdisciplinary review of 70 sources with 15 key publications identified, the development of a theoretical model of ERP–MES–APCS information flows, and simulation modeling of a discrete manufacturing enterprise in two scenarios: isolated systems and full-featured integration with distributed processing; evaluation employed operational metrics (OEE and its components, production cycle time), economic indicators (TCO, ROI, cost structure), and technical–network characteristics (latency, bandwidth utilization). The results show a substantial increase in OEE from 72,36 to 88,63 %, a 16,41 % reduction in cycle time, and a 72,03 % decrease

in scrap rate due to the transition from reactive to predictive maintenance, dynamic job reallocation, and embedded edge quality control; the technological basis of the effect is a decrease in average latency to < 5,3 ms (versus 185,5 ms in a centralized cloud), a reduction of cloud traffic to 12,6 %, increased fault tolerance, and data localization. Economically, the integration is accompanied by a 34,74 % increase in TCO over a three-year horizon, but this is offset by an 18,45 % reduction in production costs, a 14.68% reduction in logistics costs, a 21,33 % reduction in quality management costs, and additional revenue of 94,57 million rubles, yielding an ROI of 248,71 %; the discussion establishes the causal chain «technical advantages → operational efficiency → financial result».

Ключевые слова: распределенные облачные вычисления; периферийные и туманные вычисления; информационные системы; MES; ERP; общая эффективность оборудования.

Keywords: distributed cloud computing; edge and fog computing; information systems; MES; ERP; overall equipment effectiveness.

Современная промышленная парадигма, определяемая концепцией Индустрии 4.0, представляет собой фундаментальный сдвиг в производственных технологиях, направленный на создание полностью автоматизированных, гибко взаимодействующих киберфизических систем [1–6]. Этот переход обещает беспрецедентный уровень эффективности, однако его практическая реализация сопряжена со значительными трудностями. Несмотря на активное внедрение передовых технологий, многие промышленные предприятия продолжают сталкиваться с системными проблемами, такими как низкая производительность труда, нерациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов, высокая себестоимость конечной продукции и неэффективная загрузка производственных мощностей [7–11]. Глобальное конкурентное давление вынуждает производителей искать комплексные решения, способные не просто автоматизировать отдельные операции, а трансформировать всю систему управления производством, обеспечивая ее адаптивность и экономическую устойчивость [12–15].

Цифровая трансформация в российском промышленном секторе демонстрирует высокие темпы роста, во многом стимулируемые государственной политикой импортозамещения и необходимостью повышения технологического суверенитета. Объем российского рынка облачных инфраструктурных сервисов по итогам 2024 г. достигает 165,6 млрд руб., что на 36,3 % превышает показатель 2023 г., и по прогнозам к 2025 г. может вырасти до 300 млрд руб. Параллельно, общий рынок разработки программного обеспечения в России показал еще более впечатляющую динамику, достигнув 4,97 трлн руб. в 2024 г., что соответствует росту на 40 %. Эти количественные показатели свидетельствуют о масштабных инвестициях в цифровые технологии и формировании мощного внутреннего рынка ИТ-решений, что создает благоприятные условия для технологической модернизации промышленности.

В сегменте корпоративных информационных систем также наблюдается устойчивая положительная динамика. Российский рынок систем планирования ресурсов предприятия (*ERP*) оценивается в 90 млрд руб., при этом доля отечественных решений, среди которых доминируют продукты компании «1С», составляет уже 55 %. В сегменте систем управления производственными процессами (*MES*) прогнозируется рост до 16,64 млрд руб. к 2028 г. Эти данные отражают глубокое проникновение базовых информационных систем в контур управления российских предприятий. Однако, несмотря на значительные вложения, эти системы часто функционируют изолированно, что ограничивает их совокупный эффект и не позволяет реализовать полный потенциал цифровизации для сквозного управления производственными цепочками.

Несмотря на позитивную динамику рыночных показателей, процесс цифровизации промышленных предприятий в России сталкивается с рядом системных барьеров, препятствующих достижению желаемого уровня эффективности. Ключевыми проблемами являются отсутствие развитой цифровой инфраструктуры на многих предприятиях, особенно в удаленных регионах, острый дефицит квалифицированных кадров, способных внедрять и эксплуатировать сложные ИТ-системы, а также высокая стоимость внедрения комплексных решений и перманентные риски, связанные с кибербезопасностью. Существующий парадокс заключается в том, что активное приобретение передовых технологий происходит на фоне сохранения фундаментальных инфраструктурных и кадровых ограничений. Это указывает на то, что наращивание инвестиций в ИТ без разработки комплексной стратегии интеграции и преодоления структурных проблем не может обеспечить прорыв в повышении производственной эффективности.

В настоящем исследовании выдвигается и обосновывается гипотеза о том, что стратегическая интеграция архитектуры распределенных облачных

вычислений с модульными информационными системами *MES* и *ERP* является ключевым фактором для преодоления указанных барьеров и достижения синергетического эффекта в управлении промышленным производством. Предлагаемая модель позволяет сочетать преимущества локальной обработки данных для задач, требующих минимальной задержки (*real-time control*), с мощными аналитическими возможностями централизованных облачных платформ для стратегического планирования. Такая гибридная архитектура обеспечивает не только технологическую гибкость и масштабируемость, но и формирует единое информационное пространство, позволяющее осуществлять оперативное управление на основе актуальных данных и принимать обоснованные стратегические решения, что в конечном итоге ведет к кардинальному повышению общей эффективности производства.

Материалы и методы исследования

Методологической основой данного исследования служит комплексный анализ научных и прикладных работ, охватывающий широкий спектр источников. Изучаются публикации в рецензируемых академических журналах, материалы международных конференций (*IEEE*), аналитические отчеты ведущих консалтинговых агентств, таких как *iKS-Consulting*, *TAdviser*, *Mordor Intelligence*, а также техническая документация и спецификации от ключевых поставщиков технологических решений. Общее количество проанализированных источников составляет 70 ед., из которых для непосредственного цитирования и подтверждения ключевых положений работы отобрано 15 наиболее релевантных публикаций, обеспечивающих теоретическую и эмпирическую базу для проводимого анализа.

В качестве концептуальной основы для анализа вычислительной инфраструктуры используется модель распределенных облачных вычислений, которая определяется как предоставление вычислительных ресурсов по запросу через интернет. В отличие от традиционной централизованной модели, данная архитектура включает в себя иерархические уровни обработки данных, такие как периферийные (*edge*) и туманные (*fog*) вычисления. Периферийные вычисления подразумевают обработку данных непосредственно на конечном устройстве или в непосредственной близости от источника их генерации, например, на программируемом логическом контроллере станка. Это критически важно для промышленных приложений, требующих реакции в реальном времени с минимальной задержкой. Туманные вычисления представляют собой промежуточный слой в локальной компьютерной сети предприятия (*LAN*), который выполняет функции агрегации, предварительной обработки и фильтрации данных, поступающих от множества периферийных устройств, перед их отправкой в центральное облако. Такая многоуровневая структура позволяет оптимизировать сетевой трафик, повысить отказоустойчивость и обеспечить необходимую производительность для критически важных производственных задач.

Параллельно рассматривается архитектура модульных информационных систем, включающая системы классов *ERP* (*Enterprise Resource Planning*) и *MES* (*Manufacturing Execution System*). *ERP*-система определяется как инструмент стратегического уровня, предназначенный для интегрированного управления основными бизнес-процессами предприятия, такими как финансы, закупки, управление персоналом и цепочками поставок. В свою очередь, *MES*-система функционирует на операционном (цеховом) уровне и обеспечивает управление, мониторинг и документирование производственных процессов в режиме реального времени. Она выступает в роли связующего звена между бизнес-планированием на уровне *ERP* и системами автоматизации технологических процессов (АСУ ТП) на уровне оборудования. Современные *MES*-системы строятся по модульному принципу, что позволяет осуществлять их поэтапное внедрение и гибкую адаптацию к специфическим требованиям конкретного производства.

Ключевым методологическим принципом исследования является анализ синергетического эффекта, возникающего при интеграции описанных выше систем. Теоретическая модель интеграции предполагает следующий информационный поток: *ERP*-система формирует производственный заказ, который транслируется в *MES*-систему. *MES* детализирует заказ до уровня конкретных производственных операций и сменных заданий, после чего осуществляет их диспетчеризацию и контроль исполнения. Данные о ходе производства, расходе материалов, простоях оборудования и контроле качества собираются в реальном времени с датчиков и контроллеров (периферийный уровень) и передаются в *MES*. Агрегированная оперативная информация из *MES*, в свою очередь, поступает обратно в *ERP*, обеспечивая актуализацию планов, точный расчет себестоимости и формирование управленческой отчетности. Этот замкнутый контур обратной связи преобразует набор разрозненных систем в единый, адаптивный механизм управления. Для оценки эффективности предложенной интегрированной модели применяется гибридная методология, сочетающая операционные и экономические показатели. В качестве основного опера-

ционного метрика используется показатель Общей эффективности оборудования (*OEE*), который комплексно оценивает производственные потери через три компоненты: Доступность (*Availability*), Производительность (*Performance*) и Качество (*Quality*). Для экономической оценки применяются принципы методологий Совокупного экономического эффекта (*TEI*), учитывающей не только прямые затраты и выгоды, но и гибкость и стратегические преимущества, и Совокупной стоимости владения (*TCO*), которая включает все прямые и косвенные затраты на протяжении жизненного цикла системы.

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка реального эффекта от внедрения комплексных информационных систем в условиях действующего промышленного предприятия сопряжена с методологическими трудностями, связанными с необходимостью изоляции влияния именно интеграционного фактора от множества других переменных, таких как изменение рыночной конъюнктуры, обновление парка оборудования или повышение квалификации персонала. Для преодоления этих ограничений и получения объективных, сопоставимых данных в рамках настоящего исследования применяется метод имитационного моделирования. Была разработана цифровая модель условного предприятия дискретного типа, функционирующего в двух сценариях: базовом, где системы *ERP* и *MES* работают изолированно, и экспериментальном, где реализована полнофункциональная интеграция этих систем с трехуровневой архитектурой распределенных вычислений (периферия-туман-облако).

Выбор ключевых показателей эффективности (*KPI*) для сравнительного анализа продиктован необходимостью формирования целостной картины, отражающей влияние интеграции на различные аспекты деятельности предприятия. Простого анализа одного показателя, например, производительности, недостаточно для комплексной оценки. Поэтому сформирована система метрик, включающая операционные показатели (*OEE* и его компоненты, длительность производственного цикла), экономические индикаторы (совокупная стоимость владения, возврат на инвестиции, снижение операционных затрат) и технические характеристики самой вычислительной архитектуры (задержка обработки данных, использование сетевой пропускной способности). Такой многоаспектный подход позволяет проследить всю цепочку причинно-следственных связей: от фундаментальных преимуществ архитектуры до их проявления в операционной эффективности и, в конечном счете, в финансовых результатах предприятия (см. табл. 1).

Анализ данных демонстрирует значительное улучшение операционных показателей при переходе к интегрированной модели управления. Наиболее показательным является рост интегрального показателя *OEE* с 72,36 до 88,63 %, что соответствует увеличению на 22,48 % и приближает предприятие к показателям мирового класса. Этот совокупный результат достигается за счет синергетического улучшения всех трех его составляющих. Рост доступности оборудования на 11,37 % напрямую связан с внедрением механизмов предиктивного технического обслуживания, которые стали возможны благодаря непрерывному сбору и анализу телеметрических данных с датчиков на периферийном уровне. Система в реальном времени отслеживает вибрацию, температуру и другие параметры, прогнозируя потенциальные сбои и позволяя проводить обслуживание до возникновения аварийной остановки.

Повышение производительности на 7,09 % обусловлено сокращением времени микропростоев и оптимизацией производственных графиков. Интегрированная система обеспечивает мгновенную обратную связь от *MES* к *ERP*, позволяя динамически перераспределять задания между рабочими центрами в случае локальных задержек или изменения приоритетов, что минимизирует простои в ожидании материалов или инструкций. Наиболее драматические изменения наблюдаются в показателях качества: уровень брака снижается на 72,03 %. Этот результат является прямым следствием применения низколатентной обработки данных на периферии. Встроенные в производственную линию системы машинного зрения и другие средства контроля качества анализируют продукцию в режиме реального времени и при обнаружении отклонения от спецификации могут либо немедленно остановить процесс, либо автоматически скорректировать параметры оборудования, предотвращая выпуск дефектной продукции. Сокращение производственного цикла на 16,41 % является комплексным результатом всех вышеперечисленных улучшений, отражая общее ускорение и повышение слаженности производственного потока (см. табл. 2).

Экономический анализ переводит операционные улучшения в финансовую плоскость. Следует отметить, что внедрение интегрированной системы сопряжено с увеличением совокупной стоимости владения на 34,74 % в трехлетней перспективе, что отражает значительные первоначальные инвестиции в программное обеспечение, оборудование и услуги по интеграции. Однако эти затраты многократно окупаются за счет достигаемого экономического эффекта. Модель прогнозирует снижение прямых производственных затрат на 18,45 % за счет более эффективного использования сырья (сокращение брака) и

энергоресурсов. Логистические расходы сокращаются на 14,68 % благодаря оптимизации внутрицеховой логистики и более точному планированию поставок «точно в срок», что стало возможным благодаря прозрачности производственных процессов.

Наибольшее относительное снижение затрат наблюдается в области управления качеством (21,33 %), что коррелирует с резким падением уровня брака и, как следствие, сокращением расходов на переделку, утилизацию и гарантийные обязательства. Помимо прямой экономии на затратах, система генерирует значительную дополнительную выручку в размере 94,57 млн рублей. Этот эффект обусловлен увеличением пропускной способности производства (за счет роста *OEE*) и сокращением сроков выполнения заказов, что позволяет предприятию обслуживать большее количество клиентов и повышать их удовлетворенность. Итоговый показатель *ROI* составляет 248,71 %, что свидетельствует о высокой экономической целесообразности проекта и быстрой окупаемости первоначальных вложений, что подтверждается практическими кейсами внедрения (см. табл. 3).

Данные таблицы 3 раскрывают фундаментальные технологические преимущества распределенной архитектуры, которые лежат в основе наблюдаемых операционных и экономических улучшений. Ключевым параметром для систем управления в реальном времени является задержка (*latency*). В модели с централизованным облаком, где все данные для обработки должны пройти путь от датчика до удаленного дата-центра и обратно, средняя задержка составляет 185,5 мс. Этот показатель является неприемлемым для задач, требующих мгновенной реакции, таких как управление движением робота или высокоскоростной контроль качества. Периферийные вычисления, обрабатывая данные на месте, снижают за-

Таблица 1

Система метрик, включающая операционные показатели

Показатель	Базовая модель (Изолированные системы)	Интегрированная модель	Изменение, %
Доступность оборудования, %	84,15	93,72	+11,37
Производительность, %	89,53	95,88	+7,09
Качество, %	96,21	98,94	+2,84
Общая эффективность оборудования (*OEE*), %	72,36	88,63	+22,48
Среднее время производственного цикла, мин	45,7	38,2	–16,41
Уровень брака, %	3,79	1,06	–72,03

Таблица 2

Расчет экономических показателей

Экономический показатель	Прогноз на 3 года (Изолированные системы)	Прогноз на 3 года (Интегрированная модель)	Экономический эффект
Совокупная стоимость владения (ТСО), млн руб.	48,33	65,12 (включая внедрение)	+34,74 %
Снижение производственных затрат, %	–	18,45	–
Снижение логистических расходов, %	–	14,68	–
Снижение затрат на управление качеством, %	–	21,33	–
Дополнительная выручка (за счет роста произв.), млн руб.	–	94,57	+94,57
Возврат на инвестиции (*ROI*), %	–	248,71	–

Таблица 3

Расчет экономических эффектов

Характеристика	Централизованное облако	Туманные вычисления (*Fog*)	Периферийные вычисления (*Edge*)
Средняя задержка обработки данных, мс	185,5	22,8	< 5,3
Потребление пропускной способности сети, % от общего трафика	100	35,4	12,6
Устойчивость к сбоям внешней сети	Низкая	Средняя	Высокая
Безопасность (локализация данных)	Низкая	Средняя	Высокая

держку до уровня менее 5,3 мс, что обеспечивает возможность реализации самых требовательных к времени отклика управляющих контуров.

Другим критически важным аспектом является нагрузка на сетевую инфраструктуру. Централизованная модель требует передачи 100 % необработанных данных в облако, что создает огромную нагрузку на каналы связи и может быть экономически невыгодно или технически невозможно для предприятий с ограниченной пропускной способностью. Использование периферийных и туманных вычислений для предварительной фильтрации и агрегации данных позволяет сократить объем передаваемого в облако трафика до 12,6 % от исходного. Это не только снижает затраты на связь, но и решает проблему инфраструктурных ограничений. Кроме того, распределенная архитектура значительно повышает отказоустойчивость и безопасность. Критически важные производственные процессы, управляемые на периферийном уровне, продолжают функционировать даже при полном отказе внешнего интернет-соединения. Локализация обработки и хранения чувствительных производственных данных также минимизирует риски их перехвата или несанкционированного доступа, обеспечивая высокий уровень информационной безопасности.

Комплексный анализ полученных результатов позволяет выстроить четкую логическую цепь. Технологические преимущества распределенной вычислительной архитектуры, в первую очередь сверхнизкая задержка и автономность периферийных вычислений (см. табл. 3), создают техническую возможность для реализации функций управления и контроля в реальном времени. Эти функции, в свою очередь, напрямую приводят к кардинальному улучшению операционных показателей: росту доступности оборудования, повышению производительности и, что особенно важно, резкому снижению уровня брака (см. табл. 1). Наконец, совокупность этих операционных улучшений трансформируется в измеримый экономический эффект, выражающийся в существенном снижении затрат, генерации дополнительной выручки и высоком возврате на инвестиции (см. табл. 2). Таким образом, имитационное моделирование убедительно доказывает, что именно синергетическая интеграция систем *ERP*, *MES* и распределенных вычислений является тем катализатором, который позволяет преобразовать технологические возможности в конкретные производственные и финансовые преимущества, подтверждая центральную гипотезу исследования.

Выводы. 1. Синергетическая интеграция распределенных облачных вычислений с модульными информационными системами классов *MES* и *ERP* является мощным инструментом для кардинального повышения эффективности управления современным промышленным производством. Результаты имитационного моделирования показывают значительные количественные улучшения по всем ключевым направлениям: общая эффективность оборудования (*OEE*) возрастает на 22,48 %, достигая показателя 88,63 %, уровень производственного брака сокращается на 72,03 %, а прогнозируемый возврат на инвестиции (*ROI*) в трехлетней перспективе составляет 248,71 %. Эти результаты подтверждают, что эффект от внедрения интегрированного комплекса значительно превосходит сумму эффектов от изолированного использования его отдельных компонентов.

2. Стратегическое значение предложенной интеграционной модели для промышленных предприятий заключается в формировании единого, адаптивного цифрового контура управления, охватывающего все уровни от технологической операции до стратегического планирования. Такая архитектура позволяет преодолеть ключевые барьеры на пути цифровизации. Проблема инфраструктурных ограничений решается за счет переноса основной массы вычислений на периферийный уровень, что снижает требования к пропускной способности сетей. Повышается отказоустойчивость и кибербезопасность за счет автономной работы критически важных цеховых систем. Создается среда для эффективного использования данных, что способствует принятию своевременных и обоснованных решений как на оперативном, так и на стратегическом уровне. Для российских предприятий это не просто путь к оптимизации, а необходимое условие для повышения конкурентоспособности и обеспечения технологического суверенитета в условиях глобальных экономических вызовов.

3. Необходимо признать, что практическая реализация подобной комплексной системы является сложной инженерной и организационной задачей. Успех проекта зависит не только от правильного выбора технологической платформы, но и от готовности предприятия к изменениям. Внедрение требует значительных капитальных вложений, перестройки бизнес-процессов, а также формирования новых компетенций у персонала в области анализа данных, промышленного интернета вещей и эксплуатации сложных информационных систем. Ключевыми факторами успеха становятся наличие четкой стратегии цифровизации, поддержка проекта со стороны высшего руководства и готовность к долгосрочным инвестициям в технологии и человеческий капитал.

4. Перспективы дальнейшего развития и применения полученных результатов лежат в нескольких плоскостях. Во-первых, необходима разработка отраслевых референтных моделей и стандартизированных протоколов интеграции, которые могли бы снизить сложность и стоимость внедрения подобных систем для предприятий различных секторов промышленности. Во-вторых, огромный потенциал для дальнейшей оптимизации заложен в применении технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа данных, собираемых в рамках интегрированной системы. Это позволит перейти от предиктивного к прескриптивному управлению, когда система не только прогнозирует события, но и предлагает оптимальные управляющие воздействия. Наконец, требуется проведение натурных исследований и пилотных внедрений на реальных производственных площадках для валидации результатов моделирования и накопления практического опыта, который станет основой для широкого тиражирования данной передовой модели управления.

Список литературы

1. *Попов В., Волков Д.* Industrial cloud – новый виток развития производства // Открытые системы. СУБД. 2020. № 2. С. 8–11.

2. *Шапетько Л. А., Курнасов Е. В., Харьковский С. Е.* Модуль обработки post-запросов сервиса IoT и экспорта данных промышленной АСУ из облачной инфраструктуры в локальное хранилище // Промышленные АСУ и контроллеры. 2021. № 6. С. 37–45.

3. *Овсянников М. В., Подкопаев С. А.* Облачная система управления производством в рамках жизненного цикла продукции на основе «интернета вещей» // Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10. № 3. С. 1311–1318.

4. *Сюндюкова Е. В.* Анализ развития и использования промышленного интернета вещей в облачном и интеллектуальном аддитивном производствах // Экономика и качество систем связи. 2023. № 3 (29). С. 80–89.

5. *Пальчиков И. А., Ярмонова А. Г.* Нативные облачные платформы // Инновации, технологии и бизнес. 2022. № 2 (12). С. 51–54.

6. *Серышев Р. В., Новикова С. В.* Облачное производство: трансформация производственных систем // Экономика и управление в машиностроении. 2020. № 1. С. 7–10.

7. *Черепенин В. А., Пантелеев Д. С., Воробьев С. П.* Концепция распределенных вычислений (edge/fog/cloud) и искусственного интеллекта // Перспективы науки. 2025. № 2 (185). С. 42–45.

8. *Багдасарьян А. Д., Бахарева В. С.* Системы поддержки принятия бизнес-решений на базе облачных технологий // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2022. № 2 (91). С. 16–24.

9. *Харченко К. В., Зубец А. Ж., Разумова Е. В.* и др. Интеграция распределенных облачных вычислений для повышения эффективности угольной добычи и мониторинга горных процессов // Горная промышленность. 2025. № 2. С. 82–90.

10. *Радов К. С., Тугарин С. В., Коровина А. А.* и др. Технологии промышленного интернета и их влияние на экономический рост // Экономика и предпринимательство. 2021. № 7 (132). С. 264–267.

11. *Рылов С. А.* IIoT аппаратная архитектура распределенных систем управления непрерывными промышленными производствами и агрокомплексами // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 1 (50). С. 105–113.

12. *Шейхгасанов Ш. К., Колотилов Ю. В.* Методы достижения энергоэффективности в облачных вычислениях // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 2. С. 77–83.

13. *Исаев А. Л., Исполатов Ф. О.* Создание и сопровождение среды разработки распределенных систем обработки информации // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 82-2. С. 23–26.

14. *Potekhin V. V., Alekseev A. P., Kuklin E. V.* et al. Cloud distributed control system based on open process automation platform // Computing, Telecommunications and Control. 2023. Т. 16. № 2. С. 17–28.

15. *Sun R.Q., Zhang Y., Liu L.* et al. Exploration and application of cloud-network integration control architecture in industry // Journal of Physics: Conference Series. 2023. Т. 2589. № 1. С. 012021.

References

1. Popov V., Volkov D. Industrial cloud – a new stage in the development of manufacturing. *Open Systems. DBMS*, 2020, no. 2, pp. 8–11.

2. Shapetko L. A., Kurnasov E. V., Kharkovsky S. E. Module for processing POST requests of an IoT service and exporting industrial ACS data from a cloud infrastructure to a local storage. *Industrial ACS and Controllers*, 2021, no. 6, pp. 37–45.

3. Ovsyannikov M. V., Podkopaev S. A. A cloud-based production management system within the product life cycle based on the Internet of Things. *Issues of Innovative Economy*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 1311–1318.

4. Syundyukova E. V. Analysis of the development and use of the Industrial Internet of Things in cloud and intelligent additive manufacturing. *Economics and Quality of Communication Systems*, 2023, no. 3 (29), pp. 80–89.

5. Palchikov I. A., Yarmonova A. G. Cloud-native platforms. *Innovations, Technologies and Business*, 2022, no. 2 (12), pp. 51–54.

6. Seryshev R. V., Novikova S. V. Cloud manufacturing: transformation of manufacturing systems. *Economics and Management in Mechanical Engineering*, 2020, no. 1, pp. 7–10.

7. Cherepenin V. A., Panteleev D. S., Vorobyov S. P. The concept of distributed computing (edge/fog/cloud) and artificial intelligence. *Prospects of Science*, 2025, no. 2 (185), pp. 42–45.

8. Bagdasaryan A. D., Bakhareva V. S. Business decision support systems based on cloud technologies. *Socio-Economic and Technical Systems: Research, Design, Optimization*, 2022, no. 2 (91), pp. 16–24.

9. Kharchenko K. V., Zubets A. Zh., Razumova E. V. et al. Integration of distributed cloud computing to increase the efficiency of coal mining and monitoring of mining processes. *Mining Industry*, 2025, no. 2, pp. 82–90.

10. Radov K. S., Tugarin S. V., Korovina A. A. et al. Industrial Internet technologies and their impact on economic growth. *Economics and Entrepreneurship*, 2021, no. 7 (132), pp. 264–267.

11. Rylov S. A. IIoT hardware architecture of distributed control systems for continuous industrial production and agro-industrial complexes. *Electrotechnologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex*, 2023, vol. 70, no. 1 (50), pp. 105–113.

12. Sheikhgasanov Sh. K., Kolotilov Yu. V. Methods for achieving energy efficiency in cloud computing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering and Informatics*, 2020, no. 2, pp. 77–83.

13. Isaev A. L., Ispolatov F. O. Creation and maintenance of a development environment for distributed information processing systems. *Trends in the Development of Science and Education*, 2022, no. 82–2, pp. 23–26.

14. Potekhin V. V., Alekseev A. P., Kuklin E. V. et al. Cloud distributed control system based on open process automation platform. *Computing, Telecommunications and Control*, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 17–28.

15. Sun R. Q., Zhang Y., Liu L. et al. Exploration and application of cloud-network integration control architecture in industry. *Journal of Physics: Conference Series*, 2023, vol. 2589, no. 1, pp. 012021.

Вниманию подписчиков!

Обращаем Ваше внимание на то, что с начала 2010 года издается *журнал под названием «Кузнечно-штамповочное производство»*, выпускаемый неким Жарковым В. А. и **не имеющий никакого отношения к нашему журналу «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением»**.

Использование Жарковым В. А. для своего издания первой части названия журнала «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением» вводит в заблуждение наших подписчиков. **Журнал, издаваемый Жарковым В. А., имеет совершенно другую тематическую направленность, он не входит в перечень ВАКа и по сути является сборником трудов самого Жаркова В. А.**

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАРКЕТИНГ

УДК

О. В. ФОКИНА, канд. экономи. наук (Вятский государственный университет, г. Киров); В. О. КОЖИНА, С. А. РЯБИЧЕНКО, кандидаты экономич. наук (Московский международный университет, г. Москва); О. В. СЮЗЕВА, канд. экономич. наук (Государственный университет просвещения; Московский международный университет, г. Москва)
E-mail: fokina@vyatsu.ru
O. V. Fokina (Vyatka State University, Kirov); V. O. Kozhina, S. A. Ryabichenko (Moscow International University, Moscow); O. V. Suzeva (State University of Education; Moscow International University, Moscow)

Ключевые риски инвестиционной проектной деятельности в сфере металлургического производства

Key risks of investment project activities in the metallurgical industry

Рассматриваются ключевые риски инвестиционной проектной деятельности в металлургической отрасли России. Дана характеристика рисков, описаны их последствия, раскрыты правительственные инициативы и меры, принимаемые участниками металлургического производства с целью нивелирования последствий рисков. Материал будет интересен представителям научной, образовательной среды и практикующим специалистам.

The article discusses the key risks of investment project activities in the metallurgical industry of Russia. It provides a description of the risks, their consequences, and government initiatives and measures taken by participants in the metallurgical industry to mitigate the risks. This article will be of interest to researchers, educators, and practitioners.

Ключевые слова: металлургическое производство; проектная деятельность; инвестиции; риски; санкции; издержки; рынок; конкуренция; экология.

Keywords: metallurgical production; project activities; investments; risks; sanctions; costs; market; competition; ecology.

Горнодобывающие проекты наиболее подвержены риску перерасхода средств по сравнению с проектами в сфере нефтегазовой промышленности, производства электроэнергии и инфраструктуры.

В целом инвестиции в проекты любого рода сопряжены с многочисленными рисками. Однако горнодобывающие проекты, к сожалению, характеризуются высоким уровнем риска, особенно в том, что касается продолжительности строительства и капитальных затрат. Горнодобывающие проекты часто приводят к значительному перерасходу средств, большему, чем в нефтегазовой отрасли, в сфере производства электроэнергии и в инфраструктурных проектах. Кроме того, капитальные затраты и производственные издержки могут более чем в два раза превышать показатели, рассчитанные в технико-экономических обоснованиях. Это явление становится все более распространенным.

Материалы и методы исследования

Материалами для проведения исследования служат труды российских ученых, данные Федеральной службы государственной статистики, статистические данные ФНИУ «Высшая школа экономики», отраслевые обзоры, экспертные аналитические материалы. В процессе исследования используются количественные и качественные методы теоретического исследования в виде анализа, синтеза, абстрагирования, логических построений, обобщения, сравнения.

Результаты исследования и их обсуждение

Металлургическое производство, как одна из важнейших отраслей экономики России, является важнейшим источником сырья и материалов для машиностроения, топливно-энергетического комплекса, строительства и других стратегически важных

отраслей. Важную роль в металлургическом производстве играет проектное управление благодаря способности решать задачи создания, модернизации и эксплуатации объектов с учетом специфики отрасли, что способствует повышению эффективности инвестиционной деятельности, увеличению гибкости производства и оптимальному использованию ресурсов. Проведенная модернизация и реструктуризация металлургического производства посредством проектного управления позволяет повысить технологический уровень отрасли и занять достойное место на мировом рынке металлов, несмотря на геополитические конфликты и нестабильную экономическую ситуацию [1]. Результатами становятся внедрение современных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, переход на низкоуглеродную металлургию, сокращение экологически вредных отходов производства, снижение доли убыточных предприятий, налаживание импортозамещения.

За период 2018–2023 гг. объем затрат на реализацию только инновационных проектов в металлургическом производстве вырос в 1,7 раза до 142,5 млрд руб. Объем товаров, работ, услуг увеличился в 2,8 раза (см. рисунок).

Активно развиваются инвестиционные проекты. Если в 2018 г. средний объем инвестиций металлургических компаний на внедрение инноваций и цифровизацию предприятий черной металлургии составляют 1 % от объема выручки, то в 2019 г. доля инвестиций вырастает до 1,5 % Суммарный объем

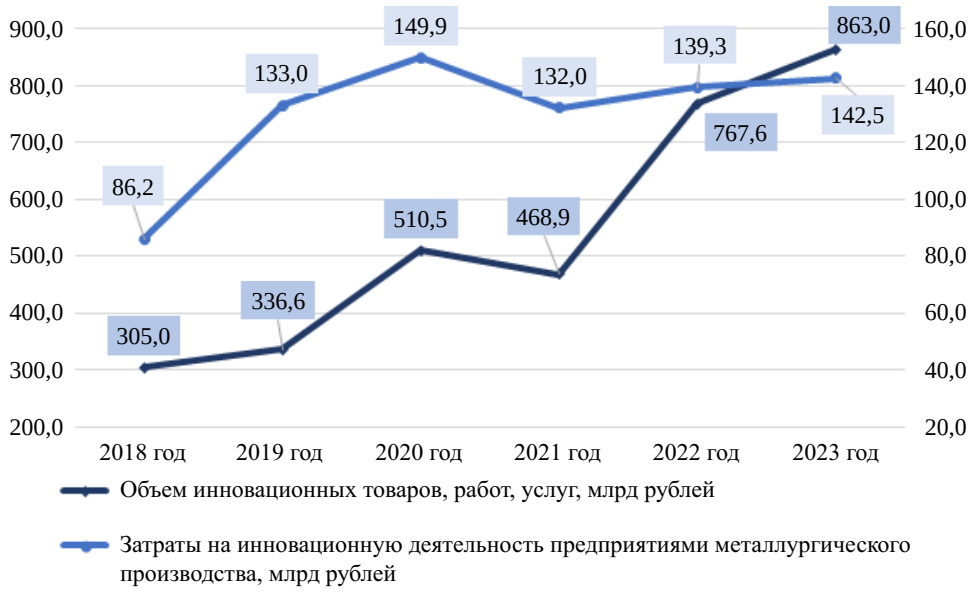


Рисунок. Показатели инновационной проектной деятельности в сфере металлургического производства

Таблица 1

Характеристика инвестиционного проектного пространства в металлургическом производстве России, июль 2025 г.

Критерий	Черная металлургия	Цветная металлургия
Количество проектов	62	754
Объем инвестиций, трлн руб.	1,7	5,5
Количество интересантов	30	150
Регионы-лидеры по объему инвестиций в активные проекты	Хабаровский край; Свердловская область; Челябинская область.	Чукотский АО; Забайкальский край; Хабаровский край; Саха/Якутия.
Приоритетные вопросы	Экологическая безопасность	
Особенности	На стадии строительства и модернизации более 60 % проектов. В период 2025–2029 гг. ожидается к вводу в эксплуатацию 61 проект на сумму 752,5 млрд руб. Планируется перенос ряда производств из России.	К категории малых относится более 70 % проектов с объемом инвестиций до 500 млн руб. Планируется увеличение производства редких и редкоземельных металлов в 7 раз и сокращение доли импорта с 75 до 45% к 2030 г.

Примечание. Интересантами реализации проектов выступают крупные структуры, занимающиеся финансированием, проектированием и возведением объектов отрасли

инвестиций предприятий черной и цветной металлургии на реализацию 25 проектов увеличивается на 13,3 % [2].

По состоянию на июль 2022 г. в России на разных стадиях реализовывалось 283 инвестиционных проекта в отраслях черной и цветной металлургии на сумму 5,36 трлн руб. [3]. В 2024 г. реализация новых инвестиционных проектов предполагала размер вложений в 3,5 трлн руб. [4]. В 2025 г. по состоянию на сентябрь в отрасли черной металлургии насчитывается 62 проекта, в цветной металлургии – 754 проекта (см. табл. 1) [5, 6].

Принципиальным условием повышения эффективности разработки и реализации проектов в металлургической отрасли является построение адекватных социально-экономических процессов развития и принятия актуальных управленческих решений. Вместе с тем развитию указанных процессов мешает ряд обстоятельств в виде высокого уровня операционных затрат, наличия сложных систем производственных связей в рамках технологических цепочек, узкого профиля производства, высокой волатильности результативных показателей, роста влияния социальных факторов [7].

Ситуацию осложняют санкционное давление, снижение спроса и глобальные экологические изменения. Так, в 2024 г. ограничения на экспорт продукции отрасли приводят к снижению объемов отгрузки на 7,9 %. Под санкции попадают поставки стали, продажа золота. Многие компании сталкиваются с логистическими проблемами с последующим перенаправлением логистических потоков с европейского рынка на Азиатско-Тихоокеанский регион с ростом издержек и увеличением оборотного капитала. Требования ЕС (*CBAM* или *Carbon Border Adjustment Mechanism* – механизм корректировки цен на границах, учитывающий выбросы углекислого газа) приводят к риску потери доли рынка. Наблюдается снижение основных производственных показателей российской металлургии: происходит снижение производства стали на 7 % по сравнению с 2023 г., готового проката – на 5,7 %, чугуна – на 6,2 %, добычи железной руды – на 0,9 %. По данным *World Steel Association* (*WSA*), Россия входит в топ-5 стран с наибольшим снижением производства стали в 2024 г. [8]. Все это позволяет сделать вывод о том, что проектная деятельность предприятий металлургической промышленности, переживающей в настоящее время кризис, сопоставимый с периодом 2008–2009 гг., сопряжена со многими рисками, преодоление которых требует системного выбора решений и внедрения мер по снижению в соответствии с принципами устойчивого развития [9, 10].

Основными вызовами при этом являются следующие:

- зависимость от внутреннего рынка;
- конкуренция со странами с низкой себестоимостью производства;
- экологические барьеры;
- санкционное давление;
- финансовая и производственная нестабильность компаний;
- технологическое отставание.

Характеристика ключевых рисков реализации инвестиционных проектов в металлургической отрасли России представлена в табл. 2.

В дополнение к этому проектная деятельность предприятий находится под влиянием макроэкономических (динамика обменного курса валют, уровень инфляции, процентные ставки и т. д.) и микроэкономических (уровень цен, инвестиции в основной капитал, оборачиваемость активов и др.) факторов [11].

Таблица 2

Характеристика ключевых рисков инвестиционной проектной деятельности в металлургической отрасли России

Вид риска	Описание риска	Факторы риска
Внешние риски		
Зависимость от внутреннего рынка	Высокая чувствительность к колебаниям внутреннего рынка	Внутренний рынок составляет от 75 до 80 % спроса. Падение внутреннего потребления на 5,6 % в 2024 г. Основные отрасли сокращения: строительство из-за слабого спроса на жилье и инвестиционной активности, энергетика, машиностроение.
Конкуренция с странами с низкой себестоимостью	Предложение аналогичной продукции по более низкой цене за счет более низкой себестоимости	Укрепление позиций Китая и Индии на мировом рынке. Активное наращивание производства Вьетнамом (+14,9 % к 2023 г.) и Турцией (+9,4 %).
Экологические барьеры	Требования к соблюдению строгих норм охраны окружающей среды	Высокие выбросы CO_2 (например, при производстве стали в среднем 2,3 т/т стали против 1,8 т/т в ЕС). Дефицит инвестиций в «зеленую» металлургию.
Санкционное давление	Введение ограничений, направленных на давление на государство и экономику	Ограничение доступа к рынкам капитала и финансовым услугам. Экспортноимпортные ограничения и цепочки поставок. Ограничения на оборудование и технологические требования.

Окончание табл. 2

Вид риска	Описание риска	Факторы риска
Внутренние риски		
Финансовая и производственная нестабильность компаний	Колебания в ликвидности, платежеспособности, финансовых потоках, объемах производства	Значительные фиксированные затраты на производство. Высокая долговая нагрузка. Ограниченная гибкость денежных потоков. Нестабильная динамика и снижение производства стали. Например, ПАО «Северсталь» (–7 %), ПАО «ММК» (–5,6 %), ООО «Митчел» (–2,4 %).
Технологическое отставание	Устаревание оборудования по техническим характеристикам, эффективности и соответствию современным требованиям	Средний возраст домен в РФ 25 лет против 15 лет в ЕС Устаревшие системы газоочистки и водоочистки Старые газоочистные установки и фильтры Изношенная инфраструктура прокатных станков и отвалов и др.

Возможными последствиями реализации рисков в проектной деятельности в металлургическом производстве являются увеличение издержек и снижение прибыли вследствие снижения цен на сырьевые товары; снижение конкурентоспособности российской отрасли на мировом рынке; возникновение сложностей при реализации крупных инвестиционных проектов вследствие дефицита финансирования; спад производства и доходности; необходимость пересмотра экспортных стратегий; ухудшение репутации предприятий; замедление производственных процессов и др. (см. табл. 3).

Помимо общих рисков, характерных для металлургического производства в России, следует выделить риски отдельных секторов промышленности. Так, черная металлургия является одним из сегментов, наиболее пострадавших от санкционного давления. Если в 2021 г. выручка ПАО «Северсталь» от реализации на европейском рынке составляет 34 %, то в 2022 г. экспортные отгрузки приходится отменить, что требует перенаправления потоков. Более устойчиво в этом отношении чувствуют себя ООО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) и ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК). Первый – за счет крупнейшей доли на внутреннем рынке, второй – за счет стабильных поставок слябов в Европу. Тем не менее санкции, рост издержек и снижение рентабельности влияют на решение компаний о пересмотре инфраструктурных и промышленных проектов, что сказывается на темпах роста производства и операционную рентабельность.

Таблица 3

Последствия ключевых рисков проектной деятельности в металлургической отрасли России

Вид риска	Последствия риска
Зависимость от внутреннего рынка	Снижение спроса на продукцию. Снижение загрузки мощностей. Снижение прибыли.
Конкуренция с странами с низкой себестоимостью	Усиление ценового давления на российский экспорт. Снижение маржи. Необходимость оптимизации затрат, внедрения инноваций, диверсификации рынков.
Экологические барьеры	Снижение конкурентоспособности продукции в условиях «зеленых» стандартов. Угроза потери 5–7 % экспорта к 2026 г. из-за требований ЕС (CBAM).
Санкционное давление	Сокращение экспорта стали на 7,9 % в 2024 г. Ограничения на доступ к технологиям и логистике, что затрудняет модернизацию и экспорт. Ограничение доступа к европейским рынкам и возможность снижения 5–7 % экспортных объемов в 2026 г. Повышение операционных издержек. Задержки/остановки инфраструктурных и производственных проектов Ограничение выхода на ликвидность и конвертацию средств
Финансовая и производственная нестабильность компаний	Трудности с исполнением обязательств Трудности с поддержанием устойчивых затрат и инвестиций Нарушение сроков поставок Сбои в работе оборудования
Технологическое отставание	Снижение объемов в период ремонта Снижение качества продукции Повышение затрат на ремонт и обслуживание Неспособность своевременно удовлетворять спрос

В цветной металлургии специфическим риском для АО «Российский алюминий» (РУСАЛ) является снижение поставок глинозема из-за остановки Николаевского завода на Украине и ограничение поставок сырья из Австралии. ПАО «ГМК «Норильский никель» (Норникель) лишается половины традиционных поставщиков оборудования и запасных частей, что влияет на сроки реализации инвестпроектов. Окончание акционерного соглашения между РУСАЛом и ООО «Холдинговой компанией Интеррос» в 2022 г., регламентирующее дивиденды Норникеля, порождает неопределенность по выплатам из-за роста инвестиционной программы. Это риск касается также РУСАЛа, где крупной статьей доходов являются поступления от Норникеля [12].

Наличие проектных рисков оказывает значимое влияние на объемы производства металлургической промышленности. Так, период 2022–2023 годов характеризуется нестабильностью производств, где, например, в 2022 г. наблюдается снижение производства чугуна на 25,4 %, а в 2023 г. последующий рост производства на 7,3 %. То же самое касается производства ферросплавов и свинца (см. табл. 4) [13].

Ситуация стабилизируется в 2024 г. со стабильным падением сектора черной металлургии и ростом выпуска цветных металлов. Так, производство алюминия увеличивается на 5,7 %, меди – на 3 %, свинца и цинка на 2 и 8 %, соответственно.

В 2025 г. металлургическая промышленность России переживает спад, где отрицательная динамика по-прежнему особенно заметна у предприятий черной металлургии. По данным Росстата, в январе–июле 2025 г. производство в отрасли снижается на 3,3 %. Многие производители фиксируют падение выручки и прибыли и рост долговой нагрузки под воздействием факторов спада продаж, снижения цен и удорожания заемных средств.

Риски металлургической отрасли частично нивелируются правительственными мерами. В перечень антикризисных инициатив входит предложение временно ввести мораторий на банкротство металлургических предприятий, обсуждаются точечные налогово-тарифные льготы в виде повышения вывозной пошлины на лом черных металлов с целью его удержания внутри страны и снижения сырьевой себестоимости, и отмены акциза на жидкую сталь для металлургических мини-заводов.

Активно участвуют в нивелировании рисков участники металлургического рынка, реализуя новые инвестиционные проекты (см. табл. 5).

Таблица 4

Динамика производства отдельных видов продукции металлургического производства, млн руб.

Продукция	2021 г.	2022 г.	Изменение г/г, %	2023 г.	Изменение г/г, %	2024 г.	Изменение г/г, %
Производство чугуна	112 276	83 782	–25,4	89 930	7,3	84 354	–6,2
Производство ферросплавов	222 496	253 382	13,9	201 261	–20,6	16 503	–91,8
Производство стали в слитках	240 562	256 795	6,7	292 865	14	272 072	–7,1
Производство алюминия	1 388 216	1 569 449	13,1	1 612 198	2,7	1 704 093	5,7
Производство свинца	19 565 827	19 860 011	1,5	19 238 346	–3,1	19 623 112	2
Производство цинка	33 440 923	37 844 975	13,2	41 206 181	8,9	44 502 675	8
Производство меди	762 004	862 875	13,2	969 898	12,4	998 995	3

Таблица 5

Инвестиционные проекты участников рынка металлургического производства в кризисных условиях

Предприятие	Примеры проектов	Инвестиции	Стратегия адаптации
ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»	Производство высококачественного проката. Объемы покрытия 0,45 млн т в год	$ 130 млн	Повышение качества продукции. Повышение энергоэффективности
	Создание замкнутых водооборотных циклов	1,2 млрд руб.	Внедрение «зеленых» технологий
	Утилизационная электростанция	35–40 млрд руб.	Повышение доли генерации энергии. Внедрение «зеленых» технологий
АО «Стойленский горно-обогатительный комбинат»	Модернизация электросталеплавильных мощностей	более $ 100 млн	Модернизация печного комплекса
	Замена системы очистки воздуха	200 млн руб.	Внедрение «зеленых» технологий

Окончание табл. 5

Предприятие	Примеры проектов	Инвестиции	Стратегия адаптации
ПАО «Северсталь»	Проекты ветро- и солнечной энергетики	–	Внедрение «зеленых» технологий
	Развитие добычи руды	–	Оптимизация затрат на добычу сырья
	Строительство комплекса по производству железорудных окатышей	$97 млрд	Внедрение «зеленых» технологий. Диверсификация экспорта в Азию
	Техническое переоснащение ООО «ЧМК»	7,5 млрд руб.	Модернизация производства
ООО «Магнитогорский металлургический комбинат»	Ремонт доменной печи № 7	$420 млн	Модернизация печного комплекса
	Организация экспорта из Турции через компанию	–	Увеличение доли Азии в экспорте
	Производство крепежных изделий и проволоки	1,5 млрд руб.	Импортозамещение. Диверсификация производства
	Строительство новых цехов	31 млрд руб.	
	Производственный комплекс коксовой батареи № 12	~90 млрд руб.	Обеспечение потребности в топливе. Внедрение «зеленых» технологий
ПАО «Мечел»	Развитие угольного бизнеса	–	Снижение зависимости от угольного сектора
	Аспирация литейного двора доменной печи № 4	650 млн руб.	Внедрение «зеленых» технологий
	Модернизация системы газоочистки	350 млн руб.	

Такие возможности, как диверсификация экспорта в Азию, на Ближний Восток и в Африку, переориентация на внутренний рынок, рост добычи угля и железной руды, инвестирование в устойчивое развитие и «зеленую» сталь дают потенциал восстановления отрасли при наличии государственной поддержки и адаптации к новым рынкам.

Согласно прогнозам ведущих аналитических агентств, в 2026 г. начнется медленное, но стабильное восстановление металлургического сектора в России. Планируется, что в 2035 г. производство стали достигнет 78 млн т, где основным драйвером роста будет увеличение внутреннего спроса на металл благодаря росту потребления в строительном секторе, производстве автомобилей, прочем машиностроении и нефтегазовой отрасли [14]. Такой сценарий означает необходимость подготовки участников рынка к изменениям в секторе, где стратегическое преимущество получат предприятия, способные работать в условиях высокой стоимости ресурсов, длинных путей поставок, новых маршрутов, а также умеющие предугадывать и нивелировать риски реализуемых проектов и программ развития.

Выводы. 1. Важная роль проектного управления в металлургическом производстве обусловлена способностью решать задачи создания, модернизации и эксплуатации объектов с учетом специфики отрасли, что подтверждается активизацией проектной деятельности и ростом затрат на реализацию проектов в последние годы.

2. Сравнение секторов черной и цветной металлургии позволяет выявить определенные особенности проектной деятельности, заключающиеся в количестве проектов, объемах проектных инвестиций, количестве интересантов проектов и пр. Вместе с тем, одним из приоритетных вопросов проектной деятельности обоих секторов является экологическая безопасность производств.

3. В настоящее время проектная деятельность предприятий металлургической промышленности, переживающей в настоящее время кризис, сопряжена со многими рисками, ключевыми из которых являются зависимость от внутреннего рынка, конкуренция со странами с низкой себестоимостью производства, экологические барьеры, санкционное давление, финансовая и производственная нестабильность компаний, технологическое отставание. Помимо общих рисков, существуют риски отдельных секторов металлургической промышленности. Так, для сектора черной металлургии – это санкционное давление, в цветной металлургии – снижение поставок сырья, запасных частей и оборудования.

4. Последствиями реализации указанных рисков в проектной деятельности предприятий являются увеличение издержек и снижение прибыли вследствие снижения цен на сырьевые товары, возникновение сложностей при реализации крупных инвестиционных проектов вследствие дефицита финансирования, спад производства и доходности, необходимость пересмотра экспортных стратегий, ухудшение репу-

тации предприятий, замедление производственных процессов. В целом наличие проектных рисков оказало значимое влияние на объемы производства металлургической промышленности

5. Риски металлургической отрасли частично нивелируются правительственными мерами, а также участниками рынка металлургического производства, занимающихся разработкой и внедрением инвестиционных проектов, ориентированных на внедрение «зеленых технологий», модернизацию производств, диверсификацию экспорта, снижение зависимости от поставок сырья, топлива и импортозамещение.

6. Усилия, прилагаемые правительством и участниками рынка к выходу металлургической промышленности из кризиса, будут способствовать, согласно прогнозам ведущих аналитиков, медленному, но стабильному восстановлению металлургического производства, начиная с 2026 г. Это, в свою очередь, означает необходимость подготовки участников к изменениям с учетом умения прогнозировать и нивелировать возникающие риски реализуемых проектов и программ развития.

Список литературы

1. *Романова О. А., Сиротин Д. В*. Стратегический вектор развития металлургии России в условиях новой реальности // Известия Уральского государственного университета. 2022. Вып. 3 (67). С. 133–145.

2. *Обзор* рынка черной металлургии // Делойт. 2019. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/Deloitte-steel-iron-russia-survey-2019.pdf.

3. *Черная* и цветная металлургия в России и мире // Инвестиционная группа ПКР. 2022. URL: https://prcs.ru/analytics-article/otrasli-chernoj-i-czvetnoj-metallurgii/.

4. *Мантуров* назвал сумму, которую металлурги направят на инвестпроекты // ПРАЙМ. 2024. URL: https://1prime.ru/20240715/manturov-850122076.html.

5. *Черная* металлургия в России: инвестиции, проекты, холдинги // Investprojects. 2025. URL: https://investprojects.info/sectors/iron-and-steel-industry?ysclid=mid3ke531g813376940.

6. *Цветная* металлургия в России: инвестиции, проекты, холдинги // Investprojects. 2025. URL: https://investprojects.info/sectors/non-ferrous-metallurgy.

7. *Моттаева А. Б.* Перспективы цифровой трансформации горнодобывающей промышленности // КШП. ОМД. 2024. № 6. С. 91–107.

8. *Металлургическая* отрасль в России: крупнейшие производители стали. Деловой профиль. 2025. URL: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/metallurgicheskaya-otrasl-v-rossii-krupnejshie-proizvoditeli-stali/?ysclid=mid635be1j525889301.

9. *Sozinova A. A., Savelyeva N. K., Patsyuk E. V., Fomenko N. M.* The Importance of the International Policy of Globalisation and Open Economy to the Reduction of the Global Risks for Sustainable Development. In book: Advances in Science, Technology and Innovation. 2023. Part F1589. Pp.339–343.

10. *Fokina O., Mottaeva A., Turutina T.* Project management in the context of environmental marketing // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 376. Pp. 05061.

11. *Наумов И. В., Никулина Н. Л., Бычкова А. А*. Сценарное моделирование и прогнозирование вероятности банкротства металлургических предприятий (на примере Свердловской области) // Финансовый журнал. 2025. № 4. С. 119–136.

12. *Риски* российских металлургических и добывающих компаний // БКС Экспресс. 2022. URL: https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/riski-rossiiskikh-metallurgicheskikh-i-dobyvaiushchikh-kompanii.

13. *Моттаева А. Б.* цифровые интеграции в строительстве объектов атомной энергетики // Russian Journal of Management. 2025. Т. 13. № 6. С. 296–311.

14. *Черная* металлургия: оживление рынка и вызовы для логистики // Logistics.ru. 2025. URL: https://logistics.ru/promyshlennost/perelom-v-metallurgii-kak-izmenitsya-rynok-stali-v-rossii-i-chto-eto-znachit-dlya.

References

1. Romanova O.A., Sirotin D.V. The strategic vector of the development of Russian metallurgy in the context of the new reality. *Izvestia. Ural Federal University Journal*, 2022, iss. 3 (67), pp. 133–145.

2. Overview of the ferrous metallurgy market. *Deloitte*, 2019, available at: file:///C:/Users/user/Downloads/Deloitte-steel-iron-russia-survey-2019.pdf.

3. Ferrous and non-ferrous metallurgy in Russia and the world. *PKR Investment Grou*, 2022, available at: https://prcs.ru/analytics-article/otrasli-chernoj-i-czvetnoj-metallurgii/.

4. Manturov named the amount that metallurgists will send to investment projects. *PRIME*, 2024, available at: https://1prime.ru/20240715/manturov-850122076.html.

5. Ferrous metallurgy in Russia: investments, projects, and holdings. *Investprojects*, 2025, available at: https://investprojects.info/sectors/iron-and-steel-industry?ysclid=mid3ke531g813376940.

6. Non-ferrous metallurgy in Russia: investments, projects, and holdings. *Investprojects*, 2025, available at: https://investprojects.info/sectors/non-ferrous-metallurgy.

7. Mottaeva, A. B. Prospects of digital transformation of the mining industry. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2024, no. 6, pp. 91–107.

8. The metallurgical industry in Russia: the largest steel producers. *Business profile*, 2025, available at: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/metallurgicheskaya-otrasl-v-rossii-krupnejshie-proizvoditeli-stali/?ysclid=mid635be1j525889301.

9. Sozinova A. A., Savelyeva N. K., Patsyuk E. V., Fomenko N. M. The Importance of the International Policy of Globalisation and Open Economy to the Reduction of the Global Risks for Sustainable Development. In book: *Advances in Science, Technology and Innovation*, 2023, Part F1589, pp. 339–343.

10. Fokina O., Mottaeva A., Turutina T. Project management in the con-text of environmental marketing. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 376, pp. 05061.

11. Naumov I. V., Nikulina N.L., Bychkova A.A. Scenario modeling and forecasting the probability of bankruptcy of metallurgical enterprises (on the example of the Sverdlovsk region). *Financial Journal*, 2025, no. 4, pp. 119–136.

12. Risks of Russian metallurgical and mining companies. *BKS Express*, 2022, available at: https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/riski-rossiiskikh-metallurgicheskikh-i-dobyvaiushchikh-kompanii.

13. Mottaeva A. B. digital integrations in the construction of nuclear power facilities. *Russian Journal of Management*, 2025, vol. 13, no. 6, pp. 296–311.

14. Ferrous metallurgy: market revival and challenges for logistics. *Logistics.ru*, 2025, available at: https://logistics.ru/promyshlennost/perelom-v-metallurgii-kak-izmenitsya-rynok-stali-v-rossii-i-chto-eto-znachit-dlya.

УДК 332.14

Ю. А. КРУПНОВ, д-р экон. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва);
И. В. СВИРИН, аспирант (РУДН им. Патриса Лумумба, г. Москва)
E-mail: yakrupnov@fa.ru
Yu. A. Krupnov (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); I. V. Svirin (RUDN University)

Индустрия 4.0 в нефтегазовом секторе: влияние инновационной активности хозяйствующего субъекта на стоимость бизнеса

Industry 4.0 in the oil and gas sector: the impact of an economic entity's innovation activity on business value

Разрабатывается методический подход к оценке влияния цифровой и инновационной трансформации на рыночную стоимость компаний нефтегазового сектора России, а также в выявлении факторов, определяющих рост их инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности. Результаты исследования показывают наличие устойчивой положительной корреляции между уровнем цифровизации и инновационной активности компаний нефтегазового сектора и их рыночной капитализацией, рентабельностью и инвестиционной оценкой. Разработана эконометрическая модель, позволяющая количественно оценить влияние инновационных факторов на стоимость бизнеса, включающая показатели технологического обновления, интенсивности НИОКР, цифровой зрелости и эффективности управления. Практическая значимость работы заключается в формировании рекомендаций для предприятий отрасли по интеграции цифровых и инновационных стратегий в систему стоимостного менеджмента, а также для органов государственной власти и институтов развития – по стимулированию цифровой трансформации и инновационной активности компаний ТЭК. Полученные результаты могут быть использованы при формировании стратегий устойчивого развития и цифровой модернизации нефтегазового комплекса России.

The purpose of the research is to develop and test a methodological approach to assessing the impact of digital and innovative transformation on the market value of companies in the Russian oil and gas sector, as well as to identify factors determining the growth of their investment attractiveness and competitiveness. The results of the study show that there is a stable positive correlation between the level of digitalization and innovation activity of companies in the oil and gas sector and their market capitalization, profitability and investment assessment. An econometric model has been developed that makes it possible to quantify the impact of innovative factors on business value, including indicators of technological renewal, R&D intensity, digital maturity and management efficiency. The practical significance of the work lies in the formation of recommendations for industry enterprises on the integration of digital and innovative strategies into the value management system, as well as for government authorities and development institutions on stimulating digital transformation and innovation activity of fuel and energy companies. The results obtained can be used in shaping strategies for sustainable development and digital modernization of the Russian oil and gas complex.

Ключевые слова: цифровая трансформация; инновационная активность; нефтегазовый комплекс; стоимость бизнеса; рыночная капитализация; цифровая зрелость; инвестиционная привлекательность; НИОКР; стоимостный менеджмент; конкурентоспособность; устойчивое развитие; цифровая экономика.

Keywords: digital transformation; innovation activity; oil and gas complex; business value; market capitalization; digital maturity; investment attractiveness; R&D; cost management; competitiveness; sustainable development; digital economy.

В современных условиях цифровая трансформация становится одним из ключевых факторов, определяющих стратегические траектории развития нефтегазового сектора России. Ускорение процессов цифровизации, интеграция инновационных технологий и изменение моделей корпоративного управления создают новые источники роста стоимости бизнеса и конкурентных преимуществ. В то же время усиление глобальных климатических и технологических вызовов требует от компаний нефтегазовой отрасли переориентации на инновационно-цифровую модель, сочетающую экономическую эффективность, устойчивость и технологическую независимость.

В данной статье, одновременно с исследованием современного состояния и тенденций цифровизации нефтегазового сектора России, проведен анализ влияния инновационной активности предприятий на их рыночную стоимость и эффективность функционирования. Существенная роль посвящена выявлению ключевых факторов, определяющих влияние цифровых технологий, НИОКР и организационных инноваций на стоимостные показатели компаний, а также разработке методического подхода к количественной оценке взаимосвязи между уровнем инновационной зрелости и капитализацией предприятий.

Зарубежные исследования подтверждают, что цифровизация производственных и управленческих процессов повышает рентабельность активов, оптимизирует капитальные затраты и усиливает инвестиционную привлекательность компаний. Так, по данным *International Energy Agency*, внедрение цифровых решений в энергетике и нефтегазовой промышленности позволяет повысить эффективность использования ресурсов на 10–20 % и увеличить операционную маржу за счет оптимизации добычи, логистики и переработки. Аналогичные выводы представлены в отчетах *World Bank* и *OECD*, где подчеркивается, что цифровая трансформация – влияние цифровых технологий и данных, а также их использование на существующие и новые виды деятельности – ускоряется во всем мире, затрагивая все секторы.

Российские исследователи также отмечают растущую роль цифровых технологий и инновационной активности в формировании стоимости компаний ТЭК. По мнению А. Н. Алексеева и В. А. Боговиза, цифровизация энергетического сектора становится ключевым фактором экономического роста и конкурентоспособности [1, 2]. Е. В. Кудряшова и И. С. Орлова обосновывают, что внедрение инноваций в нефтегазовом секторе способствует повышению эффективности управления активами, снижению энергоемкости и формированию новых бизнес-моделей [3]. Исследование Т. А. Гусевой подчеркивает неоднородность цифровой зрелости российских регионов и компаний, что влияет на их способность реализовывать инновационные стратегии [4].

Нефтегазовая отрасль переживает переломный момент. Энергетическая безопасность, декарбонизация и цифровая трансформация меняют облик отрасли. Необходимо снизить затраты. Операции должны быть более продуманными. А потребность в инновациях как никогда высока. На этом фоне особую значимость приобретает разработка комплексных методических подходов к оценке влияния цифровой и инновационной трансформации на рыночную стоимость предприятий нефтегазового сектора. Современные практики корпоративного управления и инвестиционного анализа требуют перехода от традиционных финансовых метрик к многофакторным моделям, включающим показатели цифровой зрелости, инновационной активности, технологической эффективности и ESG-ориентированных инициатив.

Цель данной работы – разработка и апробация методического подхода к оценке влияния цифровой и инновационной трансформации на рыночную стоимость компаний нефтегазового сектора России, а также в выявлении факторов, определяющих их инвестиционную привлекательность и конкурентные преимущества в условиях цифровой экономики.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие *задачи*:

1. Провести теоретико-методологический анализ понятий «цифровая трансформация» и «инновационная активность» применительно к нефтегазовому сектору.

2. Определить ключевые каналы влияния цифровых и инновационных факторов на рыночную стоимость предприятий отрасли.

3. Разработать эконометрическую модель, отражающую взаимосвязь между уровнем цифровизации, инновационной активностью и капитализацией компаний.

4. Оценить практические эффекты внедрения цифровых технологий в нефтегазовой промышленности России и сформулировать рекомендации по повышению эффективности и инвестиционной привлекательности компаний.

Актуальность данного исследования, также обусловлена необходимостью научного обоснования экономических последствий цифровой трансформации в стратегически значимом секторе российской экономики – нефтегазовом комплексе, который определяет до 30 % ВВП страны и более половины экспортных поступлений [5–9]. Комплексный подход к анализу цифровых и инновационных факторов стоимости бизнеса позволит разработать инструменты устойчивого развития компаний и повысить их конкурентоспособность в условиях технологических преобразований мировой энергетики.

В исследовании применяются методы экономико-статистического анализа, корреляционно-регрессионного моделирования, сравнительного и факторного анализа, а также системный и институциональный подходы, обеспечивающие комплексную оценку взаимосвязей между инновационной активностью, цифровой зрелостью и рыночной стоимостью предприятий.

Информационную базу исследования составляют официальные статистические данные Федеральной службы государственной статистики РФ (Росстат), материалы Министерства энергетики РФ, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, а также годовые и интегрированные отчеты ведущих компаний нефтегазового сектора: ПАО «Газпром», ПАО «Роснефть», ПАО «Лукойл», ПАО «Новатэк».

Результаты исследования и их обсуждение

Современная научная литература рассматривает цифровую трансформацию как системный процесс внедрения цифровых технологий, направленный на радикальное изменение бизнес-моделей, производственных процессов и корпоративного управления. В отличие от традиционной автоматизации, цифровая трансформация в нефтегазовом секторе включает не только внедрение цифровых инструментов, но и формирование новой организационной и инновационной среды, основанной на данных, сквозных технологиях и интеграции информационных потоков по всей цепочке создания стоимости – от геологоразведки и добычи до переработки и сбыта.

Понятие инновационной активности в нефтегазовом секторе трактуется как совокупность научных, технологических и организационно-управленческих изменений, направленных на создание и коммерциализацию новых технологий и решений, обеспечивающих устойчивый рост эффективности производства и конкурентоспособности компании [5]. В работах российских исследователей инновационная активность рассматривается как ключевой фактор формирования стоимости предприятий энергетического комплекса, обеспечивающий повышение инвестиционной привлекательности и снижение операционных рисков [1]. Исследования Е. В. Кудряшовой и И. С. Орловой подтверждают, что инновационная деятельность в нефтегазовом секторе становится неотъемлемым элементом цифровой трансформации, обеспечивая переход от экстенсивной добычи к интеллектуальным технологиям управления ресурсами [3].

Зарубежные авторы отмечают, что инновационная активность нефтегазовых компаний проявляется в трех стратегических формах: технологических инновациях (новые методы бурения, цифровые двойники), бизнес-инновациях (новые формы партнерства и аутсорсинга цифровых решений) и управленческих инновациях (внедрение *agile*-моделей и сквозной аналитики) [9]. Таким образом, инновационная активность и цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли неразрывно взаимосвязаны: первая является источником технологических изменений, вторая – механизмом их масштабирования и интеграции в бизнес-модель компании.

Цифровизация является определяющим направлением развития современной экономики и ключевым фактором структурных изменений в промышленности, энергетике и сырьевом секторе. В «Перспективах развития мировой энергетики 2023», нефтегазовая отрасль не является исключением: в условиях геополитической турбулентности, технологических ограничений и санкционного давления именно цифровые и инновационные решения становятся инструментом обеспечения устойчивости и конкурентоспособности российских компаний.

Одним из главных стимулов цифровой трансформации в нефтегазовом комплексе России выступает необходимость адаптации к технологическому суверенитету. Санкционные ограничения 2022–2025 гг. ограничивают доступ к иностранному оборудованию и программным решениям, что ускорило внедрение отечественных технологий, цифровых платформ и систем автоматизации производственных процессов. При этом по оценке *PwC* более 70 % российских нефтегазовых компаний рассматривают цифровизацию как стратегическое направление повышения эффективности и рентабельности бизнеса.

Современные вызовы отрасли связаны не только с внешними факторами, но и с внутренними структурными ограничениями. Большинство крупнейших

нефтяных месторождений России сегодня характеризуются высокой степенью выработанности запасов и снижением дебитов, что требует перехода к новым технологическим подходам — управлению добычей на основе данных (*Data-Driven Production*), применению методов повышения нефтеотдачи (*EOR*), геологоразведке с использованием машинного обучения и анализа больших данных (*Big Data & AI Exploration*) [1]. Цифровизация обеспечивает повышение эффективности управления активами, сокращение простоев, снижение потерь и оптимизацию энергопотребления, создавая мультипликативный эффект на всех стадиях добычи и переработки углеводородов.

Согласно подходу *International Energy Agency (IEA)*, цифровизация энергетического сектора охватывает три взаимосвязанных уровня: технологический (см. рис. 1).

В контексте нефтегазовой отрасли цифровая трансформация реализуется через такие направления, как создание «умных месторождений» (*Smart Fields*), предиктивная аналитика добычи, цифровое моделирование процессов бурения и транспортировки, управление энергопотреблением и выбросами, а также автоматизация управления активами (*Asset Performance Management*).

Как отмечает *International Energy Agency (IEA)*, применение цифровых технологий в нефтегазовом секторе способно увеличить извлекаемые запасы на 5–10 %, снизить капитальные затраты на 15 % и операционные расходы на 20 % [9]. Аналогичные результаты демонстрируют исследования *Deloitte* и *World Bank*, подчеркивающие, что цифровизация производственных процессов и внедрение инноваций повышают инвестиционную привлекательность компаний, усиливая их рыночные позиции и устойчивость к внешним шокам [2].

Вместе с тем уровень инновационной активности в российском нефтегазовом комплексе остается неоднородным. По данным *OECD* и Минэнерго РФ, доля расходов на НИОКР в структуре затрат компаний ТЭК России составляет менее 0,3 % от выручки, что в 5–6 раз ниже, чем у ведущих международных корпораций (*Shell*, *TotalEnergies*, *BP*).

Сталкиваясь с нестабильностью цен на сырьевые товары, экологическими проблемами и изменениями в нормативно-правовой базе, нефтегазовая отрасль все активнее использует технологии для повышения операционной эффективности, снижения затрат, улучшения безопасности и обеспечения устойчивого развития. Без модернизации производственных процессов, масштабной автоматизации и внедрения цифровых решений дальнейшее поддержание уровня добычи нефти и газового конденсата становится невозможным [2, 5]. Новые перспективные месторождения Западной и Восточной Сибири, шельфовые и нетрадиционные ресурсы требуют принципиально иных технологических решений – интеллектуальных систем управления бурением, цифровых двойников месторождений и интегрированных платформ геологоразведки [6].

Ценность цифровой трансформации нефтегазового бизнеса заключается не только в технологическом обновлении, но и в изменении самой парадигмы ведения бизнеса – переходе от модели «добычи ресурса» к модели управления данными, знаниями и инновациями. Это формирует основу для повышения производительности, устойчивого роста и достижения стратегических целей энергетической безопасности страны [4, 7].

Ключевые каналы влияния цифровых и инновационных факторов на рыночную стоимость предприятий нефтегазового сектора

Нефтесервисный бизнес сосредоточил свое внимание на технологиях, чтобы максимизировать извлечение, разработку и повышение производительности за счет агрессивных программ бурения, стимулиро-

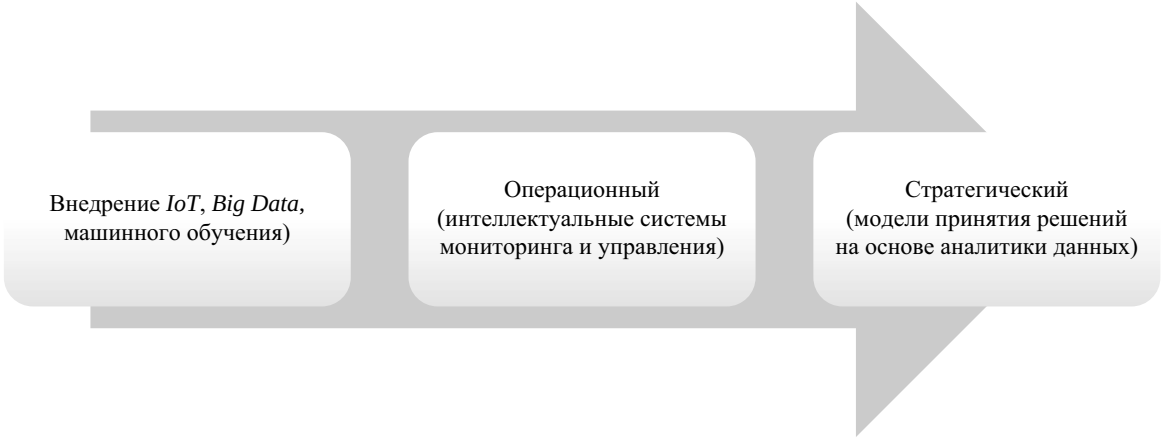


Рис. 1. Три уровня цифровизации энергетического сектора

вания и улучшенного извлечения углеводородов [9]. Российский нефтегазовый сектор располагает значительным, но во многом еще не реализованным потенциалом развития. Хотя внимание к современным технологическим трендам в отрасли пока остается недостаточным, процессы цифровизации приобретают все более стратегическое значение для повышения эффективности, инновационной активности и конкурентоспособности отечественных нефтегазовых компаний. Цифровая и инновационная трансформация оказывают комплексное воздействие на рыночную стоимость компаний нефтегазового комплекса через три основных канала: технологический, финансово-экономический и институциональный [10].

Согласно данным рис. 2, цифровая и инновационная трансформация предприятий нефтегазового сектора оказывает комплексное воздействие на экономическое развитие через три взаимосвязанных канала: технологический, финансово-экономический и институциональный.

1. Технологический канал отражает влияние цифровизации на производственную эффективность. Внедрение технологий предиктивного обслуживания (*Predictive Maintenance*), цифровых двойников (*Digital Twins*), искусственного интеллекта и интернета вещей (*IoT*) позволяет оптимизировать производственные процессы, снизить технологические потери и увеличить коэффициент извлечения нефти. По данным *PwC*, применение цифровых технологий может сократить эксплуатационные издержки нефтегазовых компаний на 15–20 % и повысить производительность труда на 10–15 % [10].

2. Финансово-экономический канал проявляется через влияние инновационной активности на инвестиционную привлекательность и рыночную капитализацию компаний. Компании, инвестирующие в цифровые решения и *R&D*, демонстрируют более высокие показатели *EBITDA*, рентабельности активов и устойчивости к рыночным шокам [11]. Исследования *World Bank* показывают, что рост инвестиций в инновации на 1 % приводит к увеличению рыночной стоимости компаний энергетического сектора на 0,3–0,4 % [12].

3. Институциональный канал связан с управленческими и организационными изменениями, повышающими качество корпоративного управления, прозрачность и доверие инвесторов. По мнению *OECD*, цифровая зрелость компаний усиливает их позиции на международных рынках капитала, снижая стоимость заимствований и повышая рейтинговую оценку устойчивости [13].

Интеграция всех трех каналов формирует мультипликативный эффект: рост технологической эффективности снижает себестоимость и риски, что положительно влияет на финансовые результаты, а институциональные инновации повышают прозрачность и привлекательность бизнеса для инвесторов. В результате формируется новая модель стоимостного управления в нефтегазовом секторе, где цифровизация и инновации становятся основными драйверами роста рыночной стоимости и долгосрочной конкурентоспособности компаний.

Направления дальнейших исследований

Для количественной оценки влияния цифровой и инновационной трансформации на рыночную стоимость компаний предлагается панельная эконометрическая модель с фиксированными эффектами фирм и времени, а также динамическая версия (*Arellano–Bond*/*GMM*) для учета инерционности рыночной капитализации. Теоретическое обоснование опирается на литературу о стоимостной значимости ИКТ-инвестиций и НИОКР, где показано, что цифровые активы и инновации капитализируются рынком через повышение ожидаемой прибыльности и снижение рисков [14, 15].

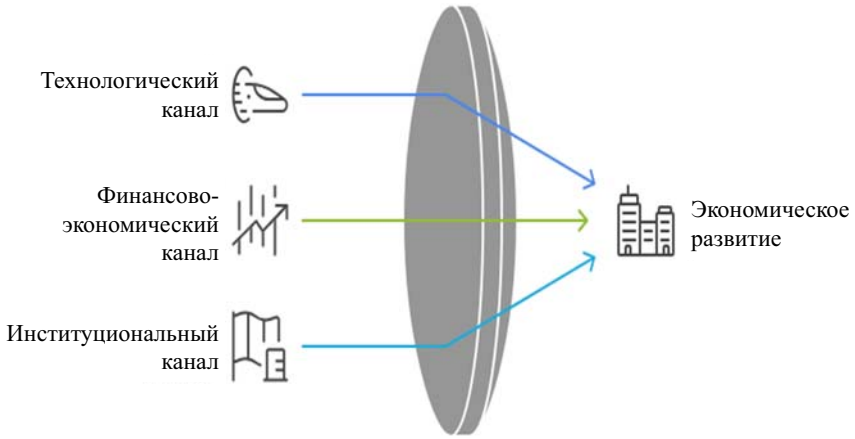


Рис. 2. Основные каналы воздействия на рыночную стоимость компаний нефтегазового комплекса

Метод *Arellano–Bond* (*GMM*) – это динамическая панельная эконометрическая модель, разработанная Мануэлем Ареллано и Стивеном Бондом (1991), основанная на обобщенном методе моментов (*Generalized Method of Moments*, GMM). Она используется для анализа панельных данных, где наблюдаются одни и те же экономические единицы (например, компании, регионы) в разные периоды времени, и где зависимая переменная (например, рыночная капитализация) зависит от ее прошлых значений. Базовая модель (панель региональных/корпоративных данных, i – компания, t – год):

$$In(MCAP_{it}) = \alpha + Pin(MCAP_{it} + \beta_2 IIN_{it} + \\ + \beta_3(DIG_{it} \cdot INN_{it})) + \gamma Z_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it},$$

MCAP – рыночная капитализация (или альтернатива: *Q* Тобина); *DIG* – индекс цифровизации компании; *INN* – индикаторы инновационной активности; *Z* – контрольные переменные; μ_i – фирменные фиксированные эффекты; τ_t – временные эффекты.

Ожидаемые результаты измеряются в соответствии с данными условиями, где $\beta_1 > 0$, $\beta_2 > 0$; взаимодействие $\beta_3 > 0$ тестирует комплементарность цифровых и инновационных вложений, при этом эффект «1+1 > 2». [14, 15].

Динамическая оценка *GMM* используется из-за устойчивости капитализации и возможной эндогенности решений по цифровизации/НИОКР [16].

1. Операционализация ключевых переменных.

Индекс цифровизации *DIG*:

- доля цифровых *CAPEX/OPEX* (ИТ, автоматизация, *IIoT*);
- наличие проектов «цифровое месторождение/цифровые двойники»;
- внедрение ИИ/*ML* в добыче и переработке (по текст-разметке годовых/*ESG*-отчетов);
- интенсивность данных (число датчиков/скважину);
- доля процессов под управлением АСУ/*SCADA*/*APS*, уровень киберзрелости.

Подход обоснован отраслевыми обзорами *IEA* и *Deloitte*.

Инновационная активность *IN*: интенсивность НИОКР (*R&D*/выручка), число патентов (*WIPO*/*EPO*/Роспатент) и их взвешенные цитирования, доля новых технологий в добыче/*EOR*; см. методологию оценки рыночной ценности *R&D* [14, 15].

Контроли *Z*: *Brent (EIA)*, объем добычи и подтвержденные запасы, коэффициент извлечения, выручка, *EBITDA*-маржа, долговая нагрузка (*Debt/Assets*), *CAPEX*, курс *USD/RUB* (для экспортеров), индекс корпоративного управления/*ESG* (*Refinitiv/MSCI*), а также фиксированные эффекты года (шоки спроса/цен).

2. Идентификация и устранение эндогенности.

Потенциальная двусторонняя причинность (рыночная стоимость ↔ инвестиции в цифровизацию/НИОКР) устраняется комбинацией стратегий:

- динамическая панель *GMM* с инструментами на основе лагов *DIG* и *INN* [16];
- внешние инструменты: насыщенность оптоволоконной инфраструктурой в регионе присутствия активов;
- волны нормативных пилотов/стандартов (внедрение цифровых двойников, переход на отечественный софт);
- изменение налоговых стимулов НИОКР как экзогенные сдвиги доступности цифровых инвестиций;
- *difference-in-differences* для сопоставления «ранних» и «поздних» внедрителей цифровых решений при появлении отраслевых шоков (например, обязательная цифровизация отдельных процессов).

3. Проверка робастности:

- замена зависимой переменной на *Q* Тобина и *EV/EBITDA*;
- альтернативные составы индекса *DIG* (удаление компонентов по одному) [15];
- квантильная регрессия (гетерогенность эффектов у компаний с разным масштабом);
- *PSM-matching* «адоптеров» и «контрольной группы»;
- учет структурных сдвигов 2022–2024 гг. фиктивными переменными.

4. Интерпретация коэффициентов и практическая метрика.

Оцененный β_1 интерпретируется как эластичность капитализации по цифровизации: прирост индекса *DIG* на 0,1 (10 п. п. шкалы) соответствует среднему изменению *MCAP* на $100 \cdot \beta_1 \cdot 0{,}1$ %.

Коэффициент β_3 показывает, насколько сильнее рынок оценивает цифровые вложения в присутствии активных НИОКР (или наоборот). Для управленческой практики дополнительно строится порог окупаемости цифровой зрелости (уровень *DIG** при котором предельный прирост *MCAP* превышает средневзвешенную стоимость капитала, *WACC*).

Итоги:

- цифровизация и инновации положительно связаны с капитализацией [14–16];
- комплементарность *DIG*×*INN* статистически значима (эффект усиливается при одновременном росте цифровой зрелости и НИОКР) [14–16];
- эффект выше у компаний с большей долей «умных» месторождений и сильным корпоративным управлением [1–3, 6].

Практические эффекты внедрения цифровых технологий в нефтегазовой промышленности России и рекомендации по повышению эффективности и инвестиционной привлекательности компаний

Цифровизация нефтегазовой отрасли России является стратегическим направлением модернизации экономики, способствующим росту производительности, снижению издержек и повышению инвестиционной привлекательности компаний. Практические результаты внедрения цифровых технологий подтверждаются как отраслевой статистикой, так и корпоративной отчетностью ведущих компаний ТЭК. По данным *PwC* и *Deloitte*, цифровая трансформация предприятий нефтегазового сектора способна повысить операционную эффективность на 10–25 %, снизить эксплуатационные затраты до 20 % и увеличить коэффициент извлечения нефти на 5–8 %.

Основные направления цифровизации нефтегазового комплекса представлены на рис. 3 и включают внедрение следующих технологий.

Внедрение цифровых технологий, представленных на рис. 3, обеспечивают непрерывный мониторинг скважин, прогнозирование отказов оборудования, оптимизацию добычи и логистики, а также сокращение времени принятия управленческих решений. В результате создаются новые конкурентные преимущества: от устойчивости к ценовым колебаниям до ускорения инвестиционных циклов и улучшения экологических показателей. Практические эффекты цифровизации, которые проявляются на нескольких уровнях, наглядно представлены на рис. 4.

Представленные на рис. 4 эффекты демонстрируют, что цифровая трансформация нефтегазового сектора оказывает многоплановое воздействие на деятельность компаний. На производственном уровне она способствует росту технологической

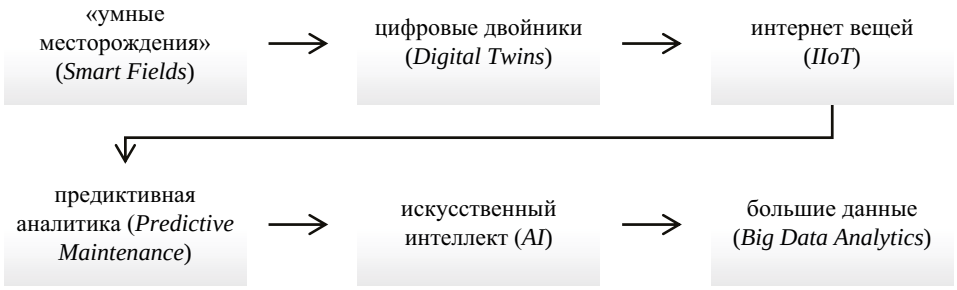


Рис. 3. Основные направления цифровизации нефтегазового комплекса

1. Производственный эффект:	• автоматизация и интеллектуальные системы управления приводят к оптимизации технологических процессов. Например, внедрение цифровых двойников позволило Газпром нефти снизить время бурения на 15 %, а ЛУКОЙЛу — увеличить дебит скважин в новых месторождениях на 10 %
2. Финансово-экономический эффект:	• цифровизация повышает прозрачность затрат и эффективность управления активами. Согласно данным *EY*, компании, активно инвестирующие в цифровые решения, демонстрируют более высокие показатели EBITDA и устойчивый рост рыночной капитализации на 3–5 % ежегодно
3. Инновационный и социальный эффект:	• формирование цифровых компетенций персонала и развитие корпоративных экосистем стимулируют инновационную активность и создают высокотехнологичные рабочие места, способствуя цифровой зрелости отрасли

Рис. 4. Основные эффекты внедрения цифровых технологий в нефтегазовой промышленности России

эффективности и оптимизации процессов добычи. На финансово-экономическом уровне обеспечивает повышение прозрачности, управляемости активов и рост рыночной капитализации. На инновационно-социальном уровне цифровизация формирует новую компетентностную среду и стимулирует развитие человеческого капитала. Совокупность этих эффектов подтверждает, что цифровые технологии выступают не только инструментом модернизации отрасли, но и ключевым драйвером ее устойчивого развития и повышения конкурентоспособности.

Тем не менее цифровая трансформация нефтегазового сектора России сталкивается с рядом ограничений: недостаточным уровнем интеграции ИТ-инфраструктуры, дефицитом квалифицированных кадров, неравномерностью цифрового развития регионов, а также ограниченным доступом к зарубежным технологиям вследствие санкций [8]. Преодоление этих барьеров требует системной политики и эффективного взаимодействия государства, бизнеса и научных институтов.

На основе проведенного в исследовании анализа мирового и отечественного опыта сформировали рекомендации по повышению эффективности и инвестиционной привлекательности нефтегазовых компаний России (см. рис. 5). Представленные меры отражают системный подход к ускорению цифровой трансформации нефтегазового сектора России. Их реализация требует согласованных действий государства, бизнеса и научного сообщества. Институциональные меры обеспечивают нормативную и организационную поддержку цифровизации; технологические меры направлены на развитие отечественных решений и формирование отраслевой цифровой инфраструктуры; финансово-экономические меры стимулируют инвестиционную активность и устойчивое развитие компаний; кадрово-образовательные меры формируют человеческий капитал, необходимый для перехода к цифровой экономике. Совокупность этих направлений создает основу для повышения конкурентоспособности отечественного нефтегазового комплекса и укрепления технологического суверенитета РФ. Соответственно, цифровизация нефтегазовой промышленности России становится не просто технологическим процессом, а инструментом устойчивого роста, стратегического обновления и повышения инвестиционной привлекательности компаний [17, 18]. Ее практическая реализация позволяет формировать новые модели управления стоимостью бизнеса, усиливать конкурентные позиции отечественного нефтегазового комплекса на глобальном рынке и обеспечивать технологический суверенитет страны.

1. Институциональные меры:

– разработка единой национальной платформы мониторинга цифровой зрелости нефтегазовых предприятий;
– внедрение налоговых стимулов и льгот для инвестиций в цифровые технологии и НИОКР;
– развитие механизмов государственно-частного партнерства (ГЧП) в области цифровизации энергетики.

2. Технологические меры:

– ускоренное внедрение отечественных цифровых решений (систем *SCADA, MES, ERP*, платформ машинного обучения);
– интеграция технологий ИИ и предиктивной аналитики в геологоразведке, добыче и транспортировке;
– создание отраслевых центров компетенций по цифровому моделированию и управлению данными.

3. Финансово-экономические меры:

– развитие системы нефинансовой отчётности (*ESG* и цифровые *KPI*) для привлечения инвесторов;
– применение механизмов «зеленого финансирования» и цифровых облигаций для устойчивых проектов;
– формирование рейтинга цифровой зрелости компаний как индикатора их инвестиционной привлекательности.

4. Кадрово-образовательные меры:

– создание программ переквалификации специалистов нефтегазового комплекса в области *Data Science,* кибербезопасности и автоматизации;
– развитие корпоративных университетов и отраслевых школ цифровых компетенций;
– интеграция цифровых модулей в образовательные программы технических вузов.

Рис.5. Комплекс мер по повышению эффективности и инвестиционной привлекательности нефтегазовых компаний в условиях цифровой трансформации

Выводы. 1. Проведенное исследование подтверждает, что цифровая и инновационная трансформация выступают ключевыми детерминантами повышения эффективности и рыночной стоимости компаний нефтегазового сектора России. Цифровизация обеспечивает не только технологическое обновление производственных процессов, но и формирует новые модели управления активами, способствует оптимизации издержек, повышению производительности труда и инвестиционной привлекательности предприятий.

2. Результаты эконометрического анализа показывают наличие устойчивой положительной взаимосвязи между уровнем цифровизации, интенсивностью инновационной активности и капитализацией компаний. При этом выявлен эффект комплементарности – наибольший рост стоимости наблюдается у предприятий, сочетающих высокий уровень цифровой зрелости с активными инвестициями в НИОКР. Это подтверждает, что цифровизация и инновации взаимно усиливают влияние друг друга, обеспечивая синергетический эффект.

3. Практические эффекты внедрения цифровых технологий проявляются в росте производственной эффективности, снижении операционных и капитальных затрат, повышении прозрачности корпоративного управления и устойчивости к рыночным шокам. Вместе с тем для раскрытия полного потенциала цифровой трансформации необходимо устранение институциональных барьеров, развитие отечественных технологических платформ, совершенствование кадровой политики и стимулирование частных инвестиций в инновации.

4. Таким образом, цифровая трансформация нефтегазового сектора должна рассматриваться не как отдельное направление модернизации, а как системный механизм долгосрочного роста и повышения конкурентоспособности региональной и национальной экономики. Реализация предложенных методических подходов и практических рекомендаций позволит обеспечить устойчивое развитие отрасли, рост ее рыночной капитализации и укрепление технологического суверенитета России.

Список литературы

1. *Didenko N., Skripnuk D., Barykin S.* et al. Impact of Carbon Emission Factors on Economic Agents Based on the Decision Modeling in Complex Systems // Sustainability. 2024. Vol. 16. № 10. Pp. 3884.

2. *Ganebnykh E., Burtseva T., Petuhova A., Mottaeva A.* Regional environmental safety assessment // E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). Moscow: EDP Sciences. 2019. Vol. 91. Pp. 08035.

3. *Kudryashova E. V., Orlova I. S.* The digital transformation of energy systems in the regions of Russia. Energy Reports. 2024. № 10 (2). С. 1225–1240.

4. *Гусева Т. А., Жигирева Е. Г., Сухов В. В.* Цифровая трансформация в регионах России: актуальные тенденции, различия и вызовы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2025. № 7 (125). С. 52–61.

5. *Нурисламов И. Ф., Хакимьянов И. И., Гареев А. И.* Влияние цифровой трансформации на эффективность нефтяных компаний // Инновации и инвестиции. 2021. № 5. С. 65–67.

6. *Lapteva S., Mottaeva A., Kopytina Yu., Kochetkov I.* Regulation of electricity consumption based on tariffs setting // E3S web of conferences: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024). Les Ulis: EDP Sciences. 2024. Vol. 592. Pp. 03023.

7. *Fokina O., Goncharenko L., Sobol T.* et al. Digital design in the HRM system as a component of the sustainable development strategy // International Scientific Forestry Forum 2023: Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions (Forestry Forum 2023). Les Ulis: EDP Sciences. 2024. Vol. 93. Pp. 05013.

8. *Манукян М. М.* Цифровые инновации и их трансформация в нефтяной отрасли // Друкеровский вестник. 2020. № 2 (34). С. 212–219.

9. *Parshall H., West D., Pratt T.* Digital transformation in oil and gas: From vision to value. Harvard Business Review. 2022.

10. *Моттаева А. Б.* Интеграция цифрового интеллекта как современный тренд трансформации энергетической отрасли России // КШП. ОМД. 2024. № 12. С. 189–197.

11. *Тасмуханова А. Е., Боброва В. А.* Предпосылки цифровой трансформации нефтяной отрасли // Вестник экономики и менеджмента. 2023. № 2. С. 61–67.

12. *Джолдошева Т. Ю., Моттаева А. Б.* Развитие водородной энергетики как одно из перспективных направлений ТЭК // КШП. ОМД. 2025. № 3. С. 150–160.

13. *Азиева Р. Х.* Оценка экономического эффекта от использования цифровых технологий в нефтегазовой отрасли // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 8. С. 3225–3240

14. *Анисимова М. И.* Модели экономической оценки технологических инноваций в нефтегазовой отрасли на основе моделей диффузии и принятия технологий // Экономика, предпринимательство и право. 2025. Т. 15. № 7. С. 4569–4584.

15. *Barykin S. E., Sergeev S. M., Mottaeva A. B.* et al. Evaluating energy financing considerations and sustainable energy innovation with the role of financial development and energy development // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30. № 3. Pp. 6849–6863.

16. *Bataev A. V., Gorovoy A. A., Mottaeva A.* Digital transformation of the financial sector in Russia and the world // Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA 2018). Seville: 2018. Pp. 102–114.

17. *Mottaeva A.* Directions of management for the development of fuel-and-energy complex as the key driver of

the social-and-economic development of regions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Khabarovsk: Institute of Physics Publishing. 2017. Vol. 90. Pp. 012120.

18. *Прядко И. П., Магина А. И.* Политика импортозамещения в оценке участников социологического опроса: цифры и факты // Экономика и предпринимательство. 2020. № 11 (124). С. 149–154.

References

1. Didenko N., Skripnuk D., Barykin S. et al. Impact of Carbon Emission Factors on Economic Agents Based on the Decision Modeling in Complex Systems. *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 10, pp. 3884.

2. Ganebnykh E., Burtseva T., Petuhova A., Mottaeva A. Regional environmental safety assessment. *E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. Moscow, EDP Sciences, 2019, vol. 91, pp. 08035.

3. Kudryashova E. V., Orlova I. S. The digital transformation of energy systems in the regions of Russia. *Energy Reports*, 2024, no. 10 (2), pp. 1225–1240.

4. Guseva T. A., Zhigireva E. G., Sukhov V. V. Digital transformation in the regions of Russia: current trends, differences and challenges. *Economy and business: theory and practice*, 2025, no. 7 (125), pp. 52–61.

5. Nurislamov I. F., Khakimyanov I. I., Gareev A. I. The impact of digital transformation on the efficiency of oil companies. *Innovations and investments*, 2021, no. 5, pp. 65–67.

6. Lapteva S., Mottaeva A., Kopytina Yu., Kochetkov I. Regulation of electricity consumption based on tariffs setting. *E3S web of conferences: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Environmental Technologies (EMMFT-2024)*. Les Ulis, EDP Sciences, 2024, vol. 592, pp. 03023.

7. Fokina O., Goncharenko L., Sobol T. et al. Digital design in the HRM system as a component of the sustainable development strategy. *International Scientific Forestry Forum 2023: Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions (Forestry Forum 2023)*. Les Ulis, EDP Sciences, 2024, vol. 93, pp. 05013.

8. Manukyan M. M. Digital innovations and their transformation in the oil industry. *Drucker Bulletin*, 2020, no. 2(34), pp. 212–219.

9. Parshall H., West D., Pratt T. *Digital transformation in oil and gas: From vision to value*. Harvard Business Review, 2022.

10. Mottaeva A. B. Integration of digital intelligence as a modern trend in the transformation of the Russian energy industry. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2024, no. 12, pp. 189–197.

11. Tasmukhanova A. E., Bobrova V. A. Prerequisites for the digital transformation of the oil industry. *Bulletin of Economics and Management*, 2023, no. 2, pp. 61–67.

12. Dzholdosheva T. Y., Mottaeva A. B. Development of hydrogen energy as one of the promising areas of the fuel and energy complex. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 3, pp. 150–160.

13. Azieva R. H. Assessment of the economic effect of using digital technologies in the oil and gas industry. *Creative Economy*, 2022, vol. 16, no. 8, pp. 3225–3240.

14. Anisimova M. I. Models of economic assessment of technological innovations in the oil and gas industry based on models of diffusion and technology adoption. *Economics, Entrepreneurship and Law*, 2025, vol. 15, no. 7, pp. 4569–4584.

15. Barykin S. E., Sergeev S. M., Mottaeva A. B. et al. Evaluating energy financing considerations and sustainable energy innovation with the role of financial development and energy development. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, no. 3, pp. 6849–6863.

16. Bataev A. V., Gorovoy A. A., Mottaeva A. Digital transformation of the financial sector in Russia and the world. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA 2018)*. Seville, 2018. Pp. 102–114.

17. Mottaeva, A. Directions of management for the development of fuel-and-energy complex as the key driver of the social-and-economic development of regions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Khabarovsk, Institute of Physics Publishing, 2017, vol. 90, pp. 012120.

18. Pryadko I. P., Magina A. I. The policy of import substitution in the assessment of the participants of the sociological survey: figures and facts. *Economics and Entrepreneurship*, 2020, no. 11 (124), pp. 149–154.

УДК

М. Р. САФИУЛЛИН, д-р экономич. наук (Казанский (Приволжский) федеральный университет; Академия наук Республики Татарстан; Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань); Л. А. ЕЛЬШИН, д-р экономич. наук (Казанский (Приволжский) федеральный университет; Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан; Университет управления ТИСБИ, г. Казань); Д. Р. АБДРАХМАНОВА, канд. экономич. наук (Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, г. Казань); А. Д. ГАТИН , канд. экономич. наук (Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, адрес: г. Казань)

E-mail: Leonid.Elshin@tatar.ru

M. R. Safiullin (Kazan (Volga Region) Federal University; Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan); L. A. Elshin (Kazan (Volga Region) Federal University; Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; TISBI University of Management, Kazan); D. R. Abdrakhmanova (Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan); A. D. Gatin (Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan)

Влияние критического импорта на устойчивость развития промышленного сектора экономики региона

The impact of critical imports on the sustainable development of the regional industrial sector

Разрабатывается методический инструментарий идентификации критического импорта региона в разрезе ТНВЭД и построение на этой основе экономико-математических моделей, оценивающих его влияние на перспективы и устойчивость промышленного развития субъектов РФ. Основными результатами исследования являются идентифицированные критически значимые для промышленного сектора товарные номенклатуры, импортируемые из-за рубежа и формирующие основные угрозы устойчивому развитию экономики региона.

This study develops a methodological tool for identifying critical regional imports within the Commodity Classification of Foreign Economic Activity (CN VED) and, based on this, constructing economic and mathematical models that assess their impact on the prospects and sustainability of industrial development in the constituent entities of the Russian Federation. The main results of the study are the identification of critically important product categories imported from abroad for the industrial sector, which pose the main threats to the sustainable development of the regional economy.

Ключевые слова: импортозависимость; критический импорт; промышленное развитие; регион; санкционное давление; реконфигурация международных цепей поставок; трансформация внешних рынков; пространственный анализ панельных данных; моделирование макроэкономических связей.

Keywords: import dependence; critical imports; industrial development; region; sanctions pressure; reconfiguration of international supply chains; transformation of foreign markets; spatial analysis of panel data; modeling of macroeconomic relationships.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности по проекту № FZSM–2023–0017 «Экономика импортозамещения региона в условиях трансформации логистических цепочек и деглобализации».

В условиях активно разворачивающихся в последние годы системных преобразований, выраженных, в частности, в трансформации внешней геоэкономической повестки, технологических сдвигов и иных эволюционных процессов в мировой экономике, крайне остро встают вопросы, связанные с разработкой адаптационных моделей социально-экономического роста. Особый уровень актуальности они приобретают для России, сталкивающейся с усиливающимися санкционными рестрикциями со стороны стран западного блока. В этих условиях реконфигурации экономических отношений, направления развития теории и практики в сфере исследования вопросов реализации внешнеэкономической деятельности и построения на этой основе эффективных макроэкономических моделей импортозамещения, как никогда приобретают свою значимость. Важно при этом отметить, что данная постановка проблемы не является новой. В пространстве научных исследований можно встретить весьма большое количество работ по этому направлению [1–5]. Между тем, следует констатировать, что абсолютное большинство из них носит, преимущественно, теоретизированный характер со смещением акцентов на дескриптивные методы анализа. Последние предполагают обзор и систематизацию универсальных статистических данных, раскрывающих основные особенности и тренды, характеризующие сущность и ключевые параметры импортозависимости национальных экономических систем. В еще меньшей степени распространены работы, исследовательский «фокус» которых направлен на региональные экономические системы в контексте рассматриваемых вопросов. Между тем мезоисследовательский уровень должен быть приоритетным в процессе построения адаптационных моделей развития в условиях внешних ограничений. Солидаризируясь с позицией [6–9] данный подход, руководствуясь принципами системного анализа, формирует более детализированный аспект решения задачи эмпирической оценки импортоуязвимости экономической системы с учетом специфических характеристик ее отдельных субъектов. Понимание ключевых трендов на поэлементном уровне формирует базис для кумулятивного сбора информации и последующей разработки адаптивных моделей экономического роста на макроуровне [10–12]. Руководствуясь данной позицией, в настоящем исследовании предпринимается попытка к развитию методических подходов в сфере оценки и анализа импортозависимости регионов на основе применения экономико-статистического инструментария с последующей разработкой моделей макроэкономической динамики, основанных на определении взаимосвязей влияния критического импорта на устойчивость экономического роста региональных экономических систем.

Цель данной работы – разработка методического инструментария идентификации критического импорта региона в разрезе ТНВЭД и построение на этой основе экономико-математических моделей, оценивающих его влияние на перспективы и устойчивость промышленного развития субъектов РФ.

Материалы и методы исследования

Базовым этапом исследования и аутентификации критического импорта региона является идентификация и формирование выборки ТНВЭД по критериям, представленным на рис. 1.

Рис. 1. Методический инструментарий многокомпонентной идентификации критического импорта региона

Особо следует выделить методику, обеспечивающую реализацию второго шага представленной последовательности итераций. Она предопределяет необходимость фильтрации ТНВЭД на основе отсечения тех товарных номенклатур, участие которых в создании добавленной стоимости не превышает 50 % от производства аналогичной продукции в рамках экономической системы региона.

Методическая основа данного исследовательского этапа опирается на оценку соотношения генерируемых международных цепей поставок (МЦП) к объему собственного производства в разрезе исследуемых товарных номенклатур:

$$I_{\text{иутн}} = \text{ТНВЭД/ОКПД}, \quad (1)$$

где $I_{\text{иутн}}$ – значение индекса импортоуязвимости региона от поставок товарной номенклатуры из-за рубежа, в %; ТНВЭД – виды товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности, импортируемой в регионы Приволжского федерального округа в рамках сформировавшихся внешнеэкономических цепей поставок (единица измерения денежная или натуральная); ОКПД – продукция собственного производства, классифицируемая в соответствии с ОКПД, изготавливаемая в регионах Приволжского федерального округа.

Предлагаемый подход обеспечивает возможность идентификации степени зависимости региона в разрезе секторов экономики от поставок товаров и услуг из-за рубежа в разрезе товарных групп, использующихся в цепочке создания добавленной стоимости на уровне отдельных секторов экономики. Его реализация предполагает конвертацию данных в разрезе ТНВЭД в систему статистического учета в разрезе видов экономической деятельности. Данный процесс полагается на использование разработанных Министерством экономического развития России переходных ключей между основными видами товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и общероссийским классификатором продукции по видам экономической деятельности.

С целью поиска ответа на вопрос «существует ли зависимость между объемами критического импорта и объемами производства, в настоящем исследовании строятся модели панельных данных. В качестве зависимой переменной выбраны данные об объемах промышленного производства региона, в качестве независимой – объемы критических товарных номенклатур, поставляемых в региональную экономическую систему из-за рубежа ($\text{ТНВЭД}_{\text{крит}}$).

Статистическая база исследования включает в себя данные за период с 2013 по 2021 гг. и раскрывает особенности движения импорта по международным цепочкам поставок в регион. Верхняя граница временного ряда определена исходя из необходимости оценки влияния импорта на устойчивость и перспективы экономического развития регионов на момент обострения фазы санкционного противостояния в 2022 г. Данный подход позволяет идентифицировать сформировавшиеся в период относительной стабильности внешнеэкономические цепочки и в последующем оценить особенности их трансформации в контексте влияния этих процессов на экономическую динамику исследуемых регионов. В качестве ключевого источника данных служат отчеты Федеральной таможенной службы РФ.

С целью реализации модели панельных данных предложен алгоритм, состоящий из 5 ключевых шагов, представленных в виде блок-схемы на рис. 2.

Построение панельных данных реализовано в рамках применения следующих инструментальных методов:

- спецификации моделей пула;
- модели с фиксированными эффектами и со случайными;
- модели со случайными эффектами.

Их сравнительные характеристики представлены на рисунке 3.

На заключительном этапе расчетной части осуществляется сравнение реализованных моделей с применением теста Хаусмана и Бройша Пагана.

Реализация теста Хаусмана позволяет проверить гипотезу о выборе между моделью со случайными эффектами и моделью с фиксированными эффектами. Выдвигаются две гипотезы:

H_0 – различия между *FE* и *RE* моделями незначимы, предпочтение отдается модели *RE*.

H_1 – различия значимы, выбирается модель *FE*.

Тест Бройша-Пагана позволяет осуществить выбор между моделью пула и моделью со случайными эффектами. Выбор итоговой модели осуществляется по результатам тестирования критериев Хаусмана и Бройша Пагана.

Результаты исследования и их обсуждение

Руководствуясь представленными методическими решениями, к группе критического импорта региона отнесено 18 товарных номенклатур внешнеэкономической деятельности (ТНВЭД):

84 «реакторы ядерные, котлы, оборудование и механические устройства; их части»;

8708 «части и принадлежности моторных транспортных средств товарных позиций 8701-8705»;

8419, 8474, 8479 «машины, оборудование промышленное или лабораторное с электрическим или неэлектрическим нагревом»;

8408 «двигатели внутреннего сгорания поршневые с воспламенением от сжатия (дизели или полудизели)»;

8429 «бульдозеры с неповоротным или поворотным отвалом, грейдеры…»;

40 «каучук, резина и изделия из них»;

Рис. 2. Алгоритм методического подхода к оценке пространственных эффектов

Рис. 3. Сравнение моделей *OLS*, *RE* и *FE*

8421 «центрифуги, включая центробежные сушилки; оборудование и устройства для фильтрования или очистки жидкостей или газов»;

90 «инструменты и аппараты оптические, фотографические, кинематографические, измерительные…»;

8481 «краны, клапаны, вентили и аналогичная арматура для трубопроводов, котлов, резервуаров…»;

8537 «пульты, панели, консоли, столы, распределительные щиты и основания для электрической аппаратуры прочие…»;

8511, 8512 «электрооборудование для зажигания или пуска двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием или с воспламенением от сжатия; генераторы; оборудование электроосветительное или сигнализационное…»

8483 «валы трансмиссионные (включая кулачковые и коленчатые) и кривошипы; корпуса подшипников и подшипники скольжения для валов; шестерни и зубчатые передачи…»;

8536 «аппаратура электрическая для коммутации или защиты электрических цепей или для подсоединений к электрическим цепям или в электрических цепях…»;

8428 «машины и устройства для подъема, перемещения, погрузки или разгрузки (например, лифты, эскалаторы, конвейеры, канатные дороги) прочие»;

8412 «двигатели и силовые установки прочие»;

8501 «двигатели и генераторы электрические (кроме электрогенераторных установок)»;

8504 «трансформаторы электрические, статические электрические преобразователи (например, выпрямители), катушки индуктивности…»;

8438 «оборудование для промышленного приготовления или производства пищевых продуктов или напитков…».

В соответствии с предложенным инструментарием, далее, реализован комплекс мероприятий, направленных на поиск экономико-математических закономерностей, формирующих основу для выявления степени влияния идентифицированного критического импорта на перспективы промышленного производства региона.

Результаты реализации модели панельных данных приведены в табл. 1.

Полученные расчеты свидетельствуют о статистической значимости полученных моделей. Значение теста Хаумана 0,09, что больше 0,05, таким образом, гипотеза о наличии фиксированных эффектов отклоняется. Значение теста Бройша-Пагана 0,005, что меньше 0,05, таким образом, модель со случайными эффектами предпочтительнее модели пула.

Таким образом, для моделирования зависимости объемов производства от объемов критического импорта выбрано уравнение модели с учетом случайных эффектов:

$$V_{\text{произв}} = 9284{,}935 + 0{,}705 V_{\text{имп}}. \quad (2)$$

Принимая во внимание, что исследуемый регион относится к одним из наиболее индустриально развитых в России и на промышленный сектор экономики приходится более 47,1 %, можно предположить, что ограничения поставок критических товарных номенклатур в условиях внешних ограничений может привести к заметным рискам устойчивого развития промышленного сектора экономики данного субъекта РФ. Выявленная степень влияния рассматриваемого критического импорта на перспективы промышленного производства в регионе эмпирически подтверждает данный вывод. По результатам полученных оценок установлено, что снижение поставок критического импорта на 1 млн руб. провоцирует угрозы замедления промышленности в Татарстане на 705 млн руб. Учитывая, что по итогам 2021 г. суммарный объем поставок рассматриваемой категории ТНВЭД составляет порядка 1,2 млрд руб., его локализация несет в себе весьма ощутимые риски. Сценарный анализ импортоуязвимости региона от поставок критического импорта представлен в табл. 2.

Результаты моделирования процессов замедления поставок критического импорта демонстрируют достаточно заметные тренды замедления промышленного производства в регионе. Ограничения поставок ТНВЭД из-за рубежа в диапазоне от 5 до 50 % предопределяет риски замедления ИПП в Республике Татарстан от 1,1 до 10,9 %, соответственно, в условиях отсутствия каких-либо бюджетных импульсов в сфере промышленного производства и отсутствия программ импортозамещения.

Таблица 1

Результаты реализации модели панельных данных

	R^2	Коэффициенты		Станд. ошибка	*t*-стат	*P*-знач
		b_0	b_1			
Модель пула	0,92	11093,21	0,696202	0,00192	33,9168	2,09*E*–59
Модель с фиксированными эффектами	0,95	–	0,1392	0,00144	9,1968	2,31*E*–15
Модель со случайными эффектами	0,97	9284,935	0,705	0,00141	44,4714	1,02*E*–71
Hausman Test	0,09					
Breusch-Pagan test	0,005					

Таблица 2

Сценарный анализ устойчивого развития промышленного сектора экономики Республики Татарстан в условиях локализации поставок критического импорта

	Текущие значения (по данным за 2021 год)	Сценарии снижения экспорта		
		–5 %	–10 %	–50 %
Объем критического импорта, млн руб.	1160598,6	1102568,7	1044538,7	580299,3
Объем промышленного производства, млрд руб.	4 005,9	43,5	87	435,2
Потенциал снижение объема промышленного производства, в %		1,1	2,2	10,9

Выводы. 1. Полученные результаты проведенного исследования, выраженные в идентифицированной группе критических для региона ТНВЭД и построенные на их основе экономико-математические модели, определяющие степень их влияния на перспективы промышленного развития, формируют базис для реализации адаптивной к внешним преобразованиям государственной экономической политики.

2. Учитывая, что эффективность ее реализации определяется во многом пониманием уязвимых точек в макроэкономическом пространстве, предложенный инструментарий во многом способствует идентификации и постановке задач в сфере реализации механизмов государственного управления экономическими системами в условиях системных преобразований.

Список литературы

1. *Connolly R., Hanson Ph.* Import Substitution and Economic Sovereignty in Russia. Chatham House. 2016. 24 p.

2. *Wei F., Pokrovskaia N. N.* Easternisation of innovative growth: China-Russia infrastructure development // Вестник факультета управления СПбГЭУ. 2018. № 3–1. С. 436–440.

3. *Белоусова А. В*. Государственная политика импортозамещения: оценка региональных эффектов (на примере Дальневосточного федерального округа) // Региональные проблемы преобразования экономики. 2020. № 11 (121). С. 66–73.

4. *Кривенко Н. В., Епанешникова Д. С*. Импортозамещение как инструмент стабилизации социально экономического развития регионов // Экономика региона. 2020. № 16 (3). С. 765–778.

5. *Сафиуллин М. Р., Бурганов Р. Т., Ельшин Л. А., Мингулов А. М*. Оценка перспектив экономического роста регионов России в условиях санкционных ограничений импорта // Экономика региона. 2023. № 19 (4). С. 1003–1017.

6. *Ullrich K.* Russia – import substitution during recession // KfW Research Focus on Economics. 2017. Vol. 173. Pp. 1–3.

7. *Dong X., Liu H., Chen Z.* Enhanced oil recovery techniques for heavy oil and oilsands reservoirs after steam injection // Applied Energy. 2019. Vol. 239. Pp. 1190–1211.

8. *Лаврикова Ю. Г., Андреева Е. Л., Ратнер А. В*. Классификация факторов развития внешнеэкономической деятельности региона в условиях глобальных вызовов // Экономика региона. 2021. № 17 (2). С. 688–712.

9. *Tregub I. V., De Iacob M.* Econometric Analysis of the Effectiveness of Government Incentive Measures for the Development of the Region // Finance: Theory and Practice. 2022. № 26 (3). Pp. 129–145.

10. *Анимица П. Е.* Региональные аспекты политики импортозамещения (на примере Свердловской области) // Региональная экономика: теория и практика. 2015. № 44. С. 29–35.

11. *Бухвальд Е. М., Иванов О. Б.* Проблемы импортозамещения в стратегиях развития российских регионов // Экономическая политика государства. 2017. № 4. С. 24–41.

12. *Ершов П. А.* Оценка потенциала и перспектив реализации региональной политики импортозамещения на примере Новосибирской области // Мир экономики и управления. 2016. № 16 (3). С. 113–124.

References

1. Connolly R., Hanson Ph. *Import Substitution and Economic Sovereignty in Russia*. Chatham House, 2016, 24 p.

2. Wei F., Pokrovskaia N. N. Easternisation of innovative growth: China-Russia infrastructure development. *Bulletin of the Faculty of Management of St. Petersburg State University of Economics*, 2018, no. 3–1, pp. 436–440.

3. Belousova A. V. State policy of import substitution: assessment of regional effects (on the example of the Far Eastern Federal District). *Regional problems of economic transformation*, 2020, no. 11 (121), pp. 66–73.

4. Krivenko N. V., Epaneshnikova D. S. Import substitution as a tool for stabilizing the socio-economic development of regions. *Economy of the region*, 2020, vol. 16 (3), pp. 765–778.

5. Safiullin M. R., Burganov R. T., Elshin L. A., Mingulov A. M. Assessment of the prospects for economic growth of Russian regions under the conditions of sanctions restrictions on imports. *Economy of the region*, 2023, no. 19 (4), pp. 1003–1017.

6. Ullrich K. Russia – import substitution during recession. *KfW Research Focus on Economics*, 2017, vol. 173, pp. 1–3.

7. Dong X., Liu H., Chen Z. Enhanced oil recovery techniques for heavy oil and oilsands reservoirs after steam injection. *Applied Energy*, 2019, vol. 239, pp. 1190–1211.

8. Lavrikova Yu. G., Andreeva E. L., Ratner A. V. Classification of Factors of Development of a Region's Foreign Economic Activity in the Context of Global Challenges. *Economy of the Region*, 2021, no. 17 (2), pp. 688–712.

9. Tregub I. V., De Iacob M. Econometric Analysis of the Effectiveness of Government Incentive Measures for the Development of the Region. *Finance: Theory and Practice*, 2022, no. 26 (3), pp. 129–145.

10. Animitsa P. E. Regional aspects of import substitution policy (using the Sverdlovsk region as an example). *Regional Economy: Theory and Practice*, 2015, no. 44. pp. 29–35.

11. Bukhvald E. M., Ivanov O. B. Problems of import substitution in development strategies of Russian regions. *State economic policy*, 2017, no. 4, pp. 24–41.

12. Ershov P. A. Assessment of the potential and prospects for implementing regional import substitution policy using the Novosibirsk region as an example. *World of Economics and Management*, 2016, no. 16 (3), pp. 113–124.

УДК

М. Р. САФИУЛЛИН, д-р экономич. наук (Казанский (Приволжский) федеральный университет; Академия наук Республики Татарстан; Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, г. Казань); Л. А. ЕЛЬШИН, д-р экономич. наук (Казанский (Приволжский) федеральный университет; Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан; Университет управления ТИСБИ, г. Казань); Д. Р. АБДРАХМАНОВА, канд. экономич. наук (Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, г. Казань); А. Д. ГАТИН , канд. экономич. наук (Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, адрес: г. Казань)

E-mail: Leonid.Elshin@tatar.ru

M. R. Safiullin (Kazan (Volga Region) Federal University; Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan); L. A. Elshin (Kazan (Volga Region) Federal University; Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; TISBI University of Management, Kazan); D. R. Abdrakhmanova (Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan); A. D. Gatin (Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan)

Сценарное моделирование промышленного развития региона в условиях трансформации поставок критического импорта

Scenario modeling of regional industrial development in the context of transformation of critical import supplies

Разрабатывается методический инструментарий идентификации критического импорта региона в разрезе ТНВЭД. Методическую базу составляет инструментарий статистического анализа данных, их группировки и систематизации, а также методы пространственного анализа панельных данных. Основными результатами исследования являются идентифицированные критически значимые для промышленного сектора товарные номенклатуры, импортируемые из-за рубежа и формирующие основные угрозы устойчивому развитию экономики региона.

A methodological toolkit for identifying critical regional imports within the TN VED framework is being developed. The methodological framework comprises tools for statistical data analysis, grouping, and systematization, as well as methods for spatial analysis of panel data. The main results of the study are the identification of critically important product categories for the industrial sector, imported from abroad, which pose the main threats to the sustainable development of the regional economy.

Ключевые слова: импортозависимость; критический импорт; промышленное развитие; регион; санкционное давление; реконфигурация международных цепей поставок; трансформация внешних рынков; пространственный анализ панельных данных; моделирование макроэкономических связей.

Keywords: import dependence; critical imports; industrial development; region; sanctions pressure; reconfiguration of international supply chains; transformation of foreign markets; spatial analysis of panel data; modeling of macroeconomic relationships.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности по проекту № FZSM–2023–0017 «Экономика импортозамещения региона в условиях трансформации логистических цепочек и деглобализации».

Важнейшей компонентой исследования политики импортозамещения является также понимание направлений стратегической адаптации региона к трансформации международных цепей поставок. Данный аспект определяется степенью критичности ограничений поставок импорта в разрезе отдельных товарных номенклатур, поставляемых в регион из-за рубежа. Выявление и определение параметров критического импорта на региональном уровне является ключевым инструментом разработки комплексной национальной повестки в сфере импортозамещения. При этом одним из наиболее значимых вопросов в контексте поставленного вопроса является определение «критической зависимости» от импорта [1, 2] и определение макроэкономических рисков, генерирующихся в результате его локализации в рамках разворачивающихся ограничений во внешней среде.

Обозначенные аспекты, в наибольшей степени актуальные сегодня для российской экономики и других юрисдикций макроуровня, сталкивающихся с санкционным давлением, сформировали весьма широкий пласт научных работ, посвященных разработке моделей импортозависимости и ее влияния на макроэкономические тренды в условиях системных преобразований. Между тем, все они, главным образом, сосредотачивают свой исследовательский фокус на национальные экономические системы. Регионы и модели их экономического развития остаются незаслуженно на периферии научных трудов. Между тем именно региональный уровень исследования вопросов импортозамещения формирует основу для выработки единой макроэкономической политики в сфере разработки адаптированных программ развития на макроуровне. Учитывая данную позицию, последующее исследовательское внимание будет сосредоточено на обзоре, систематизации и критическом анализе сформировавшихся в теории и практике моделей и методов оценки импортозависимости региональных экономических систем и перспектив определения динамики их экономического развития.

Обзор литературы

Региональные аспекты, затрагивающие исследование вопросов импортозамещения с позиции содержательного анализа дефиниций, рассматриваются в работах российских исследователей [3–11] и др.

Среди зарубежных работ, посвященных изучению вопросов, связанных с выработкой механизмов реализации региональной экономики импортозамещения, в том числе и в условиях внешних ограничений, необходимо выделить труды [12–15] и др.

В целом, несмотря на наличие работ в рассматриваемой сфере изучения экономики импортозамещения на региональном уровне, имеется некая фрагментарность исследований в области разработки методического инструментария идентификации критического импорта с позиции формирующихся процессов трансформации институционально-конъюнктурной среды. Особый уровень актуальности данный вопрос проявляет себя в рамках изучения оценки структурных особенностей импортных потоков, стран их происхождения, участия ТНВЭД в создании добавленной стоимости и последующего определения влияния данных параметров на перспективы экономической динамики региона с учетом происходящих системных преобразований в геоэкономической повестке. В условиях турбулентности на внешних рынках, динамично трансформирующихся процессов формирования международных цепей поставок, данные компоненты анализа импортозависимости региональных экономических систем играют сегодня одну из определяющих ролей.

Необходимо отметить, что, несмотря на сформировавшуюся научную базу в вопросе исследования экономики импортозамещения на мезоуровне, исследовательский блок, посвященный вопросам оценки и анализу влияния формирующихся параметров импортозависимости на перспективы экономической динамики, остается в наименьшей степени проработанным. Это делает его достаточно уникальным, особенно, если исследовательский контекст сосредотачивается на региональных экономических системах. Вместе с тем, несмотря на ограниченное число научных публикаций в этой области научных исследований, все же работы по рассматриваемому направлению встречаются [16]. В этой статье авторы, используя методы статистического анализа данных, анализируют импортозависимость экономики России на основе расчета ряда показателей, оценивающих долю импорта в общем объеме потребления и производства аналогичной продукции в стране. Реализация данного подхода позволяет авторам сформировать комплекс эвристических предположений о перспективах экономического роста в условиях возможных изменений в структуре поставок продукции из-за рубежа в разрезе критически значимого импорта.

Схожий подход к оценке импортозависимости и ее влияния на устойчивость макроэкономических процессов, представлен в работах [17–20] и др.

В целом, несмотря на наличие работ в рассматриваемой сфере изучения экономики импортозамещения на региональном уровне, имеется некая лоскутность в области разработки методического инструментария оценки влияния критического импорта на устойчивость регионального экономического роста. Особый уровень актуальности данный вопрос проявляет себя в рамках изучения оценки структурных особенностей импортных потоков в условиях системных преобразований во внешнем контуре национальной экономики. Между тем, в условиях турбулентности на мировых рынках, динамично трансформирующихся процессов формирования международных цепей поставок, данные компоненты анализа импортозависимости региональных экономических систем играют сегодня одну из определяющих ролей. Данный вывод предопределяет необходимость дальнейшего развития и наращивания методологической базы в сфере изучения импортозависимости региональных экономических систем и последующей разработки моделей перспектив их экономического развития в условиях динамично трансформирующейся внешней среды.

Материалы и методы исследования

Базовым этапом исследования и аутентификации критического импорта региона является идентификация и формирование выборки ТНВЭД, доля которых превышает 0,05 % от валового объема импорта в региональную экономическую систему. Данный пороговый уровень сформирован исходя из необходимости отсечения статистически незначимых ТНВЭД, участие которых в создании добавленной стоимости конечного продукта региона не носит критического характера. Кроме того, исключение данной совокупности товарных номенклатур, импортируемых из-за рубежа, формирует более устойчивую и статистически значимую эмпирическую базу для последующего анализа в контексте построения многофакторных моделей.

Дополнительным элементом фильтрации ТНВЭД является отсечение тех товарных номенклатур, участие которых в создании добавленной стоимости не превышает 50 % от производства аналогичной продукции в рамках экономической системы региона. Данный барьер сформирован исходя из следующих допущений:

- участие товаров конечного и промежуточного потребления в производственных циклах региона с данным пороговым значением не является критическим и может быть оперативно замещено в рамках переориентации географии импортных поставок или за счет производства аналогичной продукции внутри российской экономики;
- принимая во внимание, что по абсолютному большинству ТНВЭД, импортируемых из-за рубежа, товарная номенклатура относится к категории промежуточного потребления, ограничения их поставок в краткосрочной перспективе не может привести к заметным рискам в сбое ритмичности хозяйственных процессов ввиду наличия складских запасов.

Методическая основа данного исследовательского этапа опирается на оценку соотношения генерируемых международных цепей поставок (МЦП) к объему собственного производства в разрезе исследуемых товарных номенклатур:

$$I_{\text{иутн}} = \text{ТНВЭД/ОКПД}, \quad (1)$$

где $I_{\text{иутн}}$ – значение индекса импортоуязвимости региона от поставок товарной номенклатуры из-за рубежа, в %; ТНВЭД – виды товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности, импортируемой в регионы Приволжского федерального округа в рамках сформировавшихся внешнеэкономических цепей поставок (единица измерения денежная или натуральная); ОКПД – продукция собственного производства, классифицируемая в соответствии с ОКПД, изготавливаемая в регионах Приволжского федерального округа.

Предлагаемый подход обеспечивает возможность идентификации степени зависимости региона в разрезе секторов экономики от поставок товаров и услуг из-за рубежа в разрезе товарных групп, использующихся в цепочке создания добавленной стоимости на уровне отдельных секторов экономики. Его реализация предполагает конвертацию данных в разрезе ТНВЭД в систему статистического учета в разрезе видов экономической деятельности. Данный процесс полагается на использование разработанных Министерством экономического развития России переходных ключей между основными видами товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза и общероссийским классификатором продукции по видам экономической деятельности.

Третий элемент фильтра включает в себя устранение из сформированной на предыдущих шагах базы ТНВЭД, тех товарных номенклатур, импортозависимость от которых не является критической, поскольку они ввозятся в регион из дружественных юрисдикций.

Наконец, в качестве четвертого уровня фильтрации ТНВЭД на предмет идентификации их критичности для региональных воспроизводственных процессов является отсев товарных номенклатур, которые не участвуют прямым образом в создании добавленной стоимости (к примеру, это может быть продукция потребительского назначения).

Реализация исследования в фарватере обозначенных задач требует обработки широкой совокупности статистических данных на мезоуровне. Однако, в условиях происходящих институционально-конъюнктурных преобразований ряд из них, особенно раскрывающих особенности внешнеэкономической деятельности регионов, не публикуется в открытом доступе. В этой связи в исследовании реализуется оценка по данным ЕМИСС за 2021 г., характеризующийся умеренными санкционными рестрикциями со стороны стран западного блока и обладающим широкой статистической базой, публикуемой в официальных статистических сборниках. Данный подход формирует базис для идентификации стартовых позиций в сфере импортоуязвимости относительно усиленного санкционного давления образца 2022–2025 гг. Кроме того этот подход позволяет определить наиболее уязвимые внешнеэкономические потоки, поставляемые ранее в регион из стран, квалифицируемых сегодня как недружественные и требующие повышенного внимания со стороны органов государственной власти в рамках реализации программ импортозамещения.

Результаты исследования и их обсуждение

Руководствуясь представленными методическими решениями, к группе критического импорта региона были отнесены товарные номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТНВЭД) региона, представленные в таблице.

По результатам проведенного анализа к группе критического импорта исследуемого субъекта отнесено 18 товарных номенклатур, определяющих системообразующие параметры устойчивого развития экономики региона.

Таблица

Экспертная оценка за 2021 год удельного веса импорта в объеме производства в разрезе основных видов ТНВЭД Республики Татарстан

Код ТНВЭД ЕАЭС	Наименование товара	Единица измерения	Объем импорта	Объем производства	Отношение импорта к объему производства, %	Удельный вес товарной позиции в стоимостном объеме импорта Республики Татарстан, %
84	реакторы ядерные, котлы, оборудование и механические устройства; их части	млн руб.	144 867,2	2 915,9	4968,2	35,93
8708	части и принадлежности моторных транспортных средств товарных позиций 8701-8705	млн руб.	80 982,4	64 047,4	126,4	20,09
8419, 8474, 8479	машины, оборудование промышленное или лабораторное с электрическим или неэлектрическим нагревом (…	млн руб.	33 127,9	5 993,8	552,7	8,22
8408	двигатели внутреннего сгорания поршневые с воспламенением от сжатия (дизели или полудизели)	шт	47 527	46 085	103,1	6,12
8429	бульдозеры с неповоротным или поворотным отвалом, грейдеры…	млн руб.	9 433,4	1 578,9	597,5	2,34
40	каучук, резина и изделия из них	млн руб.	9 149,7	19 748,7	46,3	2,27
8421	центрифуги, включая центробежные сушилки; оборудование и устройства для фильтрования или очистки жидкостей или газов	млн руб.	8 514,4	604,2	1409,2	2,11
90	инструменты и аппараты оптические, фотографические, кинематографические, измерительные…	млн руб.	8 208,7	12 016,7	68,3	2,04
8481	краны, клапаны, вентили и аналогичная арматура для трубопроводов, котлов, резервуаров…	млн руб.	6 443,9	947,8	679,9	1,6

Окончание табл.

Код ТНВЭД ЕАЭС	Наименование товара	Единица измерения	Объем импорта	Объем производства	Отношение импорта к объему производства, %	Удельный вес товарной позиции в стоимостном объеме импорта Республики Татарстан, %
8537	пульты, панели, консоли, столы, распределительные щиты и основания для электрической аппаратуры прочие…	млн руб.	5 589,0	420,1	1330,3	1,39
8511, 8512	электрооборудование для зажигания или пуска двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием или с воспламенением от сжатия; генераторы; оборудование электроосветительное или сигнализационное…	млн руб.	4 299,7	4 309,8	99,8	1,07
8483	валы трансмиссионные (включая кулачковые и коленчатые) и кривошипы; корпуса подшипников и подшипники скольжения для валов; шестерни и зубчатые передачи…	млн руб.	2 797,7	445	628,7	0,69
8536	аппаратура электрическая для коммутации или защиты электрических цепей или для подсоединений к электрическим цепям или в электрических цепях …	млн руб.	2 272,2	861,7	263,7	0,56
8428	машины и устройства для подъема, перемещения, погрузки или разгрузки (например, лифты, эскалаторы, конвейеры, канатные дороги) прочие	шт	2 922,0	354	825,4	0,5
8412	двигатели и силовые установки прочие	млн руб.	1 254,9	91,5	1371	0,31
8501	двигатели и генераторы электрические (кроме электрогенераторных установок)	шт	791 277	5 350	14790,2	0,19
8504	трансформаторы электрические, статические электрические преобразователи (например, выпрямители), катушки индуктивности…	млн руб.	647,7	25,2	2574,1	0,16
8438	оборудование для промышленного приготовления или производства пищевых продуктов или напитков…	млн руб.	500,8	46,1	1085,8	0,12

Полученные результаты проведенного исследования, выраженные в идентифицированной группе критических для региона ТНВЭД, формируют базис для реализации адаптивной к внешним преобразованиям государственной экономической политики. Учитывая, что эффективность ее реализации определяется во многом пониманием уязвимых точек в макроэкономическом пространстве, предложенный инструментарий во многом способствует идентификации и постановке задач в сфере реализации механизмов государственного управления в сфере интенсификации процессов импортозамещения по наиболее чувствительным точкам экономики.

Выводы. 1. Важно отметить, что полученные оценки во многом корреспондируют с исследованиями, проводимыми ранее по данному направлению, в которых отмечается необходимость сосредоточения внимания в условиях санкционных ограничений на активизации государственной экономической политики в сфере создания и развития отечественных производств в рамках реализации политики импортозамещения. Это обосновывается тем, что в условиях внешних рестрикций критический импорт товарных номенклатур играют одну их существенных ролей в обеспечении устойчивости и ритмичности процессов экономического развития. Между тем данные исследования отталкиваются, в первую очередь, от оценки долей данных групп импорта в общем объеме поставляемой продукции из-за рубежа. При этом применение специальных методов, оценивающих

критический импорт в разрезе конкретных видов товарных номенклатур, как правило, не производится. Между тем данный исследовательский уровень во многом обеспечивает возможность для разработки адаптивных моделей макроэкономического развития с учетом специфических особенностей импортоуязвимости промышленных отраслей от критически значимых ТНВЭД.

2. Реализация настоящего исследования во многом компенсирует этот пробел и способствует дальнейшему развитию теории экономики импортозамещения с позиции наращивания методологической базы, в том числе в контексте идентификации критического импорта и последующей разработки на этой основе экономико-математических моделей его влияния на экономический рост регионов.

Список литературы

1. *Мингулов А. М.* Особенности и перспективы устойчивого развития регионов РФ в условиях локализации импорта // Экономика и предпринимательство. 2024. № 11 (172). С. 602–608.

2. *Чернова О. А., Климук В. В*. Рациональное импортозамещение в промышленности как инструментарий оценки // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2017. № 38. С. 43–52.

3. *Бабешко Л. О., Бывшев В. А*. Анализ стабильности модели прогнозирования объемов взаимной торговли России с партнерами БРИКС // Финансы: теория и практика. 2025. № 29 (4). С. 129–145.

4. *Кашбразиев Р. В*. Перспективы экспорта товаров из Турции в страны Европейского союза в контексте углеродного налогообложения // Финансы: теория и практика. 2024. № 28 (2). С. 178–191.

5. *Федорова Е. А., Неврединов А. Р., Мелихов К. С., Ященко А. И*. Влияние импортозамещения на рост производства минеральных продуктов и металлургии: краткосрочное и долгосрочное прогнозирование базовых отраслей национального хозяйства // Финансы: теория и практика. 2023. № 27(6). С. 17–30.

6. *Yadigarov T. A.* Econometric Assessment of the Level of Development of Balanced Foreign Economic Relations in Conditions of Uncertainty // Finance: Theory and Practice. 2022. № 26 (1). Pp. 79–90.

7. *Лаврикова Ю. Г., Андреева Е. Л., Ратнер А. В*. Классификация факторов развития внешнеэкономической деятельности региона в условиях глобальных вызовов // Экономика региона. 2021. № 17 (2). С. 688–712.

8. *Tregub I. V., De Iacob M.* Econometric Analysis of the Effectiveness of Government Incentive Measures for the Development of the Region // Finance: Theory and Practice. 2022. № 26 (3). Pp. 129–145.

9. *Анимица П. Е*. Региональные аспекты политики импортозамещения (на примере Свердловской области) // Региональная экономика: теория и практика. 2015. № 44. С. 29–35.

10. *Бухвальд Е. М., Иванов О. Б*. Проблемы импортозамещения в стратегиях развития российских регионов // Экономическая политика государства. 2017. № 4. С. 24–41.

11. *Ершов П. А.* Оценка потенциала и перспектив реализации региональной политики импортозамещения на примере Новосибирской области // Мир экономики и управления. 2016. № 16 (3). С. 113–124.

12. *Ullrich K.* Russia – import substitution during recession // KfW Research Focus on Economics. 2017. Vol. 173. Pp. 1–3.

13. *Dong X., Liu H., Chen Z.* Enhanced oil recovery techniques for heavy oil and oilsands reservoirs after steam injection // Applied Energy. 2019. Vol. 239. Pp. 1190–1211.

14. *Connolly R., Hanson Ph.* Import Substitution and Economic Sovereignty in Russia. Chatham House. 2016. 24 p.

15. *Aspromourgos T.* The life of William Petty in relation to his economics // History of Political Economy. 1988. № 20. Pp. 337–356.

16. *Андреева Е. Л., Ратнер А. В.* Экспортная ориентация как индикатор преодоления импортозависимости на российском рынке продукции машиностроения // Российский внешнеэкономический вестник. 2022. № 5. С. 46–57.

17. *Hufbauer G., Schott J., Elliott K., Oegg B.* Economic sanctions reconsidered. 3rd ed. Washington, DC: Peterson Institute for International Economics. 2007. 248 p.

18. *Adewale A. R.* Import substitution industrialisation and economic growth – Evidence from the group of BRICS countries // Future Business Journal. 2017. № 3. Pp. 138–158.

19. *Bali M., Rapelanoro N.* How to simulate international economic sanctions: A multipurpose index modelling illustrated with EU sanctions against Russia // International Economics. 2021. Vol. 168. Pp. 25–39.

20. *Wei F., Pokrovskaia N. N.* Easternisation of innovative growth: China-Russia infrastructure development // Вестник факультета управления СПбГЭУ. 2018. № 3–1. С. 436–440.

References

1. Mingulov A. M. Features and Prospects of Sustainable Development of Russian Regions in the Context of Import Localization. *Economy and Entrepreneurship*, 2024, no. 11 (172), pp. 602–608.

2. Chernova O. A., Klimuk V. V. Rational Import Substitution in Industry as an Assessment Tool. *Bulletin of Tomsk State University. Economics*, 2017, no. 38, pp. 43–52.

3. Babeshko L. O., Byvshev V. A. Analysis of the Stability of the Model for Forecasting the Volume of Mutual Trade between Russia and BRICS Partners. *Finance: Theory and Practice*, 2025, no. 29 (4), pp. 129–145.

4. Kashbraziev R. V. Prospects for the Export of Goods from Turkey to the Countries of the European Union in the Context of Carbon Taxation. *Finance: Theory and Practice*, 2024, no. 28 (2), pp. 178–191.

5. Fedorova E. A., Nevredinov A. R., Melikhov K. S., Yashchenko A. I. The Impact of Import Substitution on the Growth of Production of Mineral Products and Metallurgy: Short-Term and Long-Term Forecasting of Basic Sectors of

the National Economy. *Finance: Theory and Practice*, 2023, no. 27 (6), pp. 17–30.

6. Yadigarov T. A. Econometric Assessment of the Level of Development of Balanced Foreign Economic Relations in Conditions of Uncertainty. *Finance: Theory and Practice*, 2022, no. 26 (1), pp. 79–90.

7. Lavrikova Yu. G., Andreeva E. L., Ratner A. V. Classification of Factors of Development of a Region's Foreign Economic Activity in the Context of Global Challenges. *Economy of the Region*, 2021, no. 17 (2), pp. 688–712.

8. Tregub I. V., De Iacob M. Econometric Analysis of the Effectiveness of Government Incentive Measures for the Development of the Region. *Finance: Theory and Practice*, 2022, no. 26 (3), pp. 129–145.

9. Animitsa P. E. Regional aspects of import substitution policy (using the Sverdlovsk region as an example). *Regional Economy: Theory and Practice*, 2015, no. 44. pp. 29–35.

10. Bukhvald E. M., Ivanov O. B. Problems of import substitution in development strategies of Russian regions. *State economic policy*, 2017, no. 4, pp. 24–41.

11. Ershov P. A. Assessment of the potential and prospects for implementing regional import substitution policy using the Novosibirsk region as an example. *World of Economics and Management*, 2016, no. 16 (3), pp. 113–124.

12. Ullrich K. Russia – import substitution during recession. *KfW Research Focus on Economics*, 2017, vol. 173, pp. 1–3.

13. Dong X., Liu H., Chen Z. Enhanced oil recovery techniques for heavy oil and oilsands reservoirs after steam injection. *Applied Energy*, 2019, vol. 239, pp. 1190–1211.

14. Connolly R., Hanson Ph. *Import Substitution and Economic Sovereignty in Russia*. Chatham House, 2016, 24 p.

15. Aspromourgos T. The life of William Petty in relation to his economics. *History of Political Economy*, 1988, no. 20, pp. 337–356.

16. Andreeva E. L., Ratner A. V. Export orientation as an indicator of overcoming import dependence in the Russian engineering products market. *Russian Foreign Economic Bulletin*, 2022, no. 5, pp. 46–57.

17. Hufbauer G., Schott J., Elliott K., Oegg B. *Economic sanctions reconsidered. 3rd ed*. Washington DC, Peterson Institute for International Economics, 2007, 248 p.

18. Adewale A. R. Import substitution industrialisation and economic growth – Evidence from the group of BRICS countries. *Future Business Journal*, 2017, no. 3, pp. 138–158.

19. Bali M., Rapelanoro N. How to simulate international economic sanctions: A multipurpose index modelling illustrated with EU sanctions against Russia. *International Economics*, 2021, vol. 168, pp. 25–39.

20. Wei F., Pokrovskaia N. N. Easternisation of innovative growth: China-Russia infrastructure development. *Bulletin of the Faculty of Management of St. Petersburg State University of Economics*, 2018, no. 3–1, pp. 436–440.

УДК

Н. Ш. КРЕМЕР, канд. экономич. наук; Л. В. ЛИПАГИНА, И. Э. ГУРЬЯНОВА, С. В. САВИНА, кандидаты физ.-мат. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); Т. Б. ТУРИЩЕВА, д-р экономич. наук (РЭУ им. Г. В. Плеханова; Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)

E-mail: NSKremer@fa.ru

N. Sh. Kremer, L. V. Lipagina, I. E. Guryanova, S. V. Savina (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); T. B. Turishcheva (Plekhanov Russian University of Economics; Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Инновационные цифровые технологии в управлении промышленными предприятиями: вызовы и перспективы

Innovative digital technologies in industrial enterprise management: challenges and prospects

В статье осуществлен анализ процесса трансформации управления промышленными предприятиями при внедрении цифровых технологий. Охарактеризованы важнейшие технологии, влияющие на трансформацию управления промышленными предприятиями, такие как искусственный интеллект, технологии автоматизации производственных процессов, блокчейн, интернет вещей (IoT), дополненная реальность (AR), виртуальная реальность (VR), облачные вычисления, большие данные, технологии кибербезопасности и робототехники. Рассмотрены проблемы, связанные с внедрением цифровых технологий на промышленных предприятиях, такие как уровень затрат, связанных с внедрением ЦТ; обучение сотрудников; изменения в организации труда; защита данных и безопасность; принятие ЦТ сотрудниками. В статье представлены преимущества и недостатки, связанные с внедрением цифровых технологий на предприятиях, и предложены стратегии развития промышленных предприятий на основе цифровых технологий.

This article analyzes the transformation of industrial enterprise management through the implementation of digital technologies. It describes the most important technologies influencing the transformation of industrial enterprise management, such as artificial intelligence, industrial process automation technologies, blockchain, the Internet of Things (IoT), augmented reality (AR), virtual reality (VR), cloud computing, big data, cybersecurity technologies, and robotics. It also examines challenges associated with the implementation of digital technologies at industrial enterprises, including the level of costs associated with the implementation of digital technologies; employee training; changes in work organization; data protection and security; and employee acceptance of digital technologies. The article presents the advantages and disadvantages associated with the implementation of digital technologies at enterprises and proposes strategies for the development of industrial enterprises based on digital technologies.

Ключевые слова: промышленное предприятие; управление; цифровые технологии (ЦТ); стратегии развития; автоматизация.

Keywords: industrial enterprise; management; digital technologies (DT); development strategies; automation.

Современная экономика требует от промышленных предприятий (ПП) постоянной адаптации к новым рыночным и технологическим условиям. В этом контексте внедрение цифровых технологий (ЦТ) в управление и развитие бизнеса имеет решающее значение для сохранения рыночных позиций. Конкуренция становится все более жесткой, а требования клиентов - все более высокими. Поэтому внедрение ЦТ – это не только выгодное решение, но и необходимое условие для эффективной рыночной конкуренции.

Современные IT-инструменты, искусственный интеллект, робототехника и блокчейн – лишь некоторые из технологий, доступных сегодня и оказывающих существенное влияние на работу ПП. Их внедрение позволяет автоматизировать бизнес-процессы, оптимизировать и ускорить операции, а также повысить точность и качество выполняемых задач. При правильном использовании ЦТ предоставляют инструменты для повышения операционной эффективности, оптимизации затрат и, следовательно, повышения конкурентоспособности ПП. В то же время, внедрение ЦТ сопряжено с определенными рисками и сложностями, которые необходимо учитывать в процессе внедрения. Многие ПП сталкиваются с проблемой недостаточной осведомленности сотрудников о ЦТ и нехваткой средств на их внедрение. Более того, внедрение ЦТ может представлять риск потери данных и угрозу кибербезопасности ПП. Поэтому ПП следует тщательно продумать внедрение новых технологий и разработать соответствующую стратегию их внедрения. Только так можно будет эффективно использовать новые технологии для повышения потенциала ПП.

Цель данной работы – показать важность ЦТ в управлении ПП, а также представить преимущества и риски, связанные с их использованием. Также будут представлены примеры стратегий, которые помогут ПП эффективно использовать ЦТ для повышения своего потенциала.

Результаты исследования и их обсуждение

В цифровую эпоху внедрение ЦТ в бизнес становится неизбежным. Они не только обеспечивают конкурентное преимущество, но и играют решающую роль в повышении качества продуктов/услуг, повышении эффективности и создании новых товарных категорий. Согласно источникам [1, 2], важнейшими ЦТ, которые могут оказать влияние на управление ПП, являются искусственный интеллект, технологии автоматизации производственных процессов, блокчейн, интернет вещей (*IoT*), дополненная реальность (*AR*), виртуальная реальность (*VR*), облачные вычисления, большие данные, технологии кибербезопасности и робототехники.

Под искусственным интеллектом (ИИ) понимаются компьютерные системы и алгоритмы, способные выполнять сложные задачи, требующие человеческой интеллектуальной деятельности. На промышленных предприятиях инструменты на основе ИИ могут быть использованы при автоматизации производственных процессов, в процессе анализа данных, в целях персонализации взаимодействия с клиентами [3].

Автоматизация производственных процессов подразумевает замену человеческого труда машинным, что приводит к более быстрому, эффективному и точному выполнению тех же задач. Автоматизация может быть применена в таких сферах промышленного производства как выполнение технологических процессов, диспетчеризация производства, управление складскими запасами и др. Автоматизируя производственные процессы, ПП минимизирует затраченное на выполнение работ время и финансовые ресурсы, одновременно повышая качество и эффективность своей деятельности [4].

Технология блокчейн, обеспечивающая безопасное хранение данных и осуществление транзакций без участия посредников, в условиях ПП может быть использована при проектировании внешних логистических цепочек и осуществлении продаж, повышая безопасность и прозрачность финансовых операций [5].

IoT, представляющая собой сетевое соединение различных устройств и объектов, способных взаимодействовать друг с другом, на ПП может применяться при осуществлении логистических и производственных процессов как средство контроля и получения информации о производимой продукции и ее потребителях, что позволяет предприятию лучше адаптировать свои предложения к потребностям клиентов [6].

AR и *VR* – еще одни ЦТ, находящие широкое применение в промышленном производстве. *AR* позволяет накладывать виртуальные элементы на реальный мир, что может использоваться в проектировании производственных комплексов и помещений. *VR* позволяет создавать виртуальные среды, которые можно использовать для обучения сотрудников, разработки новой продукции и бизнес-симуляции [7].

Сегодня в производстве все чаще используются роботы, которые позволяют автоматизировать процессы, повысить эффективность и качество, а также снизить издержки производства [8].

Облачные вычисления обеспечивают доступ к ИТ-ресурсам через Интернет, что значительно облегчает управление ИТ-ресурсами, снижает затраты, улучшает масштабируемость и доступность данных, а также позволяет работать удаленно. В свою очередь использование технологии «больших данных» обеспечивает сбор, хранение и анализ больших наборов данных, что позволяет лучше понимать поведение клиентов и рынка, улучшать персонализацию промышленной продукции, оптимизировать бизнес-процессы и принимать более точные решения [9]. Также следует отметить, что по мере роста числа кибератак все более важным становится обеспечение надлежащего уровня безопасности корпоративных данных и ИТ-систем ПП. Новые технологии кибербезопасности могут помочь защитить ПП от угроз.

Вместе с тем, внедряя ЦТ, предприятие должно решать определенные проблемы, возникающие в ходе этого процесса, к основным из которых относятся уровень затрат, связанных с внедрением ЦТ; обучение сотрудников; изменения в организации труда; защита данных и безопасность; принятие ЦТ сотрудниками.

1. Наиболее существенной проблемой при внедрении ЦТ на промышленном предприятии является уровень финансовых затрат предприятия, который в зависимости от типа ЦТ и масштабов внедрения может оказаться значительным. При этом наиболее значимой составляющей финансовых затрат предприятия при внедрении ЦТ являются инвестиции в ИТ-инфраструктуру, включающие покупку/аренду оборудования, оплату лицензий за использование программного обеспечения, а также расходы на обслуживание и ремонт оборудования. Следующей статьей дополнительных расходов предприятия может стать необходимость привлечения высокооплачиваемых специалистов при внедрении таких ЦТ как искусственный интеллект или блокчейн. Отметим, что при определении возможных расходов необходимо учитывать возможность интеграции внедряемых ЦТ с имеющимися на предприятии ИТ-системами.

Не менее значительными статьями расходов, связанных с внедрением ЦТ, могут стать расходы, связанные с обучением сотрудников и реорганизацией структуры предприятия, поскольку внедрение ЦТ может потребовать изменений в бизнес-процессах, организации труда и трансформации организационной культуры предприятия. Еще одна статья расходов, связанных с внедрением ЦТ, – это инвестиции в системы защиты корпоративных данных, которые должны обеспечивать конфиденциальность и безопасность имеющейся информации, а также предотвращать кибератаки.

2. Ключевым элементом внедрения ЦТ на предприятии является обучение сотрудников, поэтому ПП должны инвестировать в обучение, чтобы обеспечить своим сотрудникам соответствующий уровень компетентности. Значительную часть обучения могут проводить внешние специалисты, обладающие необходимыми знаниями и опытом внедрения и использования ЦТ.

При этом необходимо адаптировать обучение к разным уровням подготовки и конкретным потребностям сотрудников, некоторым из которых может потребоваться более продвинутое обучение, в то время как другим – базовая подготовка по использованию новых технологий. Еще одна сложность – организация обучения таким образом, чтобы оно не нарушало повседневную деятельность предприятия. Предприятие должно найти баланс между обеспечением адекватного обучения и минимизацией перебоев в повседневной работе. Следует отметить, что обучение сотрудников должно осуществляться на регулярной основе, в связи с чем предприятиям необходимо разработать долгосрочные планы обучения, учитывающие будущие потребности в расширении навыков и знаний работников предприятия в области ЦТ [10].

3. Внедрение ЦТ на предприятии, как правило, приводит к изменениям производственных и бизнес-

процессов, поскольку новые способы выполнения производственных задач с использованием цифрового инструментария требуют реорганизации деятельности и внедрения новых процедур. В связи с чем возникает проблема адаптация к внедренным ЦТ организационной структуры предприятия, что приводит к изменениям ролей и обязанностей сотрудников, а также, с одной стороны, появлению в штатном расписании предприятия новых должностей, с другой стороны – к сокращению ряда должностей, где ЦТ заменит труд человека [3].

4. В процессе внедрения ЦТ, одной из важнейших задач, стоящих перед предприятиями, становится обеспечение защиты корпоративных данных [2]. Возникающие серьезные угрозы конфиденциальности и безопасности корпоративных данных вследствие возможности несанкционированного доступа к хранящейся в ИТ-системах предприятия информации могут привести к значительным финансовым и репутационным потерям и требуют использования соответствующих цифровых инструментов (системы раннего обнаружения угроз, межсетевые экраны, антивирусное программное обеспечение, программы шифрования) и процедур (аудит безопасности, обучение сотрудников в области ИТ-безопасности [10]). Также в данном аспекте следует отметить необходимость соблюдения нормативных актов о конфиденциальности персональных данных, в связи с чем предприятия обязаны информировать клиентов о том, как обрабатываются их персональные данные.

5. Необходимым условием успешного внедрения ЦТ на предприятии является принятие новых технологий сотрудниками, которые должны воспринимать ЦТ как инструменты, помогающие им выполнять свою работу [11]. Для этого необходимо обеспечить не только обучение сотрудников, но и адекватную техническую поддержку. Одновременно сотрудники должны быть подробно информированы о целях и преимуществах внедрения ЦТ, как для предприятия в целом, так и для каждого работника индивидуально. При этом необходимо обеспечить прозрачность принимаемых решений, касающихся внедрения ЦТ на предприятии, и вовлечение сотрудников в процесс принятия этих решений путем предоставления сотрудникам возможности высказывать свои мнения и предложения, которые будут учтены при принятии решений [4, 12].

Другим важным аспектом принятия сотрудниками ЦТ является замена человеческого труда машинами – задача, которую ПП должны решать при внедрении инновационных решений. С одной стороны, современные инструменты могут повысить производительность, качество и скорость работы, способствуя тем самым развитию предприятия [13].

С другой стороны, автоматизация производственных процессов может привести к сокращению персонала предприятия и, как следствие, к росту безработицы. Для противодействия этой угрозе требуется использование ряда стратегических подходов, одним из которых является участие сотрудников в процессах разработки, тестирования и итогового внедрения ЦТ, что позволит им использовать свои знания и опыт и осознать, как изменения повлияют на их дальнейшую работу [14, 15]. Еще одним важным стратегическим подходом, способным противодействовать возникающей в результате внедрения ЦТ безработице, является переподготовка кадров предприятия в целях обучения сотрудников новым навыкам и квалификациям, позволяющим работать с ЦТ. Следующим стратегическим подходом может стать сотрудничество и партнерство предприятий друг с другом, а также с университетами и научными организациями для обмена опытом и знаниями, что также позволит сотрудникам предприятия развивать новые навыки и компетенции [16, 17].

Кроме того, важно поддерживать диалог со своими сотрудниками и оказывать им необходимую помощь в процессе внедрения ЦТ. Менеджменту ПП следует помнить, что замена работников технологиями не всегда выгодна. В некоторых случаях человеческие навыки, знания и опыт имеют решающее значение для успеха [18]. Поэтому ЦТ следует использовать ответственно. Необходимо соблюдать баланс между человеческим трудом и автоматизацией.

Предприятиям также следует адаптировать выбранные ЦТ к своей отрасли и оценить преимущества и недостатки их внедрения; ответить на вопрос, принесет ли это пользу развитию предприятия, не нарушит ли сложившийся порядок вещей и не создаст ли проблем и дополнительных затрат. Примеры общих преимуществ и недостатков ЦТ для ПП представлены в табл. 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки внедрения ЦТ на промышленном предприятии

Преимущества	Недостатки
повышение производительности и эффективности труда	необходимость непрерывного обучения
повышение качества продукции	трудности в интеграции систем
улучшение коммуникации и сотрудничества	более высокие затраты
конкурентоспособность на рынке	риск изменения организации труда
внедрение инновационных решений	возможность роста безработицы, риск потери работы
трудовая мобильность	проблемы безопасности данных

Таблица 2

Стратегии развития предприятия на основе ЦТ

Стратегия развития	Возможности
Применение на предприятии инструментов на основе ИИ	Оптимизация производственных процессов, выявление (мониторинг) возникающих проблем (ошибок в производственных процессах) в режиме реального времени и моментальное реагирование на них с предложением корректирующих воздействий
Автоматизация рабочих процессов	Повышение эффективности и качества рабочих процессов, уменьшение затрат и снижение риска ошибок
Использование *IoT*	Сбор и обработка поступающих данных в режиме реального времени, лучший контроль и отслеживание производственных процессов, удаленное управление устройствами и сбор данных об их использовании для оптимизации их работы, быстрое реагирование на возникающие на производстве проблемы.
Использование больших данных менеджментом предприятия	Анализ рынка и принятие эффективных бизнес-решений, прогнозирование рыночных тенденций и персонализация выпускаемой продукции

Новые технологии, такие как ИИ, автоматизация и Интернет вещей, с одной стороны, предоставляют предприятиям многочисленные возможности для развития, повышают эффективность производственных процессов и качество продукции, сокращают сроки выполнения бизнес-процессов; с другой стороны, создают для предприятий определенные проблемы, рассмотренные выше. Поэтому менеджменту ПП необходимо иметь четкие стратегии развития предприятия на основе цифровых технологий (см. табл. 2).

Выводы. 1. Цифровые технологии играют все более значимую роль в управлении промышленными предприятиями. Их внедрение в производственные и бизнес-процессы промышленного предприятия может привести к повышению эффективности и производительности труда, повышению качества продукции и конкурентоспособности предприятия на рынке.

2. Вместе с тем внедрение цифровых технологий создает определенные проблемы для менеджмента промышленного предприятия, такие как необходимость организации непрерывного обучения персонала, высокий уровень финансовых затрат на их внедрение, риски изменения организационной культуры предприятия, а также проблемы, связанные с обеспечением безопасности корпоративных данных.

3. В связи с вышесказанным, при внедрении цифровых технологий менеджмент промышленного предприятия должен принимать обоснованные и продуманные решения, основанные, в т. ч. на вовлечении сотрудников в процесс принятия этих решений. Параллельно следует проводить мероприятия, направленные на:

- развитие и обучение сотрудников в целях успешной адаптации к изменяющимся условиям труда;
- поддержание надлежащего уровня безопасности и защиты данных для предотвращения потенциальных угроз, связанных с внедрением цифровых технологий.

4. В целом внедрение цифровых технологий на промышленном предприятии следует рассматривать как непрерывный пролонгированный процесс, требующий постоянного мониторинга.

Список литературы

1. *Александрова Т. В.* Цифровизация как современный тренд развития менеджмента производственных организаций // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2019. Т. 13. № 3. С. 137–144.

2. *Ксенофонтова О. В., Козловская А. И.* Применение цифровых технологий в управлении бизнес-процессами на промышленных предприятиях // Инновации и инвестиции. 2020. № 6. С. 110–113.

3. *Czarnitzki D., Fernández G. P., Rammer C.* Artificial intelligence and firm-level productivity // Journal of Economic Behavior & Organization. 2023. Vol. 211. Pp. 188–205.

4. *Ермашкевич Н. С., Роньжин Г. М.* Востребованность средств автоматизации бизнес-процессов среди промышленных предприятий России в рамках «Индустрии 4.0» // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2021. № 2. С. 23–33.

5. *Berger E. S., Von Briel F., Davidsson P., Kuckertz A.* Digital or not – The future of entrepreneurship and innovation: Introduction to the special issue // Journal of Business Research. 2021. Vol. 125. Pp. 436–442.

6. *Ehret M., Wirtz J.* Unlocking value from machines: Business models and the industrial internet of things // Journal of Marketing Management. 2017. Vol. 33. № 1–2. Pp. 111–130.

7. *Voinea G. D., Gîrbacia F., Duguleană M.* et al. Mapping the emergent trends in industrial augmented reality // Electronics. 2023. Vol. 12. № 7. Pp. 1719.

8. *Иванов С. А., Петров В. Б.* Современные тенденции развития промышленной робототехники // Вестник машиностроения. 2023. № 5. С. 45–52.

9. *Bajari P., Chernozhukov V., Hortaçsu A., Suzuki J.* The impact of big data on firm performance: An empirical investigation // AEA Papers and Proceedings. 2019. Vol. 109. Pp. 33–37.

10. *Autor D., Dorn D., Katz L. F.* et al. The fall of the labor share and the rise of superstar firms // Quarterly Journal of Economics. 2020. Vol. 135. № 2. Pp. 645–709.

11. *Хадасевич Н. Р.* Инновационный потенциал персонала организации: монография. Сургут: Перо. 2013. 223 с.

12. *Kenzhin Z. B., Tulegenova A. U., Zolkin A. L.* et al. Labour market under economy digitalization // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 311. Pp. 08007.

13. *Бобков В. Н., Одинцова Е. В., Шичкин И. А.* Влияние профессионально-квалификационных навыков использования информационно-коммуникационных технологий на доходы от занятости: поколенная дифференциация // Российский экономический журнал. 2022. № 4. С. 93–113.

14. *Шахов Д. А., Ваславский Я. И., Костюхин Ю. Ю.* Развитие кадрового потенциала и социальных инноваций в электронной промышленности России // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 8. № 5 (158). С. 75–83.

15. *Кушнир А. М.* Особенности внутрифирменных коммуникаций промышленных предприятий в условиях высокой неопределенности // Проблемы экономики и юридической практики. 2024. № 20 (1). С. 174–181.

16. *Салихов М. Р., Хадасевич Н. Р.* Совершенствование системы организации и нормирования труда на предприятии путем применения it-технологий // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Т. 12. № 7А. С. 208–216.

17. *Михайлова С. С.* Разработка интеллектуальной системы анализа достижений обучающегося вуза // Проблемы экономики и юридической практики. 2024. № 20 (2). С. 185–192.

18. *Алиев А. Т., Балдин К. В., Дюндик А. А.* Развитие механизма управления конкурентоспособностью промышленного предприятия в новой реальности // Проблемы экономики и юридической практики. 2024. № 20 (2). С. 229–234.

References

1. Aleksandrova T. V. Digitalization as a modern trend in the development of management of industrial organizations. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 137–144.

2. Ksenofontova O. V., Kozlovskaya A. I. Application of digital technologies in business process management at industrial enterprises. *Innovations and Investments*, 2020, no. 6, pp. 110–113.

3. Czarnitzki D., Fernández G. P., Rammer C. Artificial intelligence and firm-level productivity. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2023, vol. 211, pp. 188–205.

4. Ermashkevich N. S., Ronzhin G. M. Demand for business process automation tools among industrial enterprises of Russia in the framework of «Industry 4.0». *Scientific Research and Development. Economics of the Firm*, 2021, no. 2, pp. 23–33.

5. Berger E. S., Von Briel F., Davidsson P., Kuckertz A. Digital or not – The future of entrepreneurship and innovation: Introduction to the special issue. *Journal of Business Research,* 2021, vol. 125, pp. 436–442.

6. Ehret M., Wirtz J. Unlocking value from machines: Business models and the industrial internet of things. *Journal of Marketing Management*, 2017, vol. 33, no. 1–2, pp. 111–130.

7. Voinea G. D., Gîrbacia F., Duguleană M. et al. Mapping the emergent trends in industrial augmented reality. *Electronics*, 2023, vol. 12, no. 7, pp. 1719.

8. Ivanov S. A., Petrov V. B. Modern trends in the development of industrial robotics. *Bulletin of Mechanical Engineering*, 2023, no. 5, pp. 45–52.

9. Bajari P., Chernozhukov V., Hortaçsu A., Suzuki J. The impact of big data on firm performance: An empirical investigation. *AEA Papers and Proceedings*, 2019, vol. 109, pp. 33–37.

10. Autor D., Dorn D., Katz L. F. et al. The fall of the labor share and the rise of superstar firms. *Quarterly Journal of Economics*, 2020, vol. 135, no. 2, pp. 645–709.

11. Khadasevich N. R. *Innovative potential of the organization's personnel: Monograph*. Surgut, Pero, 2013, 223 p.

12. Kenzhin Z. B., Tulegenova A. U., Zolkin A. L. et al. Labour market under economy digitalization. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 311, pp. 08007.

13. Bobkov V. N., Odintsova E. V., Shichkin I. A. The impact of professional skills in the use of information and communication technologies on the income from employment: Generational differentiation. *Russian Economic Journal*, 2022, no. 4, pp. 93–113.

14. Shakhov D. A., Vaslavsky Ya. I., Kostyukhin Yu. Yu. Development of human resources and social innovations in the electronics industry of Russia. *Economy and Management: Problems, Solutions*, 2025, vol. 8, no. 5 (158), pp. 75–83.

15. Kushnir A. M. Features of Intra-Firm Communications of Industrial Enterprises in Turbulent Conditions. *Economic Problems and Legal Practice,* 2024, no. 20 (1), pp.174–181.

16. Salikhov M. R., Khadasevich N. R. mprovement of the system of organization and rationing of labor at the enterprise through the use of IT-technologies. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 2022, vol. 12, no. 7A, pp. 208–216.

17. Mikhaylova S. S. Development of an Intelligent System for Analyzing the Achievements of a University Student. *Economic Problems and Legal Practice*, 2024, no. 20 (2), pp.185–192.

18. Aliev A. T., Baldin K. V., Dyundik A. A. Development of a Mechanism for Managing the Competitiveness of an Industrial Enterprise in the New Reality. *Economic Problems and Legal Practice*, 2024, no. 20 (2), pp.229–234.

УДК

Р. М. МАГОМЕДОВ, канд. пед. наук; Л. В. ЛИПАГИНА, А. А. РЫЛОВ, кандидаты физ.-мат. наук; Т. Л. ФОМИЧЕВА, канд. экономич. наук, (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); Т. Б. ТУРИЩЕВА, д-р экономич. наук (РЭУ им. Г. В. Плеханова; Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)

E-mail: rmagomedov@fa.ru

R. M. Magomedov, L. V. Lipagina, A. A. Rylov, T. L. Fomicheva (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); T. B. Turishcheva (Plekhanov Russian University of Economics; Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Формирование цифровой организационной культуры в процессе трансформации промышленных предприятий

Formation of a digital organizational culture in the process of transformation of industrial enterprises

Проанализировано влияние организационной культуры на цифровую трансформацию промышленных предприятий. В условиях современного мира внедрение цифровых технологий оказывает значительное влияние на все аспекты бизнеса, включая внутренние процессы, подходы к управлению и организационную культуру. Организационная культура как совокупность ценностей и установок играет ключевую роль в успешной адаптации предприятия к цифровым изменениям. Подчеркивается важность синхронизации организационной культуры с технологическими нововведениями, что позволяет минимизировать сопротивление изменениям и ускоряет процесс внедрения цифровых технологий.

This article analyzes the impact of organizational culture on the digital transformation of industrial enterprises. In today's world, the implementation of digital technologies has a significant impact on all aspects of business, including internal processes, management approaches, and organizational culture. Organizational culture, as a set of values and attitudes, plays a key role in a company's successful adaptation to digital change. The article emphasizes the importance of aligning organizational culture with technological innovations, which minimizes resistance to change and accelerates the implementation of digital technologies.

Ключевые слова: организационная культура; цифровая организационная культура; цифровизация; промышленные предприятия; адаптационная стратегия; цифровая трансформация.

Keywords: organizational culture; digital organizational culture; digitalization; industrial enterprises; adaptation strategy; digital transformation.

В эпоху динамичных технологических изменений цифровая трансформация играет ключевую роль в поддержании конкурентоспособности современных промышленных предприятий. Этот процесс, предполагающий внедрение цифровых технологий в различных секторах бизнеса, существенно трансформирует структуру, стратегии и бизнес-модели промышленных предприятий.

Цифровая трансформация является одной из ключевых тенденций, кардинально меняющих производственные процессы и корпоративные структуры. В случае быстрого внедрения цифровых технологий промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью как технического обновления, так и адаптации своей организационной культуры [1]. Эта адаптация помогает создавать более гибкую и инновационно-ориентированную среду, способствующую развитию новых форматов взаимодействия, улучшению производительности и ускорению реакции на изменения на рынке [2].

Чтобы соответствовать этим изменениям, промышленным предприятиям необходимо внедрять инновационные решения, обеспечивающие эффективное управление, анализ больших массивов данных и разработку новых продуктов. Однако цифровая трансформация на промышленных предприятиях подразумевает не только внедрение цифровых технологий, но и глубокое изменение организационной культуры, позволяющее в полной мере использовать возможности цифровизации.

В организационном контексте культура представляет собой набор ценностей, служащих ориентиром

для ее членов, позволяя им определять фундаментальные идеи, на которых основана данная организация. Она определяет особую «атмосферу» внутри организации, которая формируется в результате действий и решений руководителей промышленных предприятий.

Цель данной работы – анализ влияния организационной культуры на процесс цифровой трансформации промышленного предприятия.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время не существует общепринятого определения цифровой трансформации. К. С. Р. Уорнер и М. Уэйгер определяют ее как процесс внедрения цифровых технологий, приводящий к глубоким изменениям и улучшениям в различных аспектах деятельности организации, таких как бизнес-модели, взаимодействие с клиентами и ценностные предложения [3]. Цифровая трансформация включает в себя полную интеграцию цифровых инструментов, технологий, основанных на данных, и информации во всех сегментах организации с целью повышения эффективности, адаптивности, инновационного потенциала и конкурентоспособности.

В научной литературе подчеркивается, что суть цифровой трансформации не ограничивается внедрением новых технологических решений, а включает глубокий анализ и модификацию существующих бизнес-процессов, организационных структур и взаимодействия с клиентами для полного использования потенциала цифровых технологий [4]. Такая трансформация требует эволюции организационной культуры и мышления, инновационного настроя и готовности постоянно экспериментировать и адаптироваться к динамично меняющейся цифровой среде [5].

Многие исследования отмечают значимость организационной культуры как фактора, влияющего на успешность цифровой трансформации. Согласно [6], культурные аспекты, включая ценности, установки и поведенческие модели, являются основой для внедрения инноваций. Некоторые исследователи выделяют адаптацию культуры как один из ключевых вызовов, с которым сталкиваются предприятия при переходе к цифровым решениям [7].

Организационная культура всегда является уникальной характеристикой предприятия благодаря совокупности ее специфических черт и особенностей проявления. Формирование этой культуры обычно начинается с появления самой бизнес-идеи, тогда как ее развитие и трансформация происходят с момента фактического запуска деятельности предприятия. По мнению О. К. Самарцевой, организационная культура становится оптимальной, если она обеспечивает результативное взаимодействие с внутренней согласованностью действий; ориентируется на восприятие общих тенденций для развития и может способствовать ему; создает условия для эффективной управленческой деятельности, что позволяет предприятию наиболее продуктивно решать поставленные задачи и выполнять свои функции [8].

Сложная многогранность показателей организационной культуры допускает ее изменения как спонтанные, так и целенаправленные. Эта идея совпадает с позицией И. В. Грошева, который определяет управление организационной культурой как осознанное и преднамеренное улучшение всех аспектов организационной культуры в соответствии с ценностями и функциями внутренней интеграции и внешней адаптации, при постоянном взаимодействии с постоянно изменяющимся окружением [9]. По его мнению, организационная культура оказывает как эмоциональное, так и рациональное влияние на сотрудников, а выделенные уровни взаимосвязаны и дополняют друг друга.

Таким образом, организационная культура интегрально отражает внутреннюю среду предприятия, оказывая диффузное влияние на его развитие в контексте внешней среды. Независимо от уровня управленческого воздействия организационная культура существует, представляя уникальные черты предприятия через ряд характеристик, проявляющихся на двух уровнях:

- скрытом, выражающемся в ценностях, убеждениях и нормах поведения сотрудников;
- формальном, отраженном в миссии, целях, особенностях производственных процессов и функциях организации, контроля, планирования и мотивации.

При этом развитие организационной культуры предприятия можно рассматривать как процесс формирования и трансформации на предприятии системы ценностей и моделей поведения персонала под воздействием внешних и внутренних факторов, определяющих условия деятельности предприятия. Результатом развития организационной культуры предприятия является формирование на предприятии уникального социально-психологического климата, который способствует достижению целей предприятия.

Технологический прогресс и цифровая трансформация выдвигают новые требования к организационной культуре предприятия, которая должна не только способствовать поддержанию внутренней стабильности, но и демонстрировать гибкость, интегрируя цифровые технологии в процессы управления и производства, что приводит к необходимости пересмотра ценностей, а также создания условий для приобретения навыков работы с цифровыми технологиями.

Переходя к дальнейшему анализу, важно отметить, что цифровая трансформация предъявляет к организационной культуре повышенные требования гибкости и открытости к инновациям. Цифровая трансформация меняет организации, которые когда-то полагались на традиционные операции и методы коммуникации. Чтобы оставаться конкурентоспособными в современном мире, предприятия используют цифровые инструменты, что приводит к значительным изменениям в организационной культуре. Эта трансформация влияет на основные ценности, отношение и ритуалы, что в конечном итоге приводит к преобразованию организационной культуры предприятия в цифровую организационную культуру.

Цифровая культура в организациях, описываемая как совокупность ценностей, убеждений и практик, связанных с внедрением цифровых технологий, является ключевым элементом современной бизнес-среды. Она определяется отношением и готовностью сотрудников к внедрению цифровых технологий, а также их способностью адаптироваться к динамично меняющемуся технологическому контексту [10].

Развитие цифровой культуры определяется различными факторами, такими как модель лидерства, организационная структура, методы коммуникации и уровень вовлеченности сотрудников. Она влияет на взаимодействие сотрудников с технологиями, сотрудничество и инновационный процесс. Цифровая культура тесно связана с организационными изменениями и адаптацией, которые требуют гибких, динамичных и открытых действий, включая установку на рост и готовность экспериментировать и рисковать в цифровом пространстве [11]. Таким образом, наличие и развитие организационных форм, поддерживающих цифровизацию с точки зрения выпускаемого продукта, обеспечивает преимущества с точки зрения цифровой организационной культуры.

Согласно исследованию [10], предприятиям крайне важно развивать у сотрудников цифровые знания и компетенции, которые имеют решающее значение для их выживания и успеха в цифровую эпоху. Эти компетенции можно определить как набор знаний, навыков и умений, необходимых для эффективной работы в цифровой среде. Не менее важно развивать цифровое лидерство. Его можно определить как способность мотивировать и направлять команды в процессе внедрения цифровых технологий, уделяя особое внимание инновациям и стратегическому подходу к решению задач [12]. К сожалению, как отмечают исследователи [12], многие предприятия недооценивают важность цифровой культуры, что приводит к непониманию ее глубокого влияния на организацию. Цифровая культура играет ключевую роль в организационных изменениях, фокусируясь на обмене знаниями и повышении их доступности. Исследователи отмечают, что развитие культуры сотрудничества и обмена знаниями через цифровые платформы может существенно повлиять на эффективность предприятия; что организационная культура влияет на внедрение интрасетей, которые служат системами управления знаниями [8].

Цифровая культура необходима для интеграции цифровых технологий и практик на предприятии. Она требует инвестиций в развитие компетенций, знаний и лидерских качеств. Цифровая организационная культура, с ее акцентом на обмен знаниями и сотрудничество, играет ключевую роль в достижении успеха в цифровую эпоху. Поэтому, согласно мнению ученых [13], предприятиям следует предпринять ряд мер для развития цифровой культуры (см. табл. 1).

Таблица 1

Основные меры для развития цифровой культуры

Меры	Описание
Понимание цифровой культуры	Цифровая трансформация требует не только инвестиций в технологии, но и, прежде всего, изменений в организационной культуре; руководителям крайне важно выявлять потенциальные препятствия
Привлечение лидера изменений	Цифровой лидер – ключ к эффективной трансформации, способный убеждать других, планировать и формировать цифровую культуру
Четкие цели и видение	Руководители должны установить четкие цифровые цели и видение для компании и убедиться, что они понятны всем сотрудникам
Поощрение самостоятельности и инноваций	Цифровая культура поощряет самостоятельные действия, инновационное мышление и использование новых технологий; лидеры изменений должны мотивировать сотрудников к приобретению новых навыков и внедрению инновационных идей
Цифровая коммуникация	Использование цифровых инструментов для обеспечения более эффективной внутренней коммуникации и обмена знаниями
Сотрудничество с окружающей средой	Интенсивное сотрудничество с другими предприятиями и обмен знаниями с использованием цифровых инструментов позволяют достигать лучших результатов
Обучение и поддержка	Правильная подготовка сотрудников к изменению культуры, развитие их цифровых навыков и оказание психологической поддержки имеют решающее значение; руководителям следует проводить обучение, чтобы преодолеть сопротивление изменениям

На основании проведенного анализа сформулируем рекомендации по адаптации организационной культуры промышленных предприятий к цифровой трансформации и формированию цифровой культуры предприятия.

Во-первых, необходимо, чтобы организационная культура промышленного предприятия соответствовала внедряемым цифровым технологиям. В связи с чем промышленные предприятия должны не только внедрять цифровые технологии, но и, посредством интеграции цифровых технологий в основные ценности предприятия, формировать организационную культуру, поощряющую их использование. Т.е. работники предприятия должны осознавать, что цифровые технологии облегчают их работу и повышают показатели деятельности предприятия.

Во-вторых, в целях успешной интеграции цифровых технологий менеджмент промышленного предприятия должен сосредоточить внимание на развитии цифрового мышления персонала посредством обучающих программ, мастер-классов и семинаров, программ переподготовки и партнерства с учебными заведениями, что обеспечит персонал необходимыми навыками и подготовит его к цифровой трансформации организационной культуры.

В-третьих, цифровая трансформация промышленного предприятия требует постоянного взаимодействия всех подразделений, в которых осуществляется внедрение цифровых технологий, в целях создания среды сотрудничества и обмена опытом [14].

В-четвертых, ускоренное развитие цифровых технологий вызывает необходимость создания более гибких организационных структур, обеспечивающих быстрое принятие решений, включая непрерывные циклы обратной связи и децентрализованное управление [15].

В-пятых, необходимо внедрение программ мотивации и поощрения сотрудников к участию в цифровизации предприятия, чтобы они имели возможность предлагать новые идеи, участвовать в тестировании внедряемых цифровых технологий, т.е. могли внести собственный вклад в процесс трансформации организационной культуры предприятия.

В-шестых, необходимо регулярно оценивать успешность адаптации организационной культуры промышленного предприятия к цифровой трансформации посредством разработки показателей для измерения эффективности внедрения цифровых технологий, например, показатели привлечения работников к внедрению цифровых технологий, динамика производительности труда и т. д.

Внедрение цифровой культуры на предприятии играет важнейшую роль в современном деловом мире, что не только позволяет предприятию работать более эффективно и инновационно, но и влияет на мотивацию сотрудников. Вовлекая сотрудников в процесс цифровой трансформации и предлагая им необходимые инструменты и обучение, предприятия могут стимулировать их вовлеченность и готовность к обучению. Сотрудники, которые чувствуют себя частью цифровой трансформации, более мотивированы к инновациям в работе. Следовательно, цифровая культура, при правильном управлении, может стать ключевым элементом мотивации и вовлеченности сотрудников предприятия.

Выводы. 1. В случае стремительного технологического прогресса организационная культура промышленного предприятия должна не только поддерживать внутреннюю стабильность, но и демонстрировать гибкость, интегрируя принципы цифровизации в управленческие практики и производственные процессы. Такая адаптация требует пересмотра ценностей и установок, а также создания условий для быстрого усвоения новых навыков и инструментов и формирования цифровой организационной культуры предприятия.

В условиях глобальных тенденций и развития цифровизации глубокое понимание цифровой организационной культуры становится все более важным. В технологически развитом мире адаптация инструментов и формирование правильного отношения сотрудников к ним имеют решающее значение. Эффективная интеграция с цифровыми технологиями определяет конкурентоспособность предприятий. Предприятия не способные активно формировать свою цифровую культуру рискуют остаться позади. Таким образом, цифровая организационная культура является ключевым фактором развития цифровизации промышленных предприятий. Цифровая организационная культура проявляется в методах организации труда, взглядах сотрудников и их стремлениях (установках), что напрямую влияет на их участие в процессе цифровой трансформации предприятия. В этой ситуации формирование правильной организационной культуры имеет решающее значение для наполнения ее ценностями, нормами и практиками, способствующими внедрению цифровых инструментов. Решения для формирования цифровой организационной культуры включают:

- развитие управленческих компетенций с точки зрения как цифровых навыков, так и принципов организации коллективов сотрудников для интенсификации применения цифровых решений,
- принятие цифровых компетенций в качестве важного критерия отбора кандидатов на работу,

- развитие практик обмена знаниями и получения внешних знаний в области цифровизации, а также возможностей применения цифровых решений в практике управления,
- поддержка развития цифровых компетенций персонала и возможностей их применения на практике.

Высокий уровень управленческой компетентности должен обеспечивать не только развитие цифровой организационной культуры, но и свободу ее выражения посредством мероприятий и инициатив, направленных на цифровизацию организационных практик. Общая вера сотрудников в ценность внедрения новых решений и отхода от существующих схем облегчает адаптацию на современном этапе организационной цифровизации.

В будущем было бы целесообразно провести качественные исследования, которые могли бы дать более глубокое понимание того, как организационная культура влияет на вовлеченность сотрудников в процесс цифровой трансформации. Изучение долгосрочных последствий цифровых изменений, внедренных в организациях, также может стать ценным направлением для будущих исследований.

Список литературы

1. *Салихов М. Р., Хадасевич Н. Р.* Совершенствование системы организации и нормирования труда на предприятии путем применения it-технологий // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Т. 12. № 7А. С. 208–216.

2. *Хадасевич Н. Р.* Трудовой потенциал и его влияние на социально- экономическое развитие территорий // Ключевые позиции и точки развития экономики и промышленности: теория и практика: сб. мат-лов III Междунар. науч.-практич. конф. Липецк: ЛГТУ. 2023. С. 689–691.

3. *Warner K. S. R., Wager M.* Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal // Long Range Planning. 2019. Vol. 52. № 3. Pp. 326–349.

4. *Kraft C., Lindeque J. P., Peter M. K.* The digital transformation of Swiss small and medium-sized enterprises: Insightsfrom digital tool adoption // Journal of Strategy and Management. 2022. Vol. 15. № 3. Pp. 468–494.

5. *Bobkov V. N., Simonova M. V., Loktyuhina N. V., Shichkin I. A*. Peculiarities of unstable employment in the era of a digital economy from data of social media of Russia // Digital transformation of the economy: Challenges, trends, and new opportunities. Cham: Springer. 2020. Pp. 235–243.

6. *Duerr S., Holotiuk F., Beimborn D.* et al. What is digital organizational culture? Insights from exploratory case studies // Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, HICCS. Honolulu: University of Hawai I at Mānoa. 2018. Pp. 5126–5135.

7. *Deep G.* Digital transformation's impact on organizational culture // International Journal of Science and Research Archive. 2023. Vol. 10. Pp. 396–401.

8. *Самарцева О. К.* Организационная культура предприятия. Новосибирск: Спонсор. 2011. 163 с.

9. *Грошев И. В., Краснослободцев А. А*. Организационная культура. М.: ЮНИТИ. 2015. 535 с.

10. *Serpa S., Sa M. J., Ferreira C. M.* Digital organizational culture: Contributions to a definition and future challenges // Academic Journal of Interdisciplinary Studies. 2022. Vol. 11. No. 4. Pp. 22–33.

11. *Abhari K., Ostroff C., Barcellos B., Williams D. N.* Co-governance in digital transformation initiatives: The roles of digital culture and employee experience // Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences, HICCS. Honolulu: University of Hawai I at Mānoa. 2021. Pp. 5801–5810.

12. *Imran F., Shahzad K., Butt A., Kantola J.* Digital transformation of industrial organizations: Toward an integrated framework // Journal of Change Management. 2021. Vol. 21. № 4. Pp. 451–479.

13. *Erhan T., Uzunbacak H. H., Aydin E*. From conventional to digital leadership: Exploring digitalization of leadership and innovative work behaviour // Management Research Review. 2022. Vol. 45. № 11. Pp. 1524–1543.

14. *Батталова Л. М., Еникеев Р. Н.* Исследование генезиса государственных механизмов стимулирования развития регионального сектора экономики малого и среднего бизнеса // Проблемы экономики и юридической практики. 2024. № 20 (1). С. 20–27

15. *Кушнир А. М.* Особенности внутрифирменных коммуникаций промышленных предприятий в условиях высокой неопределенности // Проблемы экономики и юридической практики. 2024. № 20 (1). С. 174–181.

References

1. Salikhov M. R., Khadasevich N. R. mprovement of the system of organization and rationing of labor at the enterprise through the use of IT-technologies. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 2022, vol. 12, no. 7A, pp. 208–216.

2. Khadasevich N. R. Labor potential and its impact on the socio-economic development of territories. *Key positions and points of development of the economy and industry: Theory and practice: Collection of materials of the III International scientific and practical conference*. Lipetsk, Lipetsk State Technical University, 2023, pp. 689–691.

3. Warner K. S. R., Wager M. Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. Long Range Planning, 2019, vol. 52, no. 3, pp. 326–349.

4. Kraft C., Lindeque J. P., Peter M. K. The digital transformation of Swiss small and medium-sized enterprises: Insightsfrom digital tool adoption. *Journal of Strategy and Management*, 2022, vol. 15, no. 3, pp. 468–494.

5. Bobkov V. N., Simonova M. V., Loktyuhina N. V., Shichkin I. A. Peculiarities of unstable employment in the era of a digital economy from data of social media of Russia. *Digital transformation of the economy: Challenges, trends, and new opportunities*. Cham, Springer, 2020, pp. 235–243.

6. Duerr S., Holotiuk F., Beimborn D. et al. What is digital organizational culture? Insights from exploratory case studies. *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on* System Sciences, *HICCS*. Honolulu, University of Hawai I at Mānoa, 2018, pp. 5126–5135.

7. Deep G. Digital transformation's impact on organizational culture. *International Journal of Science and Research Archive*, 2023, vol. 10, pp. 396–401.

8. Samartseva O. K. *Organizacionnaja kul'tura predprijatija* [Organizational culture of the enterprise]. Novosibirsk, Sponsor, 2011, 163 p.

9. Groshev I. V., Krasnoslobodtsev A. A. *Organizacionnaja kul'tura* [Organizational culture]. Moscow, UNITY, 2015, 535 p.

10. Serpa S., Sa M. J., Ferreira C. M. Digital organizational culture: Contributions to a definition and future challenges. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2022, vol. 11, no. 4, pp. 22–33.

11. Abhari K., Ostroff C., Barcellos B., Williams D. N. Co-governance in digital transformation initiatives: The roles of digital culture and employee experience. *Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences, HICCS*. Honolulu, University of Hawai I at Mānoa, 2021, pp. 5801–5810.

12. Imran F., Shahzad K., Butt A., Kantola J. Digital transformation of industrial organizations: Toward an integrated framework. *Journal of Change Management*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 451–479.

13. Erhan T., Uzunbacak H. H., Aydin E. From conventional to digital leadership: Exploring digitalization of leadership and innovative work behaviour. Management Research Review, 2022, vol. 45, no. 11, pp. 1524–1543.

14. Battalova L.M., Enikeev R.N. The Study of the Genesis of State Mechanisms to Stimulate the Development of the Regional Sector of the Economy of Small and Medium-sized Businesses. *Economic Problems and Legal Practice*, 2024, no. 20 (1), pp. 20–27.

15. Kushnir A. M. Features of Intra-Firm Communications of Industrial Enterprises in Turbulent Conditions. *Economic Problems and Legal Practice,* 2024, no. 20 (1), pp.174–181.

УДК

Г. Г. ДЕРЗАЕВА, канд. экономич. наук (КФУ, г. Казань); Г. Г. АХМАДИЕВА, канд. экономич. наук (Центр перспективных экономических исследований Академия наук Республики Татарстан, г. Казань)
E-mail: guzelchan@mail.ru
G. G. Derzayeva (Kazan Federal University, Kazan); G. G. Akhmadieva (Center of Advanced Economic Research in the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan)

Сукук как альтернативный способ привлечения инвестиций в промышленное производство

Sukuk as an alternative way to attract investment in industrial production

Проведено исследование возможностей финансирования промышленных предприятий с помощью инвестиционного финансового инструмента, формирующегося по принципам партнерского (исламского) финансирования сукук в свете федерального закона о партнерском финансировании. Выявлены возможности использования сукук для финансирования промышленных предприятий в условиях российской экономики в свете федерального закона о партнерском финансировании. В результате изучения современного состояния научной проблемы применения сукук как альтернативного инструмента привлечения инвестиций в рамках исламской модели бухгалтерского учета сделан вывод о том, что главным дискуссионным вопросом является вопрос о возможности выпуска сукук в странах с традиционной экономической системой. Продвижение этой дискуссии значительно осложняется из-за отсутствия в настоящем публикаций на русском языке о сравнительной оценке выпуска сукук в мире и использования сукук как альтернативного источника привлечения инвестиций в условиях глобальной нестабильности.

The article presents a study of the possibilities of financing industrial enterprises using an investment financial instrument formed according to the principles of partnership (Islamic) financing sukuk in light of the federal law on partnership financing. The purpose of the study is to identify the possibilities of using sukuk to finance industrial enterprises in the Russian economy in light of the federal law on partnership financing. As a result of studying the current state of the scientific problem of using sukuk as an alternative instrument for attracting investment within the framework of the Islamic accounting model, it was concluded that the main debatable issue

is the possibility of issuing sukuk in countries with a traditional economic system. The promotion of this discussion is significantly complicated by the lack of current publications in Russian on a comparative assessment of the issue of sukuk in the world and the use of sukuk as an alternative source of attracting investment in the context of global instability.

Ключевые слова: исламские принципы; сукук; промышленные предприятия; партнерское финансирование; федеральный закон.

Keywords: Islamic principles; sukuk; industrial enterprises; partnership financing; federal law.

В условиях глобальной нестабильности и западных антироссийских санкций традиционные инструменты привлечения инвестиций утрачивают свою эффективность, западные инвесторы и партнер уходят с российских рынков, ранее разработанные и прекрасно функционирующие инвестиционные механизмы оказываются под угрозой, поэтому на передний план выходят поиски альтернативных источников привлечения инвестиций, одним из которых является сукук как инструмент партнерского финансирования. Актуальность данных инструментов подтверждается и на государственном уровне через введение в действие с 2023 г. федерального закона о деятельности по партнерскому финансированию.

Согласно данным АНО «Российское Инвестиционное Агентство», сукук как инструмент привлечения инвестиций существует на мировом рынке с 1996 г., когда Малайзией произведен их первый выпуск, на российском рынке же рынке первый успешный их выпуск осуществлен «Ак Барс» банком в конце 2013 г. с привлечением 100 млн долл. Соответственно, с 1990 гг. в мире и с 2007 г. в России идет волна исследований сукук как альтернативного способа привлечения инвестиций.

В статьях Умарова Х. С. [1–3] и Латиповой Ш. М. [4] исследуются выпуски сукук в странах с различными правовыми системами и их роль в системе привлечения инвестиций в этих государствах.

В трудах Харисовой Ф. И. [5, 6] и Алеткина П. А. [7–9] приводится характеристика бухгалтерских стандартов, посвященных сукук, разработанных *AAOIFI*.

Противоречия и проблемы эмиссии сукук анализирует в своих трудах Фурсова Т. В. [10], предлагая свои варианты их решения либо обозначая постановку проблемы.

В своих трудах Шовхалов Ш. А. [11, 12] исследует сущность сукук как ценной бумаги, рассматривая различные определения и подходы к этому понятию, предлагаемые мировыми учеными в своих исследованиях.

Исследования [13–16] анализируют распространение сукук на глобальном рынке, начиная с конца 20 века до 2013 г. включительно, аргументированно делаются выводы о перспективах внедрения эмиссии сукук в традиционных экономических системах.

Баржаев Р. Р. и Дерзаева Г. Г. в своих работах рассматривают место и роль сукук в условиях современного развития экономики в традиционной и исламской среде [17–20]. А также рассматривают особенности организации бухгалтерского учета сукук в организациях, привлекающих инвестиции с помощью сукук, и требований международных и российских стандартов к такому учету.

Данченко Е. А. и Калашник Н. А. акцентирует внимание на принципах эмиссии сукук, возможных вариантах их выпусков в традиционных финансовых системах, возможностях внедрения сукук в национальные финансовые институты [21].

Работы [22, 23] исследуют раскрытии информации о сукук в финансовой отчетности компании, и ее влиянию на принятие решений пользователями об инвестировании.

Исследование [24] посвящено перспективам внедрения выпуска сукук в традиционных экономических системах и анализу рисков и неопределенности таких эмиссий сукук.

Проведенное исследование выше обозначенной литературы позволяет прийти к следующим выводам:

- несмотря на наличие немалого количества научных исследований в области сукук, их явно недостаточно;
- основным объектом дискуссий в кругу ученых и практиков является вопрос о возможности выпуска сукук в странах с традиционной экономической системой;
- отсутствуют публикации на русском языке о сравнительной оценке выпуска сукук в мире и использования сукук как альтернативного источника привлечения инвестиций в условиях глобальной нестабильности.

Материалы и методы исследования

Цель данной работы – проведение всестороннего анализа сукук с точки зрения возможности его применения для финансирования промышленных предприятий в условиях российской экономики в

свете федерального закона о партнерском финансировании.

Для достижения данной цели поставим и решаем две задачи.

1. Проведение сравнительной характеристики выпуска сукук в мире в различные периоды в зависимости от глобальных экономических процессов.

2. Рассмотрение возможности применения сукук для финансирования промышленных предприятий в условиях российской экономики.

Для решения поставленных задач применим следующие методы:

- анализа научной литературы для изучения современного состояния научной проблемы исследования;
- мониторинга и статистического анализа при изучении выпуска сукук в мире в различные периоды в зависимости от глобальных экономических процессов;
- логического обоснования для выявления возможности применения сукук для финансирования промышленных предприятий в условиях российской экономики.

Итак, согласно исследованиям [5, 6, 18–20], «сукук – это гибрид долевых и долговых ценных бумаг, который удостоверяет долю в активах, генерирующих доход, и дает право на получение части прибыли, которую приносят эти активы в соответствии с исламскими экономическими принципами. В дополненном этими авторами определении подчеркивается сущностная характеристика сукук, как финансового инструмента, который может выпускаться и обращаться только в соответствии с исламскими экономическими принципами. Условие о таком соответствии, которое вытекает из определения сукук, и отражает его социальную значимость. Современные сложные отношения с США и странами Запада показывают, что жесточайшая конкуренция, безудержное стремление максимизировать прибыль как столпы традиционных экономических отношений работают только в стабильных условиях». Однако даже в «стабильное» время, а тем более в настоящем условиями развития цивилизации, выживания людей становятся сотрудничество, взаимопомощь, общественная значимость, социальная ответственность. В кризисных условиях в основу экономики должны быть заложены «сотрудничество» вместо «конкуренции», «социальная ответственность» взамен «максимизации прибыли». Сукук как раз и является примером инструмента финансирования, опирающимся на сотрудничество и социальную ответственность партнеров.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно данным АНО «Российское Инвестиционное Агентство» сукук характеризуется следующими отличительными особенностями:

- сертификаты равной стоимости, удостоверяющие неделимую долю владения в материальных активах, праве пользования ими и получения дохода, оказываемых услугах, активах определенного проекта или специального инвестиционного проекта;
- альтернативный источник привлечения средств на финансирование инфраструктурных и инвестиционных проектов в условиях действия санкций против России и недоступности западных рынков капитала;
- не требует изменений действующего законодательства в области эмиссии ценных бумаг;
- большинство выпущенных сукук не предполагают продажу активов (фактическую), и структурированы как временное размещение активов для привлечения средств и носят обеспечительный характер.

Согласно данным АНО «Российское Инвестиционное Агентство» рынок сукук ежегодно растет на 30 % минимум. Также отслеживает тенденции развития и изменения рынка сукук *World Association of Investment Promotion Agencies*, *International Islamic Financial Market* и *Rasameel Structured Finance Company*. С завидной регулярностью они публикуют информацию о выпусках сукук как в целом по миру, так и в регионах. Соберем наиболее актуальные их данные в табл 1.

Таблица 1

Информация о выпуске сукук в мире, в млрд долл.

Год	Выпуск сукук в мире	Темп роста, %	Выпуск долгосрочных сукук	Темп роста, млн долл.	Выпуск государственных сукук	Темп роста, %
2021	188,121	7,72	35,307	6,22	88,12	–39,08
2020	174,641	19,86	29,086	–0,36	144,64	51,46
2019	145,702	18,31	29,446	4,57	95,5	4,77
2018	123,150	5,51	24,878	–2,92	91,15	5,13
2017	116,717	32,16	27,798	5,89	86,7	43,54
2016	88,318	30,23	21,910	7,61	60,4	83,14

Окончание табл. 1

Год	Выпуск сукук в мире	Темп роста, %	Выпуск долгосрочных сукук	Темп роста, млн долл.	Выпуск государственных сукук	Темп роста, %
2015	67,818	–37,11	14,304	–6,63	32,98	–62,27
2014	107,833	–20,45	20,930	–1,05	87,4	32,83
2013	135,557	–1,48	21,975	1,71	65,8	–43,81
2012	137,599	47,68	20,269	11,59	117,1	84,99
2011	93,173	75,38	8,684	4,46	63,3	169,36
2010	53,125	–	4,229	–	23,5	–

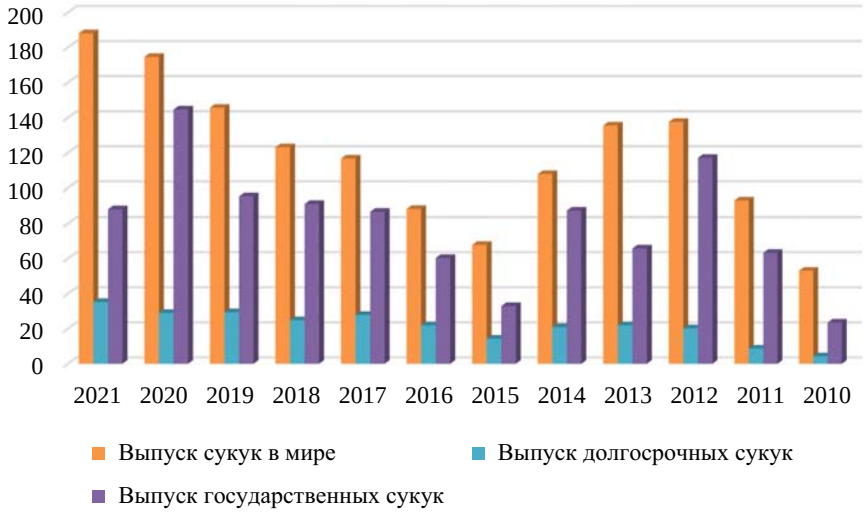


Рисунок. Информация о выпуске сукук в мире, в млн долл.

Для наглядного представления полученных данных используем графические редакторы и представляем полученную информацию на рисунке для последующего анализа.

Таким образом, согласно данным табл. 1 и рисунка можно сделать вывод о темпах роста выпуска сукук в мире, включая данные о долгосрочных сукук и государственных сукук.

Начиная с 2015 г. наблюдается положительная динамика темпа роста рассматриваемых видов сукук, при этом наибольшее изменение темпа роста наблюдается с 2020 г., что вполне объяснимо резким изменением условий хозяйствования во всем мире, вызванным пандемией и глобальной нестабильностью. В данном случае наблюдается, что нестабильность приводит к росту спроса на партнерские инструменты и подтверждает тезис о необходимости временного пересмотра столпов экономической системы, а именно: в кризисных условиях в основу экономики должны быть заложены «сотрудничество» вместо «конкуренции», «социальная ответственность» взамен «максимизации прибыли».

Интересной является динамика выпуска всех видов рассматриваемых сукук в 2010–2015 гг., когда до 2012 г. мы наблюдаем рост, а затем снижение, несмотря на которое сукук, как финансовый инструмент, сохраняет стабильность и снова идет в рост своих показателей.

Наиболее стабильными, несмотря на годы пандемии и мирового экономического кризиса 2010–2015 гг., являются государственные сукук, на которые изучаемые экономические процессы практически не оказали никакого влияния, хотя и незначительное снижение выпуска государственных сукук все-таки наблюдается в 2015 г.

Таким образом, проведя исследование выпуска сукук в мире и темпов роста таких выпусков в мире, рассматриваем в табл. 2 также данные АНО «Российское Инвестиционное Агентство», *World Association of Investment Promotion Agencies*, *International Islamic Financial Market* и *Rasameel Structured Finance Company* о странах и организациях, которые занимают лидирующие позиции на рынке сукук в 2021 г.

Согласно данным табл. 2 можно составить рейтинг стран, занимающих лидирующие позиции на рынке сукук. Это Малайзия и страны Персидского Залива, к 2021 г. набирают обороты и относительно новые участники рынка сукук Япония, Южная Корея, США, Марокко, Кения, Тунис и Бангладеш.

Таблица 2

Информация о выпуске сукук в мире в разрезе организаций, занимающих лидерские позиции на рынке сукук в 2021 г., в млрд. долл

Организация	Выпуск сукук	Организация	Выпуск сукук
ACWA Power	747	*Government of Nigeria*	610
Ahli United Bank	600	*Government of Pakistan*	1010
Alinma Bank	1333	*Government of Qatar*	1080
Arabian Centres	650	*Government of Saudi Arabia*	2000
Bank Albilad	800	*Government of Sultanate Of Oman*	1750
Bank Aljazira	500	*Government of Türkiye*	2500
Dubai Islamic Bank	1000	*Government of United Kingdom*	686
Dubai Islamic Bank	500	*Infracap Resources Sdn Bhd*	3600
Dukhan Bank	500	*Islamic Development Bank*	2500
Emaar Properties	500	*Sustainability Sukuk*	1700
Emirates Islamic Bank	500	*Islamic Development Bank*	600
First Abu Dhabi Bank	500	*Khazanah Nasional Bhd*	750
Governement of Bahrain	1000	*Kuwait Finance House*	2086
Governement of Sharjah	750	*Ministry of Finance Saudi Arabia*	600
Government of Indonesia	1250	*Ministry of Oil Bahrain (NOGA Holding)*	1475
Government of Indonesia	750	*Ministry of Treasury and Finance of Türkiye*	835
Government of Indonesia	3138	*Riyad Bank*	799
Government of Bangladesh	558	*Saudi Aramco*	3000
Government of Malaysia	1320	*Saudi Real Estate Refinance Company*	1067
Government of Malaysia Sustainability Sukuk	500	*The Saudi National Bank*	1250

Таблица 3

Примеры выпусков сукук для финансирования промышленности

Эмитент	Название / Тип сукук	Цель выпуска	Результат и объем
Saudi Arabian Oil Co. (Saudi Aramco)	Многоцелевые сукук (*Trust Certificates*) 2021 г.	Финансирование капитальных затрат, общие корпоративные цели, включая проекты в нефтегазовой и нефтехимической отраслях.	Привлечено 6 млрд долл. (транши на 3, 5 и 10 лет). Спрос превышает 60 млрд долл.
Petroliam Nasional Berhad (PETRONAS)	Сукук *Wakala* (на основе агентского договора) 2020 г.	Финансирование проектов капитальных затрат, включая расширение производственных мощностей и проекты в области возобновляемой энергетики.	Успешное размещение на 1,5 млрд долл. Спрос от инвесторов из Азии, Европы и Ближнего Востока.
DP World Limited	Сукук (сочетание структур *Ijarah* и *Wakala*) 2023 г.	Рефинансирование существующего долга и финансирование расширения портовой и логистической инфраструктуры.	Привлечено 1,5 млрд долл. Спрос превышает 4,5 млрд долл.
OCI N.V. (через дочернюю компанию)	Сукук *Murabaha* (на основе торгового финансирования) 2014 г.	Проектное финансирование строительства завода по производству меламина в Техасе, США.	Привлечено 210 млн долл. через частное размещение среди инвесторов из стран Персидского залива.
Sharjah Islamic Bank	Устойчивые сукук (*Sustainable Sukuk*) 2021 г.	Рефинансирование и предоставление новых «зеленых» финансирований проектам в области чистой энергии и устойчивого промышленного развития.	Привлечено 500 млн долл. Выпуск ориентирован на финансирование проектов, соответствующих принципам ESG.

Среди выпусков сукук выделим те, которые использованы для финансирования промышленности в табл. 3.

На основе анализа реальных примеров из международной практики можно сделать однозначный вывод: сукук является эффективным, проверенным и

масштабируемым инструментом для финансирования промышленности, поскольку:

1. Сукук успешно используются для финансирования различных нужд промышленных компаний – от проектного финансирования нового завода до покрытия капитальных затрат гигантов вроде *Saudi Aramco* и *PETRONAS*, а также для рефинансирования текущего долга (*DP World*).

2. Объемы привлекаемых средств исчисляются сотнями миллионов и миллиардами долларов. Это доказывает, что через сукук можно мобилизовать ресурсы, достаточные для реализации даже самых крупных промышленных проектов.

3. Колоссальный спрос, многократно превышающий предложение (как в случаях с *Saudi Aramco* и *DP World*), свидетельствует о высокой ликвидности инструмента и большом интересе со стороны глобального инвестиционного сообщества, особенно с Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии.

4. Сукук могут быть структурированы под разные задачи и активы (*Ijarah*, *Wakala*, *Murabaha*), а также адаптированы под современные тренды, такие как устойчивое развитие (*ESG*) и «зеленое» финансирование (пример *Sharjah Islamic Bank*).

Таким образом, сукук – полноценная альтернатива традиционным облигациям и банковским кредитам для промышленных предприятий, стремящихся диверсифицировать источники финансирования и привлечь капитал с новых рынков. Успешный опыт международных корпораций служит убедительным доказательством жизнеспособности этой модели и для российских компаний.

Ежегодное расширение рынка сукук приводит к тому, что все новые и новые страны объявляют о намерении выпускать сукук. Россия не исключение. Периодически в стране возникают попытки выпуска сукук. Так, например, в 2017 г. после согласований с ЦБ РФ и шариатскими экспертами зарегистрирован первый в России выпуск облигаций сукук на 1 млн руб. компанией «Сукук-Инвест». Ряд исламских финансовых инструментов предлагается и крупнейшими банками России «Сбербанком» и «Ак барс банком».

Основываясь на международной практике и особенностях российской экономики, предложим направления, которые российское промышленное предприятие может профинансировать с помощью сукук в табл. 4.

Для успешной реализации выпуска сукук российскому промышленному предприятию необходимо последовательно пройти несколько ключевых этапов.

Первым практическим шагом должен стать тщательный аудит активов: требуется идентифицировать и оценить объекты недвижимости, оборудование или проекты, которые могут быть юридически выделены в отдельный пул и выступить в качестве базового актива, обеспечивающего сукук.

Таблица 4

Направления, которые российское промышленное предприятие может профинансировать с помощью сукук

Направление	Тип сукук	Механизм работы	Примеры
1. Капитальное строительство и расширение мощностей	Сукук аль-Иджара	Средства от инвесторов направляются на строительство или закупку. Готовый объект передается в траст, который сдает его в аренду эмитенту. Арендные платежи формируют доход инвесторов.	Строительство нового цеха, запуск технологической линии, модернизация оборудования, расширение логистических терминалов.
2. Финансирование оборотного капитала и сырья	Сукук аль-Мурабаха (торговое финансирование)	Организатор сукук от имени инвесторов закупает необходимое сырье и перепродает его предприятию с заранее согласованной наценкой, выплачиваемой в рассрочку.	Крупные партии металла, нефтепродуктов, химикатов, комплектующих или готовой продукции для перепродажи.
3. Рефинансирование существующих активов	Сукук аль-Иджара	Предприятие продает свои материальные активы специальному трасту, который выпускает под их залог сукук. Эмитент арендует активы обратно, а вырученные средства использует для любых целей.	Здания цехов, административные корпуса, оборудование, инфраструктура (трубопроводы, ж/д ветки).
4. «Зеленые» и *ESG*-проекты	Сукук аль-Иджара или Вакала	Финансирование проектов, соответствующих принципам устойчивого развития. Доход инвесторам генерируется от эксплуатации «зеленых» активов или экономии на энергоресурсах.	Строительство солнечных электростанций, модернизация систем очистки, проекты по переработке отходов, внедрение энергоэффективных технологий.

Окончание табл. 4

Направление	Тип сукук	Механизм работы	Примеры
5. Проектное финансирование	Сукук аль-Мушарака (партнерство)	Инвесторы становятся партнерами предприятия в новом проекте. Прибыль или убыток распределяются между участниками в заранее оговоренной пропорции.	Создание совместного предприятия для выхода на новый рынок, запуск отдельного высокотехнологичного продукта, разработка нового месторождения.
6. Логистика и цепочки поставок	Сукук аль-Иджара или Мурабаха	Финансирование приобретения или лизинга транспортных средств, складских помещений, роботизированных систем управления складом.	Приобретение ж/д цистерн, грузового автотранспорта, строительство складских терминалов, внедрение систем складской логистики.

После формирования пула активов критически важным является этап выбора и формулировки цели: руководству компании необходимо четко определить, на решение каких конкретных задач будут направлены привлекаемые средства будь то капитальное строительство, закупка сырья или рефинансирование текущей задолженности, так как от этого зависит выбор типа сукук и структура всей сделки.

На следующем этапе невозможно обойтись без привлечения профессиональных консультантов: необходимо заключить соглашения с юристами и финансовыми советниками, обладающими специализированным опытом в области исламских финансов, а также получить одобрение операции от независимых шариатского экспертов, что является обязательным условием для легитимности инструмента и доверия со стороны инвесторов.

Заключительным и решающим шагом становится выход на инвесторов: для этого привлекается международный банк-андерайтер, который организует презентации для потенциальных инвесторов из стран Персидского залива, таких как ОАЭ, Саудовская Аравия, Катар, и из стран Юго-Восточной Азии, в первую очередь Малайзии и Индонезии.

Таким образом, российское промышленное предприятие действительно может использовать сукук для решения широкого спектра финансовых задач: от долгосрочных инвестиций в развитие до оперативного пополнения оборотных средств. Ключом к успешному размещению выступает наличие у компании качественных, ликвидных материальных активов и абсолютно грамотное, прозрачное структурирование сделки, соответствующее как нормам российского права, так и принципам исламских финансов.

Выводы. 1. Таким образом, в результате проведенного исследования научной базы в области сукук методом анализа научной литературы авторами сделан вывод о том, что наиболее острые споры возникают вокруг вопроса о возможности выпуска сукук в странах с традиционной экономической системой. Кроме того, отсутствуют публикации на русском языке о сравнительной оценке выпуска сукук в мире и использования сукук как альтернативного источника привлечения инвестиций в условиях глобальной нестабильности.

2. В результате проведения сравнительной характеристики выпуска сукук в мире в различные периоды в зависимости от глобальных экономических процессов авторами сделаны выводы о том, что нестабильность приводит к росту спроса на партнерские инструменты и подтверждает наш тезис о необходимости временного пересмотра столпов экономической системы, а именно: в кризисных условиях в основу экономики должны быть заложены «сотрудничество» вместо «конкуренции», «социальная ответственность» взамен «максимизации прибыли», а также, что наиболее стабильными, несмотря на годы пандемии и мирового экономического кризиса 2014–2015 гг., являются государственные сукук, на которые изучаемые экономические процессы практически не оказали никакого влияния.

3. Методами мониторинга и статистического анализа в статье составлен рейтинг стран, занимающих лидирующие позиции на рынке сукук: Малайзия, страны Персидского Залива, а также определены относительно новые участники рынка сукук: Япония, Южная Корея, Соединенные Штаты, Марокко, Кения, Тунис и Бангладеш.

4. Методом логического обоснования выявлены возможности применения сукук для финансирования промышленных предприятий в условиях российской экономики, а именно: капитальное строительство и расширение мощностей, финансирование оборотного капитала и сырья, рефинансирование существующих активов, «зеленые» и *ESG*-проекты, проектное финансирование, логистика и цепочки поставок.

5. Результаты работы вносят вклад в развитие теории структуры капитала и управления рисками, предлагая новый инструмент и новую модель распределения рисков. Кроме того, результаты работы являются прямым развитием теории и практики исламских финансов, предлагая конкретные решения

для финансирования промышленности, показывая, как финансовые инновации, рожденные в одной парадигме (исламской), могут обогащать и предлагать решения для проблем в рамках традиционных экономических и финансовых теорий.

6. На практическом уровне результаты работы могут быть использованы руководителями промышленных предприятий для при решении вопросов об источниках финансирования своей деятельности.

Список литературы

1. *Умаров Х. С.* Инвестиции в исламские ценные бумаги сукук и их отражение в финансовой (бухгалтерской) отчетности // Финансовый бизнес. 2013. № 4 (165). С. 32–35.

2. *Умаров Х. С.* Особенности учета аренды (иджара) и облигаций (сукук) исламских финансовых институтов // Международный бухгалтерский учет. 2020. Т. 23. № 1 (463). С. 4–16.

3. *Умаров Х. С.* Формирование методики адаптации исламского бухгалтерского учета к РСБУ // Аудитор. 2015. № 4. С. 58–63.

4. *Latipova Sh. M.* Lizing bozorida sukukning ahamiyati va istiqbollari. // Iqtisodiyot: Tahlillar va Prognozlar. 2021. № 1 (12). Pp. 82–89.

5. *Kharisova F. I., Iskhakova G. M., Yusupova A. R.* Formation of financial statements at Islamic financial institutions // Journal of Social Sciences Research. 2018. № 5. Pp. 128–132.

6. *Kharisova F. I., Derzayeva G. G., Sirazeeva A. F.* Comparative characteristics of AAOIFI and IASB conceptual frameworks for financial reporting // BiLD Law Journal. 2023. № 7 (4s). Pp. 330–337.

7. A*khmetshina A. R., Kharisova F. I., Derzayeva G. G.* et al. Key Strategies for Improving the Standardization of Audit under Islamic Principles // Review of Business and Economics Studies. 2025. № 1 (13). Pp. 43–54.

8. *Kharisova F. I., Derzayeva G. G., Aletkin P. A.* Financial Transparency: Comparative Study of the Annual Reports of Islamic Banks // Proceedings of the 4th International Conference Engineering Innovations and Sustainable Development. CEISD 2025. Lecture Notes in Civil Engineering. Springer, Cham. Vol 648.

9. *Харисова Ф. И., Дерзаева Г. Г., Алеткин П. А.* и др. Обзор стандартов AAOIFI по управлению исламскими финансовыми организациями (№ 1–22): учеб. пособ. Казань: Амирит. 2025. 600 с.

10. *Фурсова Т. В.* Исламское финансирование, как альтернативная финансовая система // Форум. 2021. № 3 (23). С. 102–105.

11. *Шовхалов Ш. А.* Особенности бизнес-партнерства в исламском праве // Modern Economy Success. 2021. № 3. С. 229–232.

12. *Шовхалов Ш. А., Абдулмуслимов М. Р.* Регулирование инвестиционных операций в исламском праве // Вопросы экономики. 2022. № 1. С. 147–160.

13. *Таштамиров М. Р.* Индустрия исламских финансов: современное состояние и роль в глобальной экономике // Вестник Чеченского государственного университета им. А. А. Кадырова. 2021. № 2 (42). С. 37–44.

14. *Таштамиров М. Р.* К вопросу об эффективности архитектуры исламского банкинга // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2021. Т. 17. № 1 (23). С. 40–46.

15. *Беккин Р. И.* Исламское финансовое право и его роль в регулировании исламских финансов // Ученые записки Казанского университета. Серия «Гуманитарные науки». 2013. № 3–2. С. 134–144.

16. *Беккин Р. И.* Исламские финансовые институты и инструменты в мусульманских и немусульманских странах: особенности и перспективы развития // дисс. … д-ра экономич. наук. М.: Ин-т Африки РАН. 2009.

17. *Баржаев Р. Р.* Перспективы развития исламского банкинга в странах СНГ // Экономика и предпринимательство. 2020. № 6 (119). С. 82–86.

18. *Дерзаева Г. Г.* Аналитические возможности информации об операциях с сукук в отчетности исламских финансовых организаций // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2025. Т. 16, № 3. С. 540–552.

19. *Дерзаева Г. Г.* Зарубежный опыт формирования информации об операциях с сукук // Международный бухгалтерский учет. 2025. № 4 (528). С.81–96.

20. *Derzayeva G. G.* Digital Sukuk: Innovative Tools for Transforming Socio-Economic Systems // Proceedings of the International Scientific Conference «Digital Future: Science, Education, and Innovative Development of Socio-Economic Systems». DFSED 2025. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham. Vol 1552.

21. *Данченко Е. А., Калашник Н. А.* Исламская ценная бумага сукук как альтернатива классической облигации // Инновационный потенциал банковской деятельности: сб. мат-лов Междунар. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов, магистрантов, практических специалистов и молодых ученых. Ростов-на-Дону: 2020. С. 297–309.

22. *Заболотникова В. Д.* Сукук как исламский финансовый инструмент и его развитие в республике Казахстан // Вестник университета Туран. 2015. № 1 (65). С. 191–194.

23. *Семенова Ф. З.* Бухгалтерский учет в соответствии с исламской экономической моделью // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 12. С. 122–127.

References

1. Umarov H. S. Investments in Islamic Securities Sukuk and Their Reflection in Financial (Accounting) Statements. *Financial Business*, 2013, no. 4 (165), pp. 32–35.

2. Umarov H. S. Features of Accounting for Leases (Ijarah) and Bonds (Sukuk) of Islamic Financial Institutions. *International Accounting*, 2020, vol. 23, no. 1 (463), pp. 4–16.

3. Umarov H. S. Formation of a Methodology for Adapting Islamic Accounting to RAS. *Auditor*, 2015, no. 4, pp. 58–63.

4. Latipova Sh. M. Lizing bozorida sukukning ahamiyati va istiqbollari. *Iqtisodiyot: Tahillar va Prognozlar*, 2021, no. 1 (12), pp. 82–89.

5. Kharisova F. I., Iskhakova G. M., Yusupova A. R. Formation of financial statements at Islamic financial institutions. *Journal of Social Sciences Research*, 2018, no. 5, pp. 128–132.

6. Kharisova F. I., Derzayeva G. G., Sirazeeva A. F. Comparative characteristics of AAOIFI and IASB conceptual frameworks for financial reporting. *BiLD Law Journal*, 2023, no. 7 (4s), pp. 330–337.

7. Akhmetshina A. R., Kharisova F. I., Derzayeva G. G. et al. Key Strategies for Improving the Standardization of Audit under Islamic Principles. *Review of Business and Economics Studies*, 2025, no. 1 (13), pp. 43–54.

8. Kharisova F. I., Derzayeva G. G., Aletkin P. A. Financial Transparency: Comparative Study of the Annual Reports of Islamic Banks. *Proceedings of the 4th International Conference Engineering Innovations and Sustainable Development. CEISD 2025. Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, Cham, vol 648.

9. Kharisova F. I., Derzaeva G. G., Aletkin P. A. et al. *Obzor standartov AAOIFI po upravleniju islamskimi finansovymi organizacijami (№ 1–22)* [Review of AAOIFI standards on the governance of Islamic financial institutions (No. 1–22): textbook]. Kazan, Amirit, 2025, 600 p.

10. Fursova T. V. Islamic finance as an alternative financial system. *Forum*, 2021, no. 3 (23), pp. 102–105.

11. Shovkhalov Sh. A. Features of business partnership in Islamic law. *Modern Economy Success*, 2021, no. 3, pp. 229–232.

12. Shovkhalov Sh. A., Abdulmuslimov M. R. Regulation of investment operations in Islamic law. *Voprosy ekonomiki*, 2022, no. 1, pp. 147–160.

13. Tashtamirov M. R. Islamic finance industry: current state and role in the global economy. *Bulletin of the Chechen State University named after A. A. Kadyrov*, 2021, no. 2 (42), pp. 37–44.

14. Tashtamirov M. R. On the efficiency of Islamic banking architecture. *Bulletin of GGNTU. Humanitarian and socio-economic sciences*, 2021, vol. 17, no. 1 (23), pp. 40–46.

15. Bekkin R. I. Islamic financial law and its role in the regulation of Islamic finance. *Scientific notes of Kazan University. Series «Humanities»,* 2013, no. 3–2, pp. 134–144.

16. Bekkin R. I. *Islamskie finansovye instituty i instrumenty v musul'manskih i nemusul'manskih stranah: osobennosti i perspektivy razvitija* [Islamic financial institutions and instruments in Muslim and non-Muslim countries: features and development prospects: doctor's thesis]. Moscow, Institute for African Studies, 2009.

17. Barzhaev R. R. Prospects for the development of Islamic banking in the CIS countries. *Economy and entrepreneurship*, 2020, no. 6 (119), pp. 82–86.

18. Derzaeva G. G. Analytical capabilities of information on transactions with sukuk in the reporting of Islamic financial organizations. *MIR (Modernization. Innovation. Development)*, 2025, vol. 16, vol. 3, pp. 540–552.

19. Derzayeva G. G. Foreign experience in generating information on sukuk transactions. *International accounting*, 2025, no. 4 (528), pp. 81–96.

20. Derzayeva G. G. Digital Sukuk: Innovative Tools for Transforming Socio-Economic Systems. *Proceedings of the International Scientific Conference «Digital Future: Science, Education, and Innovative Development of Socio-Economic Systems».* DFSED 2025. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, vol 1552.

21. Danchenko E. A., Kalashnik N. A. Islamic security sukuk as an alternative to classical bonds. *Innovative potential of banking. Collection of materials of the International scientific and practical conference of students, graduate students, undergraduates, practical specialists and young scientists*. Rostov-on-Don, 2020, pp. 297–309.

22. Zabolotnikova V. D. Sukuk as an Islamic financial instrument and its development in the Republic of Kazakhstan. *Bulletin of Turan University*, 2015, no. 1 (65), pp. 191–194.

23. Semenova F. Z. Accounting in accordance with the Islamic economic model. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2019, no. 12, pp. 122–127.

УДК 332.14

Ан. Б. МОТТАЕВА, д-р экон. наук (Финансовый Университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail:abmottaeva@fa.ru,
Ан. В. Mottaeva (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Smart Grid и цифровая энергетика: влияние на эффективность экономики регионов России

Smart Grid and digital energy: impact on the efficiency of the Russian regions' economies

Обосновывается роль Smart Grid как инструмента повышения энергетической и экономической эффективности регионов, а также в определении направлений совершенствования цифровой инфраструктуры для устойчивого развития территорий. Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации региональных энергетических систем в условиях роста энергопотребления, изменения климата и ускоренной цифро-

визации экономики. Реализация принципов Smart Grid позволяет не только повысить надежность энергоснабжения и снизить углеродный след, но и стимулировать развитие новых отраслей, связанных с цифровыми услугами и зелеными технологиями. Научная новизна исследования состоит в разработке концептуальной модели влияния цифровых энергетических сетей на макро- и мезоэкономические показатели региона, а также в выявлении механизмов, через которые цифровизация энергетического сектора способствует повышению его конкурентоспособности и энергетической устойчивости.

This article is devoted to the study of the impact of the introduction of Smart Grid technologies and digital solutions in the energy sector on improving the efficiency of the regional economy. The purpose of the article is to substantiate the role of Smart Grid as a tool for improving the energy and economic efficiency of regions, as well as to identify areas for improving digital infrastructure for the sustainable development of territories. The relevance of the research is determined by the need to modernize regional energy systems in the context of rising energy consumption, climate change and accelerated digitalization of the economy. The implementation of Smart Grid principles allows not only to increase the reliability of energy supply and reduce the carbon footprint, but also to stimulate the development of new industries related to digital services and green technologies. The scientific novelty of the study is to develop a conceptual model of the impact of digital energy networks on the macro- and mesoeconomic indicators of the region, as well as to identify the mechanisms through which digitalization of the energy sector contributes to increasing its competitiveness and energy sustainability.

Ключевые слова: Smart Grid; цифровая энергетика; интеллектуальные энергосистемы; региональная экономика; энергоэффективность; цифровая трансформация; устойчивое развитие; инновационные технологии; большие данные; Интернет вещей; управление энергоресурсами; энергетическая устойчивость.

Keywords: Smart Grid; digital energy; intelligent energy systems; regional economy; energy efficiency; digital transformation; sustainable development; innovative technologies; big Data; Internet of Things; energy resource management; energy sustainability.

Современная энергетика находится на этапе глубокой технологической трансформации, сопоставимой по значимости с историческим переходом от паровых установок к электрическим сетям в конце XIX века. Централизованная модель генерации и распределения электроэнергии, определявшая развитие отрасли на протяжении более ста лет, постепенно заменяется децентрализованной и интеллектуальной системой нового поколения – концепцией *Smart Grid*, основанной на цифровых технологиях, автоматизации и взаимодействии всех участников энергетического рынка в режиме реального времени [1].

Исследование статьи посвящено анализу влияния цифровой энергетики, основанной на *Smart Grid*-технологиях, на экономическую эффективность регионов. Также в данной статье дан комплексный анализ структуры цифровой энергетики, ее технологических и институциональных компонентов, оценка их вклада в повышение производительности и устойчивости региональных хозяйственных систем. Особое внимание уделено вопросам интеграции энергетических сетей нового поколения в региональные стратегии цифрового развития, оптимизации энергетических потоков и снижению издержек посредством применения технологий искусственного интеллекта, Интернета вещей (*IoT*) и больших данных (*Big Data*).

Стоит подчеркнуть, что Правительство РФ активно продвигает политику стимулирования инновационной деятельности, включая сферу электроэнергетики, обеспечивая поддержку внедрения новых технологий, повышения энергоэффективности и развития интеллектуальных решений в энергетическом секторе (например, Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2030 года). Целью энергетической стратегии России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для поддержания экономического роста, повышения качества жизни и укрепления внешнеэкономических позиций России.

Реализация национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации» и продолжающиеся реформы системы государственного управления формируют необходимость выработки новой модели устойчивого пространственного развития, основанной на комплексной интеграции цифровых технологий во все сферы экономической и социальной деятельности [2]. Эти процессы уже активно развиваются во многих регионах страны, однако сохраняется фрагментарность цифровых инициатив: наблюдается недостаточная координация, дублирование функций и пересечение целей между региональными и федеральными проектами цифровизации [2].

Региональное развитие РФ отражает значительное географическое, экономическое, историческое и культурное разнообразие: 85 субъектов Федерации, части изменений в региональной структуре реализованы в 2003, 2005, 2007 и 2014 гг. [2, 3]. Россия представляет собой сложную экономическую систему с многочисленными региональными подсистемами, где производственная специализация регионов влияет на уровень энергопотребления, а анализ энергоэффективности требует учета структуры валового регионального продукта.

С конца 2017 г. регионы приступают к разработке цифровых стратегий и дорожных карт по автоматизации городской и региональной инфраструктуры, включая инициативы «умных городов – умных регионов» (*smart city – smart region*) [4, 5]. Интеграция концепции *Smart* в энергосистемы открывает новые возможности для оптимизации энергопроизводства, распределения и потребления, интеграции возобновляемых источников и повышения надежности снабжения [1, 6].

Российские исследователи отмечают, что цифровизация энергетики РФ находится на этапе формирования, а ее реализация требует системного подхода и поддержки как со стороны государства, так и региональных институтов развития [3]. Также исследователи подчеркивают, что внедрение технологий *Smart Grid* позволяет существенно повысить надежность энергоснабжения, сократить потери в сетях и снизить энергоемкость валового регионального продукта (ВРП), создавая предпосылки для формирования цифровой энергетической инфраструктуры нового поколения [7–9]. Например, в работе А. Н. Алексеевой и В. А. Боговиза обосновано, что цифровизация электроэнергетики выступает системным фактором экономического роста, обеспечивая повышение управляемости энергопотоков и интеграцию возобновляемых источников энергии [3]. А. Ю. Веретенникова и К. А. Семячков отмечают, что переход к интеллектуальным энергетическим системам требует формирования новых институтов управления и адаптации региональной политики к цифровым вызовам А инновационные модели цифровой экономики как фактор устойчивого развития умных городов [5].

Зарубежные исследователи рассматривают *Smart Grid* как фундаментальный элемент перехода к низкоуглеродной и распределенной энергетике. В исследованиях [9, 10] подчеркивается, что интеллектуальные сети формируют основу «умной» экономики, обеспечивая синергию между технологической инновацией, устойчивостью и энергетической безопасностью. По мнению авторов источника [11], интеграция технологий искусственного интеллекта, Интернета вещей (*IoT*) и анализа больших данных (*Big Data*) в энергетических сетях позволяет не только повысить эффективность энергопотребления, но и создать новые экономические модели взаимодействия между производителями и потребителями энергии. Интеллектуальная сеть (*SG*), обычно называемая энергосетью следующего поколения, появилась в качестве замены неподходящих энергосистем в 21 веке [11].

Сопоставительный анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что ключевыми факторами успешной цифровой трансформации энергетического сектора являются: наличие развитой ИКТ-инфраструктуры, инвестиции в инновации, государственная поддержка, стандартизация и высокий уровень цифровых компетенций кадров. Совокупность этих факторов формирует основу энергетической и экономической конкурентоспособности регионов России в условиях глобальной цифровой экономики.

Следовательно, согласно актуальным научным исследованиям, цифровая трансформация энергетики становится ключевым направлением устойчивого развития и повышения эффективности региональных экономик.

Цель данной работы – обоснование роли *Smart Grid* как инструмента повышения энергетической и экономической эффективности регионов, а также в определении направлений совершенствования цифровой инфраструктуры для устойчивого развития территорий. Фундаментальной основой настоящего исследования послужило представление о цифровой энергетике как ключевом элементе новой промышленной парадигмы, основанной на интеграции информационно-коммуникационных технологий и интеллектуальных систем управления в энергетическом секторе. Методологическую основу исследования составляют системный и институциональный подходы, позволяющие рассматривать цифровую энергетическую инфраструктуру как интегрированный элемент региональной социально-экономической системы. Использованы методы сравнительного анализа, корреляционно-регрессионного моделирования, экспертных оценок и экономико-математического моделирования. Информационную базу составляют данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Министерства энергетики РФ, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, а также международных организаций: *OECD*, *IEA*, *World Bank* и *UNDP*. В исследовании использованы материалы научных публикаций, аналитических докладов и отраслевых обзоров, посвященных вопросам цифровизации ТЭК и внедрению интеллектуальных энергетических сетей.

Результаты исследования и их обсуждение

Комплексный анализ структуры цифровой энергетики: технологические и институциональные компоненты

Цифровая энергетика формируется на стыке электроэнергетики и информационно-коммуникационных технологий, объединяя в себе технические, управленческие и институциональные механизмы, направленные на повышение прозрачности, адаптивности и эффективности энергосистем. Ее структура представляет собой многоуровневую архитектуру, включающую аппаратно-технические решения, цифровые платформы управления, аналитические системы и нормативно-институциональные компоненты [9].

На технологическом уровне цифровая энергетика базируется на интеграции интеллектуальных измерительных комплексов (*Smart Metering*), систем автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) и цифровых подстанций, функционирующих на основе международного стандарта *IEC 61850*, который обеспечивает совместимость оборудования и унификацию протоколов обмена данными [8]. На практике это означает создание единого цифрового контура от генерации до конечного потребителя, включающего сенсорные сети, интеллектуальные устройства (*IED*) и распределенные системы мониторинга.

Энергетический сектор одним из первых внедряет цифровые технологии. Особую роль играют платформенные решения, объединяющие потоки данных в режиме реального времени. Системы *Energy Management System* (*EMS*), *Distribution Management System* (*DMS*) и *Advanced Distribution Management System* (*ADMS*) обеспечивают оптимизацию энергопотоков, прогнозирование нагрузки, выявление неисправностей и управление интеграцией возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Применение технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных позволяет значительно повысить точность прогнозов и эффективность функционирования энергосистем [8]. Международное энергетическое агентство (*IEA*) отмечает, что цифровизация энергетики может снизить эксплуатационные потери до 15 %, повысить надежность энергоснабжения и ускорить декарбонизацию сектора [6].

На институциональном уровне цифровая энергетика представляет собой комплекс правовых, нормативных и организационно-экономических механизмов, обеспечивающих развитие технологической инфраструктуры. В России эти механизмы закреплены в Энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года и в национальном проекте «Цифровая экономика Российской Федерации», где приоритетом обозначено формирование интеллектуальной инфраструктуры и повышение энергоэффективности экономики. Государственные компании, такие как ПАО «Россети» и ПАО «Газпром энергохолдинг», реализуют пилотные проекты цифровых подстанций и сетей на основе отечественных технологий связи и платформенных решений.

На международном уровне институциональные компоненты цифровой энергетики формируются через стандартизацию и регулирование рынков. В странах Европейского союза и США широкое распространение получили модели *prosumer*-экономики, когда потребитель становится одновременно и производителем энергии, активно участвуя в управлении нагрузкой и продаже излишков на рынке. Европейская комиссия в своей инициативе *Digitalisation of Energy Action Plan (2022–2030)* подчеркивает важность открытых данных, кибербезопасности и взаимодействия энергосистем с цифровыми платформами «умных городов» (*Smart City*).

Соответственно, структура цифровой энергетики объединяет два взаимодополняющих компонента – технологический и институциональный. Первый обеспечивает создание интеллектуальной инфраструктуры, второй – формирует правовые и организационные условия ее эффективного функционирования. Взаимосвязь этих компонентов является ключевым фактором, определяющим успешность цифровой трансформации энергетики и ее вклад в устойчивое развитие региональной экономики.

Оценка вклада цифровой энергетики и технологий Smart Grid в повышение производительности и устойчивости региональных хозяйственных систем

Внедрение технологий *Smart Grid* оказывает мультипликативное воздействие на производительность и устойчивость региональных хозяйственных систем, поскольку обеспечивает не только повышение энергоэффективности и снижение издержек, но и создает основу для технологического обновления смежных отраслей – промышленности, транспорта, жилищно-коммунального комплекса и *IT*-инфраструктуры [9]. Цифровизация энергетики способствует формированию так называемого эффекта сопряженной продуктивности, при котором рост эффективности в энергетическом секторе усиливает производительность экономики в целом за счет снижения энергоемкости ВРП, повышения надежности энергоснабжения и снижения транзакционных издержек [2].

Согласно исследованиям *IEA*, внедрение цифровых технологий в энергетике позволяет повысить эффективность использования электроэнергии на 10–20 % и одновременно сократить углеродный след на 15–25 %. Данные результаты подтверждаются и российской практикой: пилотные проекты цифровых подстанций и интеллектуальных сетей, реализуемые ПАО «Россети» в Татарстане, Белгородской и Тюменской областях, показывают снижение технологических потерь электроэнергии на 9–12 % и сокращение времени восстановления электроснабжения при авариях на 30–40 %. Это напрямую влияет на производственные издержки предприятий и устойчивость критической инфраструктуры регионов.

С точки зрения макроэкономических эффектов, цифровизация энергетики способствует росту ВРП за счет повышения общей факторной производительности (*TFP*). По оценкам Всемирного банка, рост инвестиций в цифровую энергетическую инфраструктуру на 1 % приводит к увеличению ВРП регионов на 0,35–0,4 %. Дополнительное влияние оказывают структурные эффекты – диверсификация энергобаланса, развитие новых секторов цифровых услуг и создание рабочих мест в сфере ИКТ и обслуживания энергетических систем нового поколения.

Приоритетным направлением воздействия цифровой энергетики является повышение устойчивости региональных хозяйственных систем, понимаемой как их способность адаптироваться к внешним шокам (энергетическим, экономическим, климатическим) без потери функциональности. Внедрение интеллектуальных сетей повышает надежность энергоснабжения за счет автоматического обнаружения и изоляции поврежденных участков, возможности удаленного управления распределением нагрузок и интеграции распределенной генерации. Согласно оценкам *World Economic Forum*, применение цифровых инструментов в управлении энергопотреблением повышает энергоустойчивость территориальных систем на 20–30 % при одновременном снижении эксплуатационных расходов.

Кроме прямого эффекта на производительность *Smart Grid* создает условия для развития инновационной экосистемы регионов. Цифровые сети становятся платформой для интеграции малых и средних предприятий, предоставляющих цифровые сервисы, энергоаудит, анализ данных и разработку решений в области «умной» инфраструктуры. Это стимулирует развитие человеческого капитала и цифровых компетенций, а также формирует новые модели взаимодействия между властью, бизнесом и населением [12].

В результате вклад цифровой энергетики в повышение производительности и устойчивости региональных экономических систем проявляется в трех взаимосвязанных измерениях: экономическом (рост производительности, снижение затрат, улучшение инвестиционного климата), технологическом (инновации, эффективность инфраструктуры, надежность сетей) и социально-институциональном (цифровые компетенции, инклюзивность, качество услуг). Комплексная реализация этих направлений обеспечивает не только энергетическую безопасность, но и устойчивое развитие регионов, формируя основу для построения «умных» и конкурентоспособных территорий [13].

В целях эмпирического подтверждения влияния технологий Smart Grid на развитие региональной экономики проведена оценка ключевых экономических и инфраструктурных эффектов их внедрения. Систематизация результатов реализованных пилотных проектов, а также международных аналитических отчетов (*IEA*, *World Bank*, *OECD*, *WEF*) позволяет выделить совокупность показателей, наиболее полно отражающих вклад цифровой энергетики в производительность и устойчивость хозяйственных систем.

Таблица обобщает сравнительные результаты внедрения интеллектуальных энергетических технологий, демонстрируя их мультипликативное воздействие на энергетику и экономику регионов: снижение потерь, рост энергоэффективности, повышение надежности инфраструктуры и улучшение инвестиционного климата. Представленные данные подтверждают, что цифровизация энергетического сектора формирует устойчивые предпосылки для повышения конкурентоспособности и технологической независимости регионов в долгосрочной перспективе.

Согласно проведенной оценке, комплексное внедрение *Smart Grid* демонстрирует выраженный положительный эффект для региональной экономики. Наиболее ощутимыми являются снижение потерь, рост энергоэффективности и повышение надежности энергоснабжения, что формирует прямую связь между цифровизацией энергетики и ростом производительности труда. Параллельно наблюдается укрепление инвестиционной активности и развитие занятости в цифровых и инженерных профессиях, что способствует технологическому обновлению региональной экономики [13–17].

Кроме прямых эффектов, цифровая энергетика усиливает системную устойчивость регионов: способность адаптироваться к внешним экономическим и климатическим вызовам, предотвращать сбои и восстанавливаться после них. В совокупности эти факторы формируют базу для устойчивого «умного» развития территорий.

Таблица

Экономические эффекты внедрения *Smart Grid* в региональной экономике

Показатель	Содержание и метод оценки	Средний эффект внедрения *Smart Grid*
1. Снижение потерь электроэнергии	Доля технических и коммерческих потерь в распределительных сетях до и после внедрения цифровых подстанций и интеллектуальных счетчиков	Снижение на 9–15 % (в пилотных регионах РФ: Белгородская, Тюменская обл.)
2. Повышение энергоэффективности	Сравнение энергоемкости ВРП до и после внедрения интеллектуальных систем учета и управления	Улучшение показателя на 10–20 % в течение 3–5 лет
3. Рост ВРП	Модель зависимости между индексом цифровизации энергетики и приростом ВРП	+ 0,35–0,4 % ВРП при + 1 % инвестиций в цифровую инфраструктуру
4. Повышение надежности энергоснабжения	Сокращение индексов *SAIDI/SAIFI* (частота и длительность отключений)	Снижение аварийных простоев на 30–40 %
5. Снижение эксплуатационных издержек предприятий	Сравнение расходов на энергию и ремонтно-эксплуатационные затраты	Снижение OPEX на 8–12 % в среднем
6. Рост инвестиционной активности	Прирост инвестиций в цифровую инфраструктуру и ВИЭ-производства	Увеличение объема инвестиций на 15–18 %
7. Создание новых рабочих мест	Рост занятости в сфере ИКТ и обслуживания интеллектуальных сетей	+5–7 % новых рабочих мест в региональном энергосекторе
8. Снижение углеродного следа экономики	Расчет CO_2-интенсивности на единицу ВРП	Сокращение выбросов на 15–25 % в период 5–7 лет
9. Повышение устойчивости хозяйственной системы	Композитный индекс энерго- и киберустойчивости	Рост на 20–30 % по оценке МЭА и ВЭФ

Направления дальнейших исследований

Smart Grid (или «умные» энергетические сети) – это модернизированная электросеть, в которой интегрированы информационно-коммуникационные технологии и системы связи для сбора, передачи и анализа данных об энергоснабжении и потреблении. В традиционной энергосистеме управление потоками энергии происходит преимущественно одномерно – от электростанций к потребителям, с минимальной обратной связью. *Smart Grid* организует двусторонний обмен как информацией, так и энергией между поставщиками и потребителями за счет широкого внедрения датчиков, автоматизированных систем и информационных платформ на всех уровнях: от генерации и подстанций до линий электропередачи и конечных пользователей [9, 11].

В частности, в *Smart Grid* используются интеллектуальные счетчики, сенсоры и актуаторы, позволяющие в реальном времени отслеживать состояние сети, прогнозировать нагрузки, оптимизировать распределение энергии и интегрировать распределенные источники (например, возобновляемые энергетические установки). Такая архитектура обеспечивает повышение надежности, снижение потерь и издержек, а также открывает новые возможности для повышения эффективности и устойчивости экономики региона (см. рис. 1).

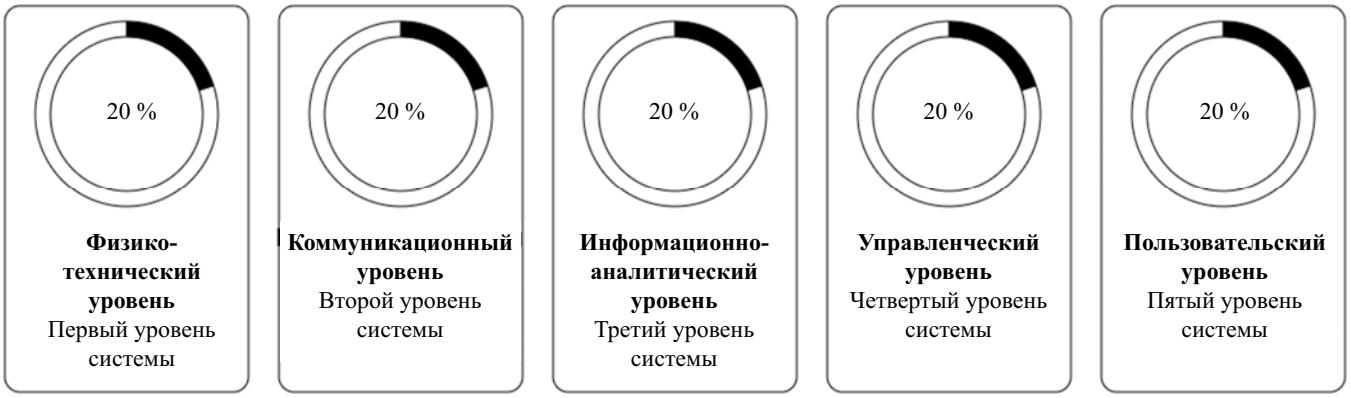


Рис. 1. Ключевые уровни архитектуры *Smart Grid*

Согласно рис. 1, основная архитектура *Smart Grid* включает несколько ключевых уровней, обеспечивающих комплексное управление энергетическими процессами на всех стадиях: от генерации и передачи до распределения и потребления энергии [9].

В наиболее признанной международной модели, разработанной Национальным институтом стандартов и технологий США (*NIST Smart Grid Conceptual Model*), а также Международной электротехнической комиссией (*IEC Smart Grid Reference Architecture*), выделяются следующие уровни: физико-технический, коммуникационный, информационно-аналитический, управленческий и пользовательский.

1. Физико-технический уровень представляет собой основу энергосистемы и включает генерирующие мощности, подстанции, линии электропередачи и распределительные сети, оснащенные интеллектуальными устройствами (*Intelligent Electronic Devices*, *IED*), сенсорами и средствами автоматизации. Именно здесь реализуются технологии цифровых подстанций и мониторинг параметров сети в реальном времени на основе протоколов *IEC 61850* и *IEC 60870-5-104*.

2. Коммуникационный уровень отвечает за передачу данных между элементами системы. Он объединяет проводные и беспроводные каналы связи (оптоволоконные линии, *4G/5G*, *LPWAN*, *PLC*), обеспечивая устойчивую и защищенную коммуникацию между объектами генерации, подстанциями, центрами управления и конечными пользователями. Современные исследования показывают, что именно развитие телекоммуникационной инфраструктуры является фундаментом цифровой зрелости энергосетей.

3. Информационно-аналитический уровень формирует цифровое пространство данных, объединяя системы мониторинга, прогнозирования, хранения и обработки информации. В этом контуре применяются технологии Big Data, облачные вычисления, а также алгоритмы машинного обучения для предиктивного управления нагрузками и интеграции возобновляемых источников энергии [10]. По данным Международного энергетического агентства (IEA), применение интеллектуальной аналитики позволяет снизить операционные издержки энергосетей на 10–15 % и увеличить их пропускную способность без физического расширения инфраструктуры.

4. Управленческий уровень включает системы диспетчерского и стратегического управления – *EMS*, *DMS* и *ADMS*. Эти решения обеспечивают автоматическое регулирование потоков энергии, оптимизацию режимов работы сети, диагностику аварийных состояний и поддержку принятия решений на основе анализа данных.

5. Пользовательский уровень охватывает взаимодействие между энергосистемой и конечными потребителями. Здесь формируются принципы «активного потребителя» (*prosumer*), когда пользователи не только потребляют, но и производят энергию, участвуя в механизмах спроса и предложения на энергорынке. В рамках концепции *Smart Region* данный уровень также включает интеграцию систем управления «умными зданиями» (*Smart Building*) и городскими энергетическими платформами (*Smart City Energy Platform*).

Следовательно, архитектура *Smart Grid* представляет собой многоуровневую систему, где каждый уровень выполняет уникальные функции, а их взаимодействие обеспечивает устойчивость, надежность и экономическую эффективность цифровой энергетики региона. Интеграция всех уровней создает основу для построения «умной» энергетической экосистемы, способной к самообучению, адаптации и оптимизации энергопотребления в условиях растущих нагрузок и климатических ограничений [11].

Эконометрическая модель взаимосвязи «цифровизация энергетики → развитие региона»

Для количественной оценки влияния цифровизации энергетического сектора на ВРП, производительность труда, инвестиции и энергоемкость экономики используется панельная модель с фиксированными эффектами по регионам и времени:

$$Y_{it} = \alpha + \beta D_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it},$$

где D_{it} – индекс цифровизации энергетики (композит из доли «умных» счетчиков/*AMI*, доли цифровых подстанций по *IEC 61850*, проникновения АСКУЭ/*ADMS*, доли подключенных к ШПД энергообъектов); X_{it} – контрольные переменные (уровень урбанизации, плотность населения, структура ВРП, износ основных фондов энергосетей); μ_i, τ_t – неизмеряемые фиксированные эффекты региона и года.

Расчет оценки выполняется методом «*within*»: для проверки причинности проводится лагирование D_{it} и инструментальная переменная (плотность оптоволоконной инфраструктуры и «волна» федеральных пилотов как инструменты) с *2SLS*.

В соответствии с международной литературой ожидаемые знаки параметров: $\beta > 0$ для ВРП на душу и производительности, $\beta > 0$ для инвестиций, $\beta < 0$ для энергоемкости ВРП (улучшение энергоэффективности) [9, 11]. Робастность проверяется альтернативными индексами D_{it}, исключением «лидирующих» регионов и квантильной регрессией для учета гетерогенности эффектов [12].

Практические эффекты внедрения цифровых энергетических технологий

Сопоставление результатов эмпирики и отраслевых отчетов показывает, что цифровизация сетей дает кумулятивные эффекты:

- снижение сетевых потерь благодаря точному учету, локализации утечек и оптимизации режимов (в международных оценках – до 10–15 %) [2, 9];
- рост надежности через сокращение *SAIDI/SAIFI* за счет автоматического секционирования, *FLISR* и удаленной диагностики (снижение времени простоев на 20–40 %) [2, 7];
- снижение энергоемкости ВРП за счет управления спросом (*DR*), предиктивного регулирования и интеграции распределенной генерации [11];
- стимулирование новых рынков и отраслей – сервисов данных, энергоаудита, кибербезопасности и «умной» городской инфраструктуры; формирование занятости в ИКТ и инжиниринге [12].

Консервативная кросс-валидация результатов с данными по пилотам и международным сравнениям подтверждает экономическую значимость коэффициентов β и их устойчивость к альтернативным спецификациям.

Практические рекомендации для ускорения внедрения Smart Grid

На основе проведенного анализа институциональных, технологических и организационных условий цифровизации энергетики разработана концептуальная схема, отражающая ключевые направления ускорения внедрения технологий *Smart Grid* и цифровых решений в энергетическом секторе регионов России. Каждое направление представляет собой самостоятельный элемент системы управления цифровой трансформацией и требует согласованных действий со стороны государства, бизнеса и научно-образовательного сообщества.

Схема, приведенная на рис. 2, структурирует приоритетные меры поддержки цифровизации энергетики, включающие развитие инфраструктуры и стандартов, формирование механизмов сбора и анализа данных, совершенствование регулирования и рынков гибкости, а также обеспечение кадрового потенциала, киберустойчивости и системы мониторинга цифровой зрелости.

1. Инфраструктура и стандарты. Ускорить цифровизацию подстанций и РЭС по семейству *IEC 61850*, обеспечить межоперабельность оборудования и жизненный цикл SCL-проектирования; развивать опорную связь (оптоволокно/*5G*/*PLC*) к энергоузлам как «физический» инструмент снижения транзакционных издержек данных [12].

2. Данные и аналитика. Ввести региональные «data spaces» для энергетики с едиными моделями данных и *API* (*AMI/SCADA/ADMS/DERMS*), обеспечить доступ к обезличенным данным для университетов и стартапов; поддержать *ML*-кейсы прогнозирования нагрузки и отказов [9].

3. Регулирование и рынки гибкости. Запустить пилоты рынков системных/сетевых услуг гибкости (*DR*, хранение, микрогенерация), включив потребителей-производителей (*prosumer*) в правила розничного рынка; внедрить *KPI* по *SAIDI/SAIFI*/потерям в тарифном регулировании [12].

4. Финансирование и ГЧП. Создать региональные программы со-финансирования *AMI/ADMS* (*capex-subsidy*), выпуск «зеленых» облигаций под замену устаревших РЭС и цифровизацию учета; применять *EPC*-контракты в коммунальной энергетике [3, 8].

5. Кадры и компетенции. Организовать центры компетенций по цифровой энергетике, адаптировать программы ИКТ+энергетика, сертифицировать специалистов по киберустойчивости и *IEC 61850* [2].

6. Кибербезопасность. Применить модели *Zero-Trust* и сегментацию *OT/IT*, обязательный аудит уязвимостей *IED/RTU/AMI*; отрабатывать сценарии реагирования на *OT*-инциденты [12].

7. Мониторинг и оценка. Внедрить «паспорт цифровой зрелости» региональной энергетики с квартальными метриками (доля *AMI*, доля цифровых подстанций, *SAIDI/SAIFI*, потери, доля *DER*, энергоемкость ВРП) и публичной панелью прогресса [9].

Представленные рекомендации образуют взаимосвязанную архитектуру цифрового развития энергетики, где успех каждой из мер зависит от синхронного развития остальных элементов. Комплексная реализация предложенных мер позволит регионам России обеспечить устойчивое повышение энерго-

Рис. 2. Приоритетные направления ускорения цифровой трансформации энергетического сектора регионов

эффективности, надежности инфраструктуры и инвестиционной привлекательности, а также создать институциональные условия для формирования конкурентоспособной цифровой экономики на основе технологий *Smart Grid*.

Выводы. 1. Проведенное исследование подтверждает, что цифровая трансформация энергетического сектора, основанная на внедрении технологий *Smart Grid*, является значимым фактором повышения эффективности, производительности и устойчивости региональных хозяйственных систем. Эконометрический анализ показал наличие устойчивой положительной взаимосвязи между уровнем цифровизации энергетики и ключевыми макроэкономическими показателями – валовым региональным продуктом, производительностью труда и инвестиционной активностью, при одновременном снижении энергоемкости экономики. Эти результаты свидетельствуют о том, что цифровая энергетика становится драйвером не только технологической модернизации, но и структурного обновления региональных экономик.

2. Практическая оценка эффектов внедрения *Smart Grid* в российских регионах выявила снижение потерь электроэнергии, повышение надежности энергоснабжения и улучшение инвестиционного климата. Совокупное воздействие цифровизации проявляется через мультипликативные эффекты – сокращение эксплуатационных расходов предприятий, повышение энергоэффективности, рост занятости в инновационных секторах и формирование новых рынков цифровых услуг.

3. В результате, цифровая энергетика выступает системообразующим элементом «умной» экономики региона, обеспечивающим сбалансированное сочетание технологического прогресса, экономической эффективности и экологической устойчивости. Комплексное развитие инфраструктуры, институтов и человеческого капитала в энергетическом секторе создает фундамент для повышения конкурентоспособности регионов России в условиях глобальной цифровой трансформации.

Список литературы

1. *Thilakarathne N., Kagita M. K., Lanka S., Ahmad H.* Smart Grid: A Survey of Architectural Elements, Machine Learning and Deep Learning Applications and Future Directions // ARXIV. 2020. URL: https://arxiv.org/abs/2010.08094.

2. *Лыщикова Ю. В.* Механизмы институционализации и имплементации концепции «умный регион» в управлении устойчивым пространственным развитием территорий // Экономика. Информатика. 2021. Т. 48. № 2. С. 229–243.

3. *Alekseev A. N., Bogoviz A. V., Krymsky V. S.* Digitalization of the Russian Energy Sector: State-of-the-Art and Potential for Future Research // Int J Energy Econ Policy. 2019. Vol. 9 (5). Pp. 275–282.

4. *Иваненко О. Б., Головкина Е. В.* Цифровая трансформация российской электроэнергетики: перспективы и ограничения // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. № 11. С. 5063–5076.

5. *Веретенникова А. Ю., Семячков К. А.* Инновационные модели цифровой экономики как фактор устойчивого развития умных городов // Региональная экономика и управление. 2022. № 3 (71).

6. *Городнова Н. В., Соколов С. А.* Практическая реализация концепции Smart City в Российской Федерации: анализ современного состояния и перспектив // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11. № 6. С. 1439–1456.

7. *Гусева Т. А., Жигирева Е. Г., Сухов В. В.* Цифровая трансформация в регионах России: актуальные тенденции, различия и вызовы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2025. № 7 (125). С. 52–61.

8. *Максимцев И. А., Костин К. Б., Онуфриева О. А.* Современные тенденции развития цифровизации в мировой энергетике // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13. № 2. С. 1087–1104.

9. *Fang X., Misra S., Xue G., Yang D.* Smart Grid – The new and improved power grid: A survey. IEEE Commun Surv Tutor. 2023. Vol. 25 (1). Pp. 14–38.

10. *Bataev A. V., Gorovoy A. A., Mottaeva A.* Digital transformation of the financial sector in Russia and the world // Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 – Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth: 32, Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional Expansion to Global Growth. Seville: 2018. Pp. 102–114.

11. *Kudryashova E. V., Orlova I. S.* The digital transformation of energy systems in the regions of Russia // Energy Reports. 2024. Vol. 10 (2). Pp. 1225–1240.

12. *Крупнов Ю. А., Фокина О. В.* Корпоративные стратегии предприятий металлургического производства в инновационной экономике // КШП. ОМД. 2025. № 6. С. 92–99.

13. *Прядко И. П., Магина А. И.* Политика импортозамещения в оценке участников социологического опроса: цифры и факты // Экономика и предпринимательство. 2020. № 11 (124). С. 149–154.

14. *Mottaeva A. B., Mottaeva A. B.* The impact of sanctions on the development of national and regional economy of the Russian Federation // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. № 23. Pp. 43446–43449.

15. *Жукевич Г. В., Шабаева С. В.* Интеграция цифровых инноваций для устойчивого развития рынка труда России. Социально-трудовые исследования. 2025. Т. 60 (3). С. 77–88.

16. *Крупнов Ю. А., Моттаева А. Б.* Тенденции и перспективы развития мирового энергетического рынка: прогноз на 2025 г. // E-Management. 2025. Т. 8. № 1. С. 43–54.

References

1. Tilakaratne N., Kagita M. K., Lanka S., Ahmad H. Intelligent Network: an overview of architectural elements, machine and deep learning applications, and directions for the future. *ARXIV* 2020, available at: https://arxiv.org/abs/2010.08094.

2. Lyshchikova Yu. V. Mechanisms of institutionalization and implementation of the concept of «smart region» in the management of sustainable spatial development of territories. *Economy. Computer science*, 2021, vol. 48, no. 2. pp. 229–243.

3. Alekseev A. N., Bogoviz A.V., Krymsky V. S. Digitalization of the Russian energy sector: current state and potential for future research. *Energy economics policy*, 2019, vol. 9 (5), pp.275–282.

4. Ivanenko O. B., Golovkina E. V. Digital transformation of the Russian electric power industry: prospects and limitations. *Economics, Entrepreneurship and Law*, 2023, vol. 13, no. 11, pp. 5063–5076.

5. Veretennikova A. Yu., Semyachkov K. A. Innovative models of the digital economy as a factor of sustainable development of smart cities. *Regional economics and management: electronic scientific journal*, 2022, no. 3 (71).

6. Gorodnova N. V., Sokolov S. A. Practical implementation of the «Smart City» concept in the Russian Federation: an analysis of the current state and prospects. *Economics, Entrepreneurship and Law*, 2021, vol. 11, no. 6, pp. 1439–1456.

7. Guseva T. A., Zhigireva E. G., Sukhov V. V. Digital transformation in Russia's regions: actual trends, differences and challenges. *Economics and Business: theory and practice*, 2025, no. 7 (125), pp. 52–61.

8. Maksimtsev I. A., Kostin K. B., Onufrieva O. A. Modern trends in the development of digitalization in the global energy sector. *Issues of innovative economics*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 1087–1104.

9. Fang H., Misra S., Xue G., Yang D. Intelligent grid – a new and improved power supply system: an overview. *IEEE Communication Surv teacher*, 2023, vol. 25 (1), pp. 14–38.

10. Bataev A. V., Gorovoy A. A., Mottaeva A. Digital transformation of the financial sector in Russia and the world. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 – Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth: 32, Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional Expansion to Global Growth*. Seville, 2018, pp. 102–114.

11. Kudryashova E. V. Orlova I. S. Digital transformation of energy systems in the regions of Russia. *Energy reports*, 2024, vol. 10 (2), pp. 1225–1240.

12. Krupnov Yu. A., Fokina O. V. Corporate strategies of metallurgical enterprises in the innovative economy. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 6, pp. 92–99.

13. Pryadko I. P., Magina A. I. the policy of import substitution in the assessment of participants in a sociological survey: figures and facts. *Economics and entrepreneurship*, 2020, no. 11 (124), pp. 149–154.

14. Mottaeva A. B., Mottaeva A. B. The impact of sanctions on the development of national and regional economy of the Russian Federation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 23, pp. 43446–43449.

15. Zhukovich G. V., Shabaeva S. V. Integration of digital innovations for sustainable development of the Russian labor market. *Social and labor research*, 2025, vol. 60 (3), pp. 77–88.

16. Krupnov Yu. A., Mottaeva A. B. trends and prospects of the global energy market development: forecast for 2025. *e-Management*, 2025, vol. 8, no. 1, pp. 43–54.

УДК

Н. В. КРАВЧЕНКО, аспирант (НИУ ВШЭ, г. Москва)
E-mail: n.kravchenko@hse.ru
N. V. Kravchenko (HSE University, Moscow)

Рынок доставки «последней мили» в российской электронной коммерции: современное состояние и тенденции развития

The last mile delivery market in Russian e-commerce: actual status and development trends

Представлен анализ современного состояния российского рынка доставок «последней мили» в электронной коммерции и его ключевых тенденций. Рассмотрены основные участники и инфраструктура рынка, цифровизация и автоматизация логистических операций, тенденции ускорения доставки, рост издержек и его влияние на рентабельность, а также процессы консолидации и вертикальной интеграции маркетплейсов. Уделяется внимание маркетинговой составляющей доставки «последней мили» как инструменту формирования конкурентных преимуществ и повышения ценности кли-

ентского опыта. На основе отраслевых отчетов и исследований систематизированы актуальные показатели рынка и векторы его изменений. Результаты обзора позволяют сформировать представление о состоянии российского рынка доставок «последней мили» в электронной коммерции.

This article presents an analysis of the current status of the Russian last-mile delivery market in e-commerce and its key trends. It examines key market participants and infrastructure, digitalization and automation of logistics operations, trends toward accelerated delivery, rising costs and their impact on profitability, and the consolidation and vertical integration of marketplaces. Attention is paid to the marketing component of last-mile delivery as a tool for developing competitive advantages and enhancing the value of customer experience. Based on industry reports and research, current market indicators and trends are systematized. The results of this review provide an overview of the state of the Russian last-mile delivery market in e-commerce.

Ключевые слова: электронная коммерция; доставка «последней мили»; логистика; потребительский опыт; цифровизация; маркетплейсы.

Keywords: e-commerce; last-mile delivery; logistics; customer experience; digitalization; marketplaces.

Электронная коммерция в России продолжает демонстрировать высокие темпы роста, оставаясь одной из наиболее динамично развивающихся сегментов экономики страны. По результатам исследования агентства *Data Insight*, с 2021 по 2024 гг. российский цифровой ритейл является мировым лидером по темпам роста [1]. В 2024 г. рынок электронной коммерции в России увеличивается на 39 % по сравнению с годом ранее, достигая отметки в 11,2 трлн руб. и 6,8 млрд заказов [1]. При этом доля онлайн-ритейла занимает практически одну пятую от всего оборота розничной торговли страны [2]. Согласно данным Ассоциации компаний Интернет-торговли (АКИТ), только за 1 квартал 2025 г. объем онлайн-торговли составляет 2,6 трлн руб., что на 36 % выше аналогичного периода 2024 г. При условии сохранения актуальных показателей роста ожидается, что к концу текущего года объем рынка электронной коммерции превысит показатель в 14–15 трлн руб., а количество заказов – в 8,5 млрд [3].

Данная ситуация формирует серьезные вызовы для сферы логистики и особенно для организации доставки «последней мили», заключительного этапа транспортировки товара к конченому потребителю. Эта точка контакта фактически становится заключительным моментом, когда ритейлер способен повлиять на потребительский опыт. На современном этапе доставка «последней мили» во многом определяет восприятие качества сервиса. За 2024 г. более 90 % россиян получены свои заказы с помощью ПВЗ или постаматов [4], а количество курьерских доставок возросло до 751 млн [5]. Вместе с этим 90 % потребителей считают скорость и удобство получения заказов одним из важных факторов, определяющих их лояльность [6]. Доставка на этапе «последней мили» часто рассматривается как так называемый «момент истины» для компании: именно здесь формируется окончательное впечатление о бренде, и негативный опыт получения заказа способен снизить вероятность повторной покупки.

Актуальность темы объясняется не только стремительным ростом электронной коммерции, но и изменением моделей потребления. Например, увеличивается спрос на быструю доставку, развиваются сети ПВЗ, усиливается экологическая повестка [7, 8]. Для ритейлеров доставка «последней мили» является источником существенных издержек – около 53 % логистических расходов [9], однако одновременно и действенным маркетинговым инструментом.

Цель данной работы – систематизация данных о текущем состоянии российского рынка доставки «последней мили», включая выявление ключевых тенденций его развития и их влияния на конкурентоспособность компаний.

Специфика инфраструктуры и основные участники российского рынка доставки «последней мили»

Особенностью российского рынка доставки «последней мили» является высокая концентрация вокруг маркетплейсов, которые активно формируют собственные логистические экосистемы. Лидерами по числу заказов и объему инфраструктуры являются маркетплейсы *Ozon* и *Wildberries*, которые вместе с Яндекс.Маркетом и Мегамаркетом составляют более 80 % российского рынка Интернет-торговли [10]. Они создают распределительные центры и даркстоpы, вводят автоматизацию складских процессов, развивают сети пунктов выдачи заказов.

Важную роль в развитии инфраструктуры рынка играет франчайзинговая модель открытия пунктов выдачи заказов, которая позволяет с бóльшей скоростью увеличивать число точек и расширять покрытие

сети ПВЗ. Так, на конец 2024 г. *Wildberries* имеет около 83 тыс. точек собственных и партнерских пунктов выдачи заказов [11], тогда как Ozon – более 60 тыс. [12]. Оба маркетплейса в совокупности владеют порядка 85 % всех ПВЗ в стране. Яндекс.Маркет уступает своим конкурентам и владеет более 13 тыс. точек, увеличив их количество более чем в 2 раза по сравнению с предыдущим годом [13].

Значимыми участниками инфраструктуры остаются специализированные логистические операторы. Компания СДЭК управляет более чем 8,8 тыс. пунктов выдачи заказов и постаматов, используя франчайзинговую модель масштабирования присутствия [14]. *Boxberry* объединяет более 5 тысяч ПВЗ, однако в 2025 г. оператор выкуплен компанией Яндекс для расширения их собственной сети [15].

Таким образом, инфраструктура российской последней мили характеризуется сочетанием агрессивного расширения ПВЗ и усиления распределительной сети. Маркетплейсы уже не просто используют существующую логистику – они ее строят и совершенствуют, превращая доставку в стратегический актив, который определяет скорость реакции, глубину покрытия регионов и качество клиентского опыта.

Ключевые тенденции развития рынка доставки «последней мили» в России

В 2024–2025 гг. рынок доставки «последней мили» в России демонстрирует устойчивый рост и структурные изменения, обусловленные развитием электронной коммерции, технологическим прогрессом и изменением потребительских ожиданий. Далее выделены наиболее существенные тренды его развития.

Цифровизация и автоматизация процессов

Цифровая трансформация остается ключевым драйвером развития и оптимизации логистических процессов. Внедрение систем управления транспортом (*TMS*, *transportation management system*) и складом (*WMS*, *warehouse management system*), инструментов аналитики и предиктивного планирования позволяет маркетплейсам и логистическим операторам снижать издержки и повышать точность соблюдения соглашения об уровне сервиса (*SLA*, *service level agreement*). Так, например, использование инструментов предиктивной аналитики позволяет прогнозировать спрос и динамически планировать загрузку распределительных центров, тем самым снижая риски «узких мест» и дефицита курьеров в периоды пикового спроса.

Компании все чаще внедряют автоматизированные решения для составления маршрутов, мониторинга заказов и интеграции всей цепочки поставок в единое информационное пространство. такие системы способны сократить среднее время маршрутизации на 10–15 % и уменьшить число отмен заказов из-за сбоев доставки [16]. Это обеспечивает высокую степень прозрачности операций: клиенты получают возможность отслеживать перемещение заказа вплоть до конкретного курьера, а операторы могут управлять *SLA* и оперативно реагировать на отклонения от плана.

В совокупности цифровизация логистических процессов не только повышает операционную эффективность, но и усиливает стратегическую устойчивость бизнеса: компании становятся способными масштабировать сети, гибко управлять поставками в разных регионах и обеспечивать стабильный уровень качества обслуживания, что положительно влияет на потребительский опыт.

Ускорение доставки и сокращение временных окон

На сегодняшний день скорость доставки становится не только конкурентным преимуществом, но и новым отраслевым стандартом. Если еще в 2021–2022 гг. средний срок доставки по России составлял 2–3 дня, то сегодня маркетплейсы стремятся обеспечить доставку на следующий день (*next-day*), а в крупнейших городах – в день заказа (*same-day*). Такой формат возможен благодаря географическому расширению складской сети и созданию даркстеров, территориально приближенных к конечным потребителям. Крупнейшие игроки активно инвестируют в строительство распределительных центров в городах-миллионниках и региональных хабах, чтобы обеспечить сокращение «последней мили» доставки [17].

Еще одним важным направлением является развитие логистики на основе гибких сценариев. Компании расширяют доступные клиенту опции получения: курьерская доставка в выбранное временное окно, самовывоз из ПВЗ и постаматов, комбинированные модели (*pick-up & drop-off*). Согласно исследованию *Relog*, гибкость в выборе формата и времени получения заказа напрямую влияет на удовлетворенность клиентов и частоту повторных покупок [9].

Ускорение доставки и сокращение временных окон отражает стратегическую ориентацию рынка на повышение клиентской ценности через скорость и удобство, а не только через цифровизацию процессов.

Рост издержек и давление на рентабельность

Доставка «последней мили» остается наиболее затратной частью всей цепочки поставок, занимая в среднем около 50 % совокупных логистических издержек компании [9]. В 2025 г. влияние на себестоимость доставки усиливается вследствие роста

стоимости топлива, удорожания аренды складских площадей, дефицита курьерского персонала и повышения тарифов на транспортные услуги.

Ужесточение требований к соблюдению *SLA* и сокращение допустимых временных окон вынуждают компании инвестировать в резервные мощности и дублирующие маршруты, что увеличивает постоянные издержки и снижает маржинальность бизнеса. Исследования показывают, что 67 % онлайн-ритейлеров регулярно сталкиваются с проблемами на этапе последней мили из-за человеческого фактора и неточностей маршрутов, что дополнительно повышает стоимость доставки [18].

Отдельной статьей расходов выступают логистические возвраты, уровень которых в некоторых категориях достигает 24–30 % [19]. Особенно высока доля возвратов в *fashion*-сегменте, где она может составлять до 30 %, что создает значительное бремя на процессы обратной логистики и обработку товара.

Для снижения затрат компании тестируют гибридные модели доставки: часть заказов направляется в партнерские ПВЗ и постаматы, что позволяет снизить стоимость доставки «до двери». Все шире применяется динамическое ценообразование на доставку – бесплатная доставка предоставляется только при достижении определенного порога суммы заказа или для клиентов программ лояльности, что частично компенсирует рост расходов.

Так, рост издержек на этапе «последней мили» оказывает комплексное влияние на стратегию ритейлеров. В условиях снижения рентабельности ключевым приоритетом становится поиск баланса между экономией и качеством клиентского опыта, чтобы минимизировать отток покупателей и сохранить конкурентные позиции.

Консолидация и вертикальная интеграция маркетплейсов

Сегодня российский рынок электронной коммерции характеризуется не только ростом инфраструктуры, но и углублением процессов консолидации. Основной акцент смещается с количественного расширения сетей на контроль над всей цепочкой поставок и стандартизацию клиентского сервиса. Маркетплейсы стремятся управлять каждым этапом, от фулфилмента и сортировки до «последней мили», чтобы снизить операционные риски и обеспечить предсказуемость качества доставки. В результате уменьшается зависимость от внешних логистических операторов, а конкуренция все больше переносится из ценовой плоскости в область качества клиентского опыта – скорости, удобства и надежности получения заказа [20].

Для отрасли этот процесс означает рост барьеров входа и снижение роли независимых логистических посредников, которым становится сложнее конкурировать с масштабируемыми экосистемами маркетплейсов. Одновременно возрастают требования к технологической зрелости: успешные игроки инвестируют в аналитику, автоматизацию и интеграцию каналов доставки, что формирует новые стандарты обслуживания.

Выводы. 1. Доставка «последней мили» в российской электронной коммерции находится в центре трансформационных процессов, определяющих конкурентоспособность игроков рынка. Проведенный обзор показывает, что ключевыми факторами ее развития являются цифровизация и автоматизация процессов, ускорение и персонализация доставки, консолидация маркетплейсов, а также поиск баланса между издержками и качеством клиентского опыта.

2. Маркетплейсы становятся не просто торговыми площадками, но полноценными логистическими экосистемами, инвестирующими в развитие распределительных центров, ПВЗ и технологий контроля качества сервиса. Для бизнеса это означает необходимость интеграции логистики в стратегию маркетинга и управления клиентским опытом, а для потребителей – рост ожиданий в отношении удобства и скорости получения заказов.

3. Перспективы рынка во многом связаны с дальнейшей технологической модернизацией. В ближайшие годы ключевым вызовом для компаний станет не только удовлетворение растущих ожиданий клиентов, но и поддержание рентабельности в условиях давления на издержки. Наиболее успешными окажутся те компании, которые смогут выстроить гибкие, масштабируемые и клиентоориентированные модели «последней мили», превращая логистику из издержек в источник ценности и конкурентных преимуществ.

Список литературы

1. *Интернет*-торговля в России 2025 // Data Insight. URL: https://datainsight.ru/DI_eCommerce_2025.

2. *Объем* интернет-торговли в I квартале 2025 года увеличился на 36 % // Ассоциация компаний интернет-торговли (АКИТ). URL: https://akit.ru/news/obyom-internet-torgovli-v-i-kvartale-2025-goda-uvelichilsya-na-36.

3. *Data* Insight: в 2024 году объем рынка розничной интернет-торговли в России составил 11,2 трлн рублей // Retail.ru. URL: https://www.retail.ru/news/data-insight-v-2024-godu-obem-rynka-roznichnoy-internet-torgovli-v-rossii-sostav-19-maya-2025-264722.

4. *Россияне* все чаще заказывают самовывоз в ПВЗ // Тинькофф Журнал. URL: https://secrets.tbank.ru/novosti/zakazipvz.

5. *Онлайн*-торговля в России выросла на 46 % в 2024 году // РБК. URL: https://www.rbc.ru/industries/news/68405f919a79473e9fcd5629.

6. *Самовывоз* из ПВЗ и постаматов 2022 // Data Insight. URL: https://datainsight.ru/sites/default/files/DI_lastMile2022_report.pdf.

7. *Российские* сервисы экспресс-доставки увеличили выручку на 60 % // Retail.ru. URL: https://retailer.ru/v-2024-godu-rossijskie-servisy-jekspress-dostavki-uvelichili-vyruchku-na-60-pochti-do-500-mlrd-rublej.

8. *Экологичная* доставка – новый тренд в e-commerce // РБК Тренды. URL: https://trends.rbc.ru/trends/green/62b163609a79478f636eebeb.

9. *Проблемы* и тренды в доставке FMCG-продукции на последней миле, 2025 // Relog. URL: https://getrelog.com/public/Relog_Research_2025_B2B.pdf.

10. *Интернет*-торговля (рынок России). TAdviser. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет-торговля_%28рынок_России%29.

11. *Wildberries* расширяет сеть ПВЗ до 83 тыс. точек // ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/24238487.

12. *Ozon* увеличил сеть ПВЗ до 60 тыс. // ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/23264775.

13. *Яндекс*.Маркет подключит тысячи новых пунктов выдачи заказов // Forbes Russia. URL: https://www.forbes.ru/tekhnologii/511414-andeks-market-podklucit-tysaci-novyh-punktov-vydaci-zakazov.

14. *СДЭК*: 25 лет – дальше больше // СДЭК. URL: https://www.cdek.ru/ru/news/view/2025-02-27-sdek-25-let-dalse-bolse.

15. *Яндекс* приобрел Boxberry // Яндекс. URL: https://yandex.ru/company/news/01-16-04-2025.

16. *Wang Z., Gao L., Wang W.* The impact of supply chain digitization and logistics efficiency on the competitiveness of industrial enterprises // International Review of Economics & Finance. 2025. Vol. 97. Article 103759.

17. *Как* изменится логистика в 2025 году // РБК Компании. URL: https://companies.rbc.ru/news/V0lSbGmIhe/kak-izmenitsya-logistika-v-2025-godu.

18. *Как* изменилась «последняя миля» и какие вызовы ждут рынок // Logistics.ru. URL: https://logistics.ru/avtomatizaciya-logistiki-upravlenie-logistikoy-i-kompaniey-transportirovka/kak-izmenilas.

19. *Возвраты* в e-commerce: до 30 % заказов возвращаются в зависимости от категории // Интерфакс. URL: https://www.interfax.ru/pressreleases/1020979.

20. *Умная* Логистика подвела итоги I квартала 2025 года и выделила ключевые тренды // Lognews.ru. URL: https://lognews.ru/analitiki-kompanii-umnaya-logistika-podveli-itogi-i-kvartala-2025-goda-i-vydelili-7.

References

1. E-commerce in Russia 2025. *Data Insight*, available at: https://datainsight.ru/DI_eCommerce_2025.

2. E-commerce volume in Q1 2025 increased by 36%. *Association of Internet Commerce Companies (AKIT)*, available at: https://akit.ru/news/obyom-internet-torgovli-v-i-kvartale-2025-goda-uvelichilsya-na-36.

3. Data Insight: in 2024, the e-commerce retail market in Russia amounted to 11.2 trillion rubles. *Retail.ru*, available at: https://www.retail.ru/news/data-insight-v-2024-godu-obem-rynka-roznichnoy-internet-torgovli-v-rossii-sostav-19-maya-2025-264722.

4. Russians are increasingly ordering pickup from pickup points. *Tinkoff Magazine*, available at: https://secrets.tbank.ru/novosti/zakazipvz.

5. Online retail in Russia grew by 46% in 2024. *RBC*, available at: https://www.rbc.ru/industries/news/68405f919a79473e9fcd5629.

6. Pickup from pickup points and parcel terminals in 2022. *Data Insight*, available at: https://datainsight.ru/sites/default/files/DI_lastMile2022_report.pdf.

7. Russian express delivery services increased revenue by 60%. *Retail.ru*, available at: https://retailer.ru/v-2024-godu-rossijskie-servisy-jekspress-dostavki-uvelichili-vyruchku-na-60-pochti-do-500-mlrd-rublej.

8. Eco-friendly delivery – a new trend in e-commerce. *RBC Trends*, available at: https://trends.rbc.ru/trends/green/62b163609a79478f636eebeb.

9. Challenges and trends in the last mile delivery of FMCG products, 2025. *Relog*, available at: https://getrelog.com/public/Relog_Research_2025_B2B.pdf.

10. Online Commerce (Russian Market). *TAdviser*, AVAILABLE AT: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет-торговля_%28рынок_России%29.

11. Wildberries Expands Pickup Point Network to 83,000. *TASS*, available at: https://tass.ru/ekonomika/24238487.

12. Ozon Increases Pickup Point Network to 60,000. *TASS*, available at: https://tass.ru/ekonomika/23264775.

13. Yandex.Market to Connect Thousands of New Order Pickup Points. *Forbes Russia*, available at: https://www.forbes.ru/tekhnologii/511414-andeks-market-podklucit-tysaci-novyh-punktov-vydaci-zakazov.

14. SDEK: 25 years – and more to come. *SDEK*, available at: https://www.cdek.ru/ru/news/view/2025-02-27-sdek-25-let-dalse-bolse.

15. Yandex acquired Boxberry. *Yandex*, available at: https://yandex.ru/company/news/01-16-04-2025.

16. Wang Z., Gao L., Wang W. The impact of supply chain digitalization and logistics efficiency on the competitiveness of industrial enterprises. *International Review of Economics & Finance*, 2025, vol. 97, art. 103759.

17. How Logistics Will Change in 2025. *RBC Companies*, available at: https://companies.rbc.ru/news/V0lSbGmIhe/kak-izmenitsya-logistika-v-2025-godu.

18. How the «Last Mile» Has Changed and What Challenges Await the Market. *Logistics.ru*, available at: https://logistics.ru/avtomatizaciya-logistiki-upravlenie-logistikoy-i-kompaniey-transportirovka/kak-izmenilas.

19. Returns in E-Commerce: Up to 30 % of Orders Are Returned Depending on the Category. *Interfax*, available at: https://www.interfax.ru/pressreleases/1020979.

20. Smart Logistics summed up the results of the first quarter of 2025 and highlighted key trends. *Lognews.ru*, available at: https://lognews.ru/analitiki-kompanii-umnaya-logistika-podveli-itogi-i-kvartala-2025-goda-i-vydelili-7.

УДК

В. Р. ИКСАНОВ (РЭУ им Г. В. Плеханова, г. Москва)
E-mail: Vlad-iksanov@mail.ru
V. R. Iksanov (Plekhanov Russian University of Economics, Moscow)

Анализ ИАС прогнозирования промышленных показателей Российской Федерации

Analysis of an industrial automation system (IAS) for forecasting industrial performance in the Russian Federation

Развитие промышленной экономики является ключевым фактором в стабильной работе всей экономике в России. На сегодняшний день показатели промышленного производства зависят от многих факторов, влияющих как из вне экономической деятельности, так и изнутри экономической системы. Возможность построения предсказаний будущих трендов влияет на точность и достоверность в принятии управленческих решений. Каждый показатель в промышленном производстве имеет большую роль в развитие экономики. Для возможности предсказания трендов описывается гибридная ИАС прогнозирования, основанная на методах искусственного интеллекта и статистических методах. Для полноты исследования реализована модель LLM основывающийся на технологии TimeGPT, для обеспечения точности прогнозирования и интерпретаций результатов. Проведен сравнительный анализ методов машинного обучения, статистических и LLM.

The development of the industrial economy is a key factor in the stable operation of the entire Russian economy. Today, industrial production indicators depend on many factors, both external and internal to the economic system. The ability to predict future trends influences the accuracy and reliability of management decisions. Each industrial production indicator plays a significant role in economic development. To enable trend forecasting, a hybrid IAS for forecasting is described, based on artificial intelligence and statistical methods. To ensure the completeness of the study, an LLM model based on TimeGPT technology is implemented to ensure forecast accuracy and interpretability of results. This paper provides a comparative analysis of machine learning, statistical, and LLM methods.

Ключевые слова: LLM; регрессионное дерево решений; прогнозирование; промышленные показатели; TimeGPT; ИАС.

Keywords: LLM; regression decision tree; forecasting; industrial performance; TimeGPT; IAS.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ на тему «Модели, методы и алгоритмы искусственного интеллекта в задачах экономики для анализа и стилизации многомерных данных, прогнозирования временных рядов и проектирования рекомендательных систем», номер проекта FSSW-2023-0004.

Проблема принятия верных управленческих решений в период нестабильной экономической ситуации является приоритетной для многих предприятий. Для поддержания экономической стабильности промышленных предприятий были разработаны средства и методы прогнозирования, которые должны обеспечивать точными и достоверными результатами. На сегодняшний день многие подходы к построению прогнозирования не могут дать достоверность и качество при расчетах, так как при построении моделей необходимо учитывать множество факторов, влияющих на качество результата [1].

Цель данной работы – анализ и построение прогнозирования промышленных показателей на основе предложенных методов [2]. В ней представлен авторский подход к построению прогнозирования промышленных показателей РФ на основе методов машинного обучения, статистических методов и *LLM*. Представленные в работе методы обоснованы и проанализированы на основе разработанного авторского подхода.

Построение прогнозирования промышленных показателей

Промышленное производство России занимает большую роль в развитие экономики страны. За счет добычи и обработки полезных ископаемых и производственных мощностей предприятий можно регулировать экономические колебания, которые влияют на уровень ВВП. Для поддержания управленческих решений многие авторы предлагают способы решения данной проблемы. К таким авторам можно отнести Чижова Ю. А., Лукашина Ю. П., которые предложили использование методологии прогнозирования на основе анализа влияния структурных изменений в промышленности.

Многие зарубежные авторы в своих работах описывают прогнозирование на основе *LMM*. К таким авторам можно отнести Mao H. и Woo G., которые предлагают подход к преобразованию временных последовательностей в текстовое представление и доказали эффективность применение предобученных *LLM* для задачи прогнозирования [3].

Для решения поставленной задачи разработана авторская информационно аналитическая система прогнозирования, которая включает в себя гибридный подход к прогнозированию за счет совокупности методов, дополняющих каждый результат прогнозирования.

Принцип работы ИАС заключается в поэтапном обучении модели, на основе разных методов прогнозирования, каждый из которых улучшает предыдущий результат прогнозирования.

Для поставленной задачи выбраны следующие методы прогнозирования: линейная регрессия, дерево решений, нейронные сети, *SARIMA*, экспоненциальное сглаживание, случайный лес, градиентный бустинг, *Adaptive Boosting*, метод *k*-ближайших соседей, *TimeGPT*.

Данные методы выбраны на основе авторского подхода, в критерии оценки которого входили, скорость, точность и простота реализации. Предложенные методы показывают хорошие результаты на тестовой выборке, что гарантирует их работоспособность и устойчивость к более сложным задачам [4].

Собраны статистические данные с 2013–2024 гг. промышленных показателей с официального сайта Росстат. Такой объем способен обеспечить хорошее обучение моделей для точности расчетов. Данные нормализованы, очищены от выбросов и стандартизированы, что показано на рис. 1. Строится корреляционный анализ, для нахождения зависимостей показателей. Данные зависимости помогут выбрать те показатели, которые лучше всего справятся с обучением модели и ее прогнозированием. На рис. 1 представлена часть данных, используемых для обучения модели [5].

Для реализации ИАС выбран язык программирования *python*. За счет своей адаптивности и скорости работы, при помощи фреймворков и нужных библиотек была создана ИАС [6].

Информационно аналитическая система прогнозирования работает следующим образом. Загружаются данные в систему, в меню присутствует выбор показателя исходя из загруженных данных, выбирается первый метод прогнозирования, если его результат ретропрогнозирования показывает плохие оценки метрик, то система предлагает выбрать следующий метод прогнозирования. Обучающая выборка 80 %, тестовая выборка 20 %, на уже обученных данных,

Период	KS	M2	VVP	COL	FM	GN	LESMAT	FANERA
1 кв. 2013	5,50	26760,57	16370,00	28599,33	42614,53	60887,10	1692,95	276035,00
2 кв. 2013	5,50	27389,70	17507,88	28623,67	43171,20	50745,60	1887,83	285353,00
3 кв. 2013	5,50	28385,37	19003,47	28308,67	43820,17	49060,70	1912,38	276948,67
4 кв. 2013	5,50	28500,77	20104,35	32211,67	44291,90	61843,97	1754,86	271288,67
1 кв. 2014	7,00	30395,27	17311,39	28639,00	43313,87	60354,07	1669,06	287335,67
2 кв. 2014	7,50	29763,03	19044,19	26940,67	43610,40	50684,20	1806,32	301967,67
3 кв. 2014	8,00	30196,70	20544,00	29052,00	43974,03	44026,97	1946,13	295152,00
4 кв. 2014	9,50	30090,23	22130,45	34378,00	44477,07	58997,67	1753,95	305095,00
1 кв. 2015	14,00	31291,47	18467,91	30272,67	43850,63	56546,27	1781,30	304003,67
2 кв. 2015	12,50	31515,37	19751,01	28153,67	44298,67	47210,90	1834,87	310058,33
3 кв. 2015	11,00	32123,27	21788,59	30405,33	44863,27	45580,77	1925,24	307963,33
4 кв. 2015	11,00	32319,50	23079,84	35217,33	45233,23	61850,43	1801,82	297137,00
1 кв. 2016	11,00	34485,27	18885,12	31993,00	45204,10	56633,83	1881,00	313879,67
2 кв. 2016	11,00	35145,93	20452,23	30302,33	44879,53	46130,60	2014,00	323068,00
3 кв. 2016	10,50	36019,40	22235,12	32049,33	45654,33	47158,63	2079,33	321967,33

Рис. 1. Промышленные показатели РФ

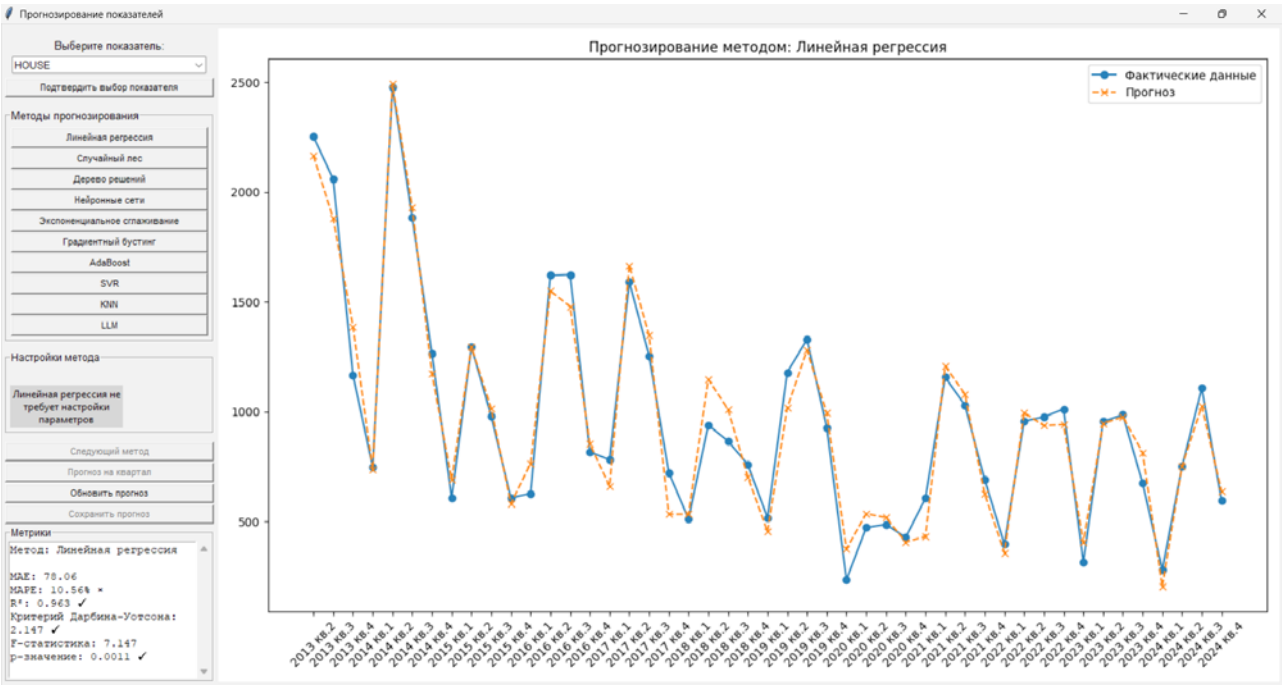
происходит дообучение следующего метода прогнозирования и так до тех пор, пока не получится точный результат. Далее строится прогноз на квартал, и выгрузка данных в *Excel* [7].

Разработанная ИАС позволяет динамически отслеживать изменения в расчетах при изменении в настройках метода. Для определения точности и качества были использованы следующие метрики: Коэффициент детерминации, *MAPE*, *MAE*, критерий Фишера, критерий Дарбина-Уотсона [8, 9].

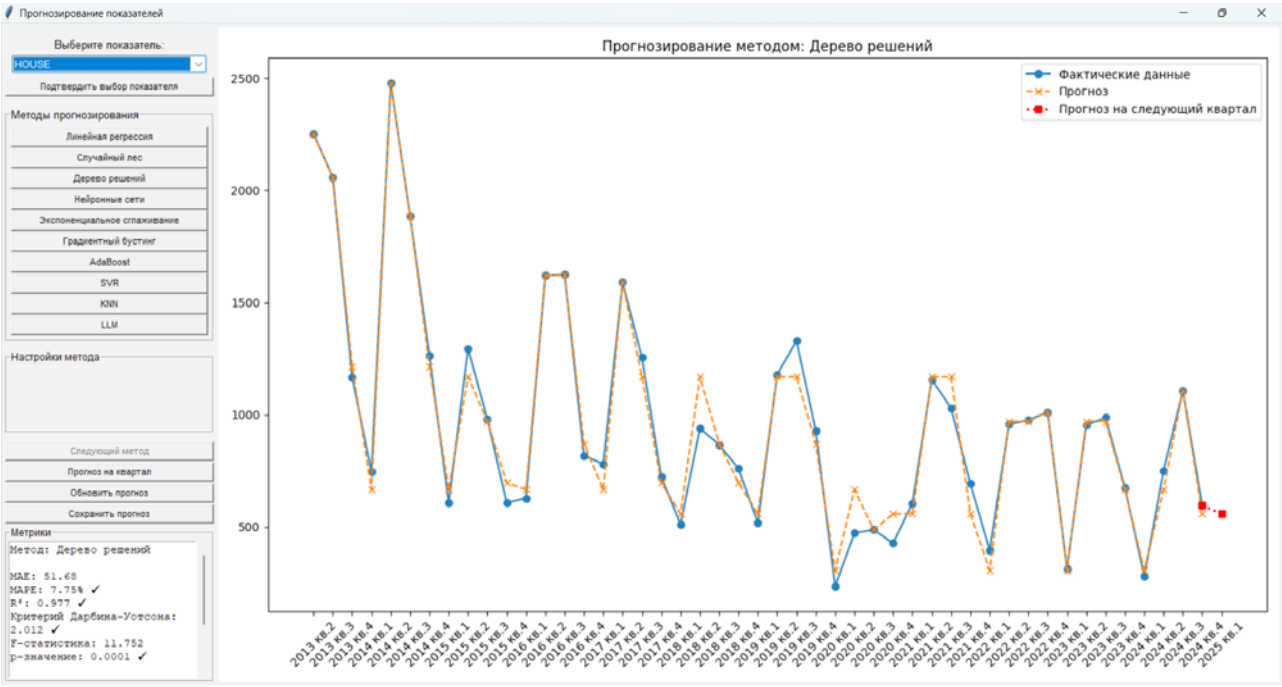
Критерием успешного прогнозирования являются такие показатели как *MAPE* и Коэффициент детерминации, где хорошим результатом является 0–10 % у *MAPE* и 0,7–1 у R^2.

Для прогнозирования был выбран показатель HOUSE «Домики садовые и постройки хозяйственные приусадебные».

Первый метод – линейная регрессия. На рис. 2, *а* показан график ретропрогнозирования.

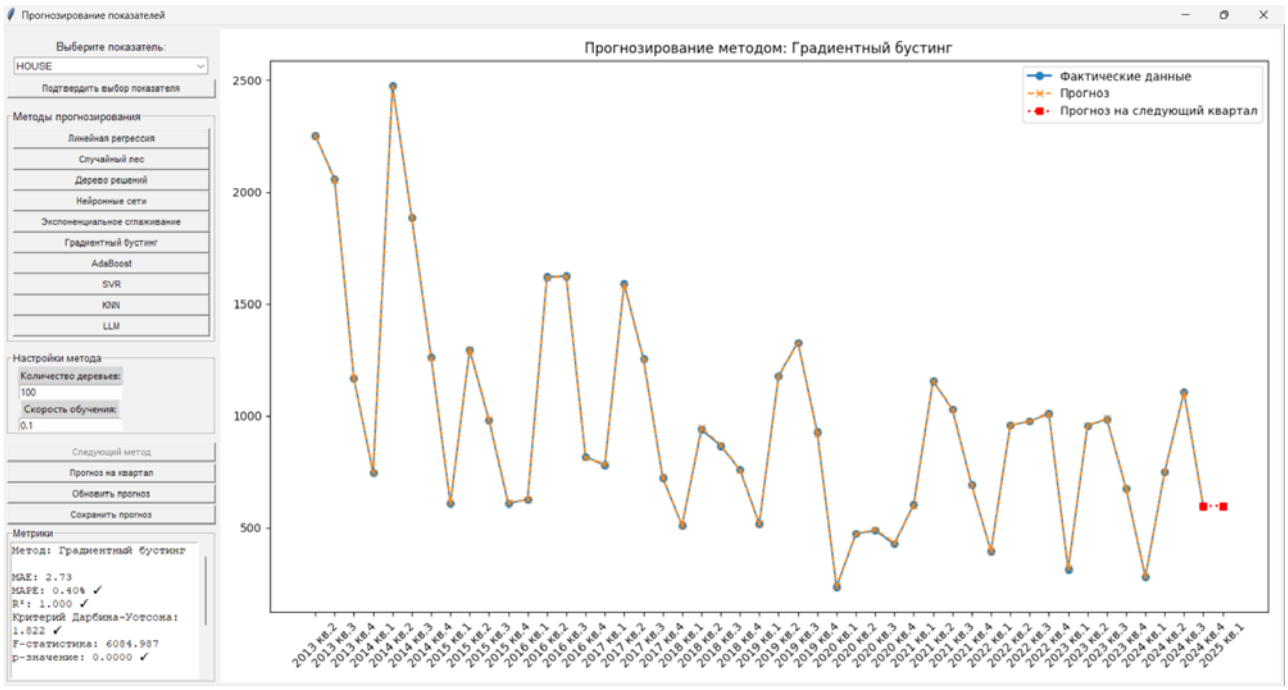


а)

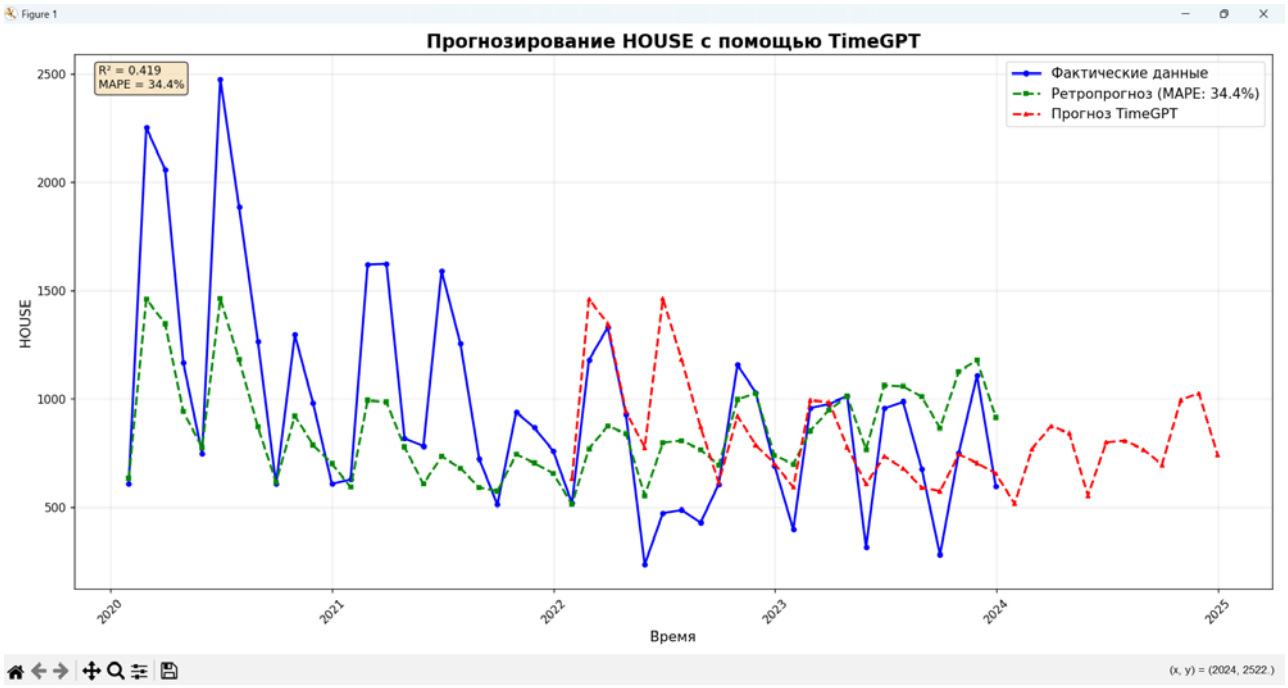


б)

Рис. 2 (Начало). Прогнозирование показателя HOUSE методами линейной регрессии (*а*), регрессионного дерева решений (*б*)



в)



г)

Рис. 2 (Окончание). Прогнозирование показателя HOUSE методами градиентный бустинг (*в*) и *TimeGPT* (*г*), соответственно

Данный метод показывает хороший результат, однако не все метрики проходят проверку, система не даст сделать прогнозирование на квартал, по этой причине выберем следующий метод прогнозирования.

Полученные метрики: $MAPE = 10{,}56$ %; $R^2 = 0{,}96$.

Линейная регрессия простейший метод для работы с временными рядами, за счет своей простоты результаты могут получиться с высоким процентом ошибки, однако на основе полученных результатов можно сделать вывод, что модель обучилась и способна показать хорошие результаты с использованием следующего метода прогнозирования.

Следующий метод «Регрессионное дерево решений», который способен улучшить прогнозирование метода линейной регрессии (см. рис. 2, *б*). Можно сделать вывод что данный метод справляется с расчетом прогнозирования показателя *HOUSE*. Что позволяет построить прогнозирование на квартал.

Полученные метрики: $MAPE = 7{,}75$ %; $R^2 = 0{,}9$.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что метод регрессионное дерево решений справляется с поставленной задачей. Данный метод способен работать с большим объемом данных и выдавать точные результаты при правильной настройке метода. Данным методом пройдена проверка валидации, что показывают полученные метрики качества работы модели.

Третий – метод градиентный бустинг. Он создан для улучшения работы слабых методов за счет своих алгоритмов. На рис. 2, *в* показан результат работы данного метода.

Полученные метрики: $MAPE = 0{,}4$ %; $R^2 = 1$.

Данный метод смог улучшить результаты обучения на основе прошлых вычислений, что показывает оценка полученных метрик.

Следующий метод является современным изобретением 2023 г. *TimeGPT* внедрен в ИАС прогнозирования для изучения новых технологических возможностей. Данная модель обученная на временных рядах модель способна строить предсказания на будущие тренды [4].

Для реализации и подключения данной модели получен уникальный код. Данная модель может настраиваться под разные периоды, что позволяет гибко настроить под любую ситуацию.

Реализованный метод является прототипом для теста системы *LLM*, что позволяет посмотреть возможности нейронных сетей [7].

На рис. 2, *г* показан расчет прогноза показателя *HOUSE* методом *TimeGPT*.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что данный метод показывает неточные результаты.

Полученные метрики: $MAPE = 34{,}4$ %; $R^2 = 0{,}41$.

Данная модель требует доработки, и точной настройки. Для расчета данного прогноза использованы следующие настройки:

- уровни доверительных интервалов = 95;
- шаги дообучения = 50 [10].

Такие настройки выбраны для максимальной точности в расчетах, однако модель показала низкую точность и качество прогнозирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из полученных расчетов, можно сделать вывод что ИАС прогнозирования показывает хороший результат. Некоторые методы требуют дополнительной настройки, так же результат прогнозирования зависит от выбранного показателя, что показывает корреляционный анализ. Метод нейронных сетей, который не представлен в данной работе, на выбранном показателе *HOUSE*, показывает низкие результаты прогнозирования, однако при расчете других показателей, результаты высоки [5].

В таблице представлен анализ методов прогнозирования ИАС.

Таблица

Анализ прогнозирования показателя *HOUSE*

Методы/Метрики	*MAPE*	R^2
Линейная регрессия	10,56 %	0,96
Дерево решений	7,75 %	0,97
Нейронные сети	16,48 %	0,73
SARIMA	15,29 %	0,46
Экспоненциальное сглаживание	23,31 %	0,73
Случайный лес	12,91 %	0,93
Градиентный бустинг	0,4 %	1
Adaptive Boosting	12,18 %	0,96
Метод *k*-ближайших соседей	31,7 %	0,44
TimeGPT	34,4 %	0,41

Исходя из показанных результатов расчета в таблице, можно сделать вывод, что ИАС прогнозирования показывает хорошие результаты и может быть использована для прогнозирования промышленных показателей России, так и в ситуационных центрах. Данный подход обеспечивает гибкость в расчетах за счет набора методов гибридного подхода. Разработанная ИАС способна показать хороший результат на разных наборах данных, что обеспечивает ее работоспособность с разными видами показателей. За счет гибридного подхода и точности настройки методов, расчетные значения могут меняться в зависимости от выбранных показателей, так как прогнозирование так же зависит от корреляции показателей между собой. Так же хочется отметить метод *TimeGPT*, который показывает не самые точные результаты, однако такой результат нельзя назвать крайне отрицательным. На сегодняшний день *LLM* развиваются и совершенствуются, что дает будущую перспективу в их дальнейшем использовании. Так же результаты могут быть улучшены за счет более точной настройки данного метода.

Выводы. 1. Новые технологии в сфере принятии управленческих решений являются перспективным направлением в развитии экономики России. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что ИАС прогнозирования на основе проведенных расчетов может быть использована в ситуационных центрах и в крупных промышленных предприятиях, что позволит им точно предсказывать будущие тренды, на основе которых будут приняты корректировки в управленческих решениях.

2. Многие авторы, работающие над данной проблемой, предлагают свои подходы к решению. Часто полученные выводы и методы можно встретить одновременно в работах нескольких авторов, что показывает степень разработанности проблемы, как каждый из авторов привносит новые пути решения за счет доработки предыдущих подходов.

3. Разработанная авторская ИАС прогнозирования использует ряд современных технологий в виде LLM и нейронных сетей, что позволяет улучшить результаты расчета и сократить время на настройку методов, за счет оптимизации данного процесса.

4. Выбранные автором методы способны обеспечить надежность и точность в расчетах, за счет гибридного подхода к обучению.

Список литературы

1. *Никитин И. В., Гриценко Т. Ю.* Сравнение подходов монолитной архитектуры и микросервисной архитектуры при реализации серверной части веб-приложения // Дневник науки. 2020. № 3 (39). С. 22.

2. *Баммаева Г. А.* Прогнозирование показателей использования оборотных средств промышленных предприятий с использованием цифрового инструментария // Финансовая экономика. 2020. № 9. С. 118–120.

3. *Kitova O. V., Dyakonova L. P., Kitov V. A., Savinova V. M.* Forecasting Industrial Indicators in Russia in the Information and Analytical System «Horizon» // Voprosy Istorii. 2021. № 10–1. Pp. 268–287.

4. *Вдовин Р. С., Хагуров И. Ш.* Современный инструментарий прогнозирования развития региональных рынков // Актуальные вопросы техники, науки, технологии: сб. науч. тр. нац-ной конф. Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет. 2025. С. 237–244.

5. *Чарочкина Е. Ю.* Оценка современного состояния инновационной активности промышленного сектора экономики России // Вестник университета. 2020. № 10. С. 51–56.

6. *Лепа Р. Н., Мадых А. А., Галушко Е. С., Шестов С. Н.* Информационно-аналитическаясистема прогнозированиябюджета города // Научные труды Вольного экономического общества России. 2014. Т. 186. С. 294–298.

7. *Савинова В. М.* Система эконометрических моделей прогнозирования социально-экономических показателей РФ как основа ИАС «Горизонт» // Modern Economy Success. 2022. № 2. С. 140–147.

8. *Иксанов В. Р.* Разработка ИАС для решения задачи прогнозирования промышленной экономики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 88–98.

9. *Ли Ч.* Тонкая настройка больших языковых моделей в качестве исторических экстракторов текста: улучшение последовательных рекомендаций с помощью латентных сигналов // ТРУДЫ МФТИ. 2025. Т. 17. № 2 (66). С. 13–21.

10. *Сербаева Г. Ф.* Оценка эффективности стратегий управления портфелем продуктов на основе генеративного предобученного трансформера timegpt // Вестник науки. 2024. Т. 3. № 12 (81). С. 1519–1523.

References

1. Nikitin I. V., Gritsenko T. Yu. Comparison of Monolithic and Microservice Architecture Approaches in Implementing the Server Side of a Web Application. *Science Diary*, 2020, no. 3 (39), pp. 22.

2. Bammaeva G. A. Forecasting Indicators of Working Capital Utilization of Industrial Enterprises Using Digital Tools. *Financial Economics*, 2020, no. 9, pp. 118–120.

3. Kitova O. V., Dyakonova L. P., Kitov V. A., Savinova V. M. Forecasting Industrial Indicators in Russia in the Information and Analytical System «Horizon». *Voprosy Istorii*, 2021, no. 10–1, pp. 268–287.

4. Vdovin R. S., Khagurov I. Sh. Modern tools for forecasting the development of regional markets. *Current issues in engineering, science, and technology: coll. of scientific papers of the national conference*. Bryansk, Bryansk State University of Engineering and Technology, 2025, pp. 237–244.

5. Charochkina E. Yu. Assessment of the current state of innovative activity in the industrial sector of the Russian economy. *Vestnik Universiteta*, 2020, no. 10, pp. 51–56.

6. Lepa R. N., Madykh A. A., Galushko E. S., Shestov S. N. Information and analytical system for forecasting the city budget. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*, 2014, vol. 186, pp. 294–298.

7. Savinova V. M. A system of econometric models for forecasting socio-economic indicators of the Russian Federation as a basis for the IAS «Horizon». *Modern Economy Success*, 2022, no. 2, pp. 140–147.

8. Iksanov V. R. Development of an IAS for solving the problem of forecasting the industrial economy. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS*, 2025, vol. 27, no. 3, pp. 88–98.

9. Li C. Fine-tuning large language models as historical text extractors: Improving sequential recommendations using latent signals. *Proceedings of MIPT*, 2025, vol. 17, no. 2 (66), pp. 13–21.

10. Serbaeva G. F. Evaluation of the effectiveness of product portfolio management strategies based on the generative pre-trained transformer timegpt. *Vestnik nauki*, 2024, vol. 3, no. 12 (81), pp. 1519–1523.

УДК 332.05

М. М. МАХМУДОВА, канд. пед. наук (Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
E-mail: mm.mahmudova@inbox.ru
M. M. Makhmudova (Industrial University of Tyumen, Tyumen)

Демография и оценка жизнеспособности малого бизнеса в Уральском федеральном округе

Demography and assessment of small business viability in the Ural federal district

Объектом исследования данной статьи является малый бизнес Уральского федерального округа. На основании официальной статистической информации рассчитаны показатели, характеризующие жизнеспособность малых предпринимательских структур региональной экономики.

The object of research in this article is a small business in the Ural Federal District. Based on official statistical information, the indicators characterizing the viability of small business structures of the regional economy were calculated.

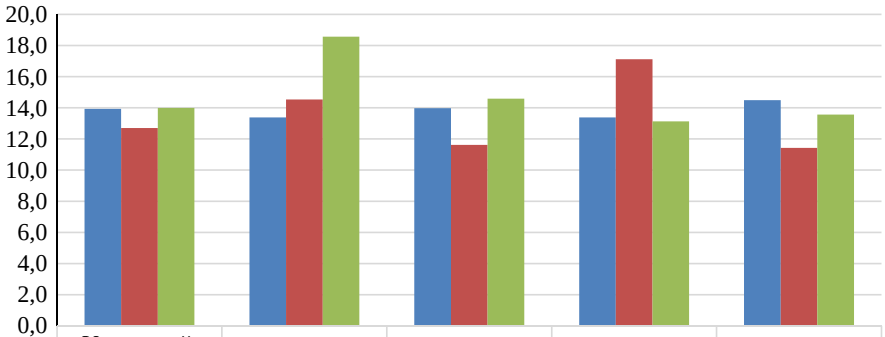
Ключевые слова: малый бизнес; предпринимательство; Уральский федеральный округ; коэффициент жизнеспособности.

Keywords: small business; entrepreneurship; Ural Federal District; viability coefficient.

Коэффициент жизнеспособности бизнеса определяется как отношение активных малых предприятий к «умершим». По аналогии с демографическим анализом, данный коэффициент позволит оценить «демографическую» ситуацию малого бизнеса с выявлением проблем нежизнеспособности предпринимательства в отдельных регионах округа, а также спрогнозировать «демографические» изменения в данном секторе. Данная методика применяется при анализе развития предпринимательства в российской экономике [1, 2].

В целом, в Уральском федеральном округе (УФО) малый бизнес за анализируемый период характеризуется высокой жизнеспособностью: на одно «умершее» предприятие приходится в среднем 13 активных (см. рис. 1). Причем в 2024 г. по сравнению с 2023 г. году тенденция резко улучшается [3].

Наименее жизнеспособными являются предпринимательские структуры Челябинской области, где коэффициент жизнеспособности в среднем составляет 13,2. Самыми «живучими» являются малые предприятия Курганской области с коэффициентом 18,6.



	Уральский федеральный округ	Курганская область	Свердловская область	Тюменская область	Челябинская область
2022	13,9	13,4	14,0	13,4	14,5
2023	12,7	14,5	11,6	17,1	11,4
2024	14,0	18,6	14,6	13,1	13,6

Рис. 1. Динамика коэффициента жизнеспособности малого бизнеса в регионах УФО, %

Причем, если 4246 предпринимателям Тюменской области в 2024 г. не удается сохранить бизнес, что приводит к снижению коэффициента жизнеспособности в регионе, то в Курганской области в этот период на 10 % предприятий закрывается меньше, чем в предшествующий год. Малый бизнес Свердловской области в анализируемый период демонстрирует утрату жизнеспособности в 2023 г. по сравнению с 2022 г., однако к концу 2024 г. восстанавливает и реализует свой потенциал, достигая значения коэффициента жизнеспособности 14,6.

Выживаемость малого бизнеса определяется различными факторами, а иногда их совокупностью. Так, аналитики отмечают влияние таких факторов, как:

- наличие сотрудников: малый бизнес без наемных работников имеет меньше шансов на выживание;
- использование заемных средств: наличие кредитов выступает предиктором закрытия бизнеса, а не повышения его устойчивости или роста и расширения;
- работа в нескольких регионах: более высокие риски закрытия есть у фирм, которые работают в нескольких регионах;
- ориентированность на клиентов: чаще закрываются фирмы, основным клиентом которых является население, и реже – ориентированные на бизнес или государственные органы;
- управление несколькими бизнесами: это объясняется наличием дополнительных ресурсов, диверсификацией рисков, а также большей гибкостью при возникновении трудностей (вместо закрытия бизнеса можно сократить число точек или сотрудников) [4–6].

Динамика коэффициента жизнеспособности в разных регионах округа за анализируемый период характеризуется ростом его значения в 2024 г., что позволяет предположить о создании в этот период в регионах таких условий, которые позволяют малому бизнесу адаптироваться и выживать в новых условиях.

Исключением является Тюменский регион. В разрезе округов тенденция снижения выживаемости малого бизнеса в 2024 г. зафиксирована во всех областях (см. рис. 2) [3]. Резкое снижение количества активных предприятий на одно «умершее» наблюдается и на юге области и в северных районах. Эксперты объясняют такую динамику высокой эффективностью политики поддержки предпринимательства региональными органами власти. Предполагается, что малые предприятия, укрепившись на рынке, наращивая объемы работ, начинают выходить за пределы критериев малого предпринимательства, трансформируясь в средний бизнес.

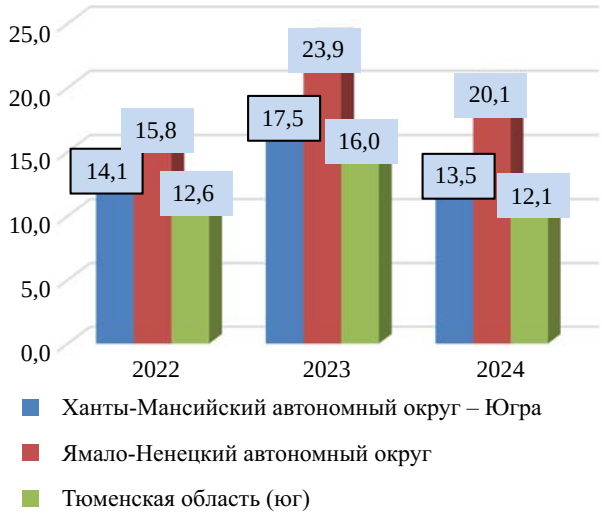


Рис. 2. Динамика коэффициента жизнеспособности малого бизнеса в регионах Тюменской области, %

Однако, это касается «возрастных» малых предприятий, которые на второй-третий год хозяйствования, действительно, проникая на новые рынки посредством новых технологий расширяют сферы бизнеса.

Демография малых предприятий-«новичков» демонстрирует низкую жизнеспособность в новых экономических условиях. Ключевым фактором угасания для них в 2024 г. становится изменение условий кредитования. По данным аналитиков, объем кредитования малого и среднего бизнеса минимальный: средневзвешенные процентные ставки по краткосрочным и долгосрочным кредитам росли по мере повышения ключевой ставки Банка России, что сдерживает спрос на кредитование со стороны субъектов малого бизнеса [7].

Для выявления жизнеспособности малых предприятий целесообразен анализ статистики разновозрастных групп. Предполагается, что у предприятий, функционирующих более двух лет, есть опыт, потенциал и, соответственно, больше шансов выживать в изменяющихся условиях.

Коэффициент жизнеспособности разновозрастного малого бизнеса в регионах УФО представлен в таблице.

Действительно, в целом в УФО малый бизнес в возрасте 3–4 лет более жизнеспособен, чем молодые предпринимательские структуры. Причем, как видно из таблицы, пережившие первый год функционирования предприятия менее «живучие». Можно предположить, что предприниматели чаще закрывают бизнес уже через год функционирования, чем в течение первого года жизни.

Таблица

Коэффициент жизнеспособности разновозрастного малого бизнеса в регионах УФО

Регион	Предприятия малого бизнеса				
	1- летние	2-х летние	3-х летние	4-х летние	5-ти летние
УФО	9,4	7,8	11,0	10,9	11,6
Курганская область	6,6	8,4	15,5	26,1	28,2
Свердловская область	12,6	6,8	10,7	11,0	12,6
Тюменская область	19,7	9,8	12,9	11,1	9,5
Челябинская область	17,5	9,6	13,5	10,9	11,1

Компании, которые не закрылись, имеют больший штат сотрудников, при этом они старше, достигают лучших финансовых результатов, чаще ориентируются на стратегию роста и реже – на стратегию выживания, лучше оценивают динамику окружающей бизнес-среды [8]. Помимо этого, более устойчивы предприятия, которые продвигают свою продукцию в интернете. Это может говорить о том, что сектор онлайн-торговли в целом более устойчив к кризисам, а переход в него может выступать как самостоятельная стратегия адаптации [9].

Региональный анализ жизнеспособности малого бизнеса показал, что курганские предприниматели, например, довольно-таки устойчивы в бизнес-среде региона. Более того, примечательным является факт низкой жизнеспособности молодых предпринимательских структур: на одно умершее предприятие приходится до 7 функционирующих курганских малых предприятий. Однако, чем старше предприятие, тем более «живучим» оно становится. Предприниматели-«пятилетки» демонстрируют «пик» жизнеспособности, когда на одно «умершее» предприятие приходится 28 активно функционирующих бизнеса. Таким образом, можно сделать вывод о специфике курганского бизнеса, который с годами крепнет и расширяется, но остается в пределах критериев малого предпринимательства.

В остальных регионах округа, бизнес, действительно, редко переходит на второй год жизни. Наиболее жизнеспособными являются «предприятия – трехлетки». Так, в экономике Свердловской области функционирует больше «возрастных» малых предприятий: почти 13 предприятий на одно «умершее». Особенностью малого бизнеса области является его низкая «живучесть» на второй год существования: из 13 предприятий в первый год жизни в экономике продолжают функционировать лишь 7 на одно закрывшееся предприятие.

В Челябинском регионе более «живучими» является трехлетний бизнес: на одно «умершее» предприятие приходится 13,5 действующих фирм. В тоже время здесь достаточно высока жизнеспособность и предприятий – «первогодок»: 17,5 молодых компаний на одно закрывшееся в первый год хозяйствования.

Статистически чаще закрываются фирмы, основным клиентом которых является население, и реже – ориентированные на бизнес или государственные органы. Также существенно чаще выживают компании, владелец которых управляет несколькими бизнесами. Аналитики объясняют это наличием дополнительных ресурсов, диверсификацией рисков, а также большей гибкостью при возникновении трудностей (вместо закрытия бизнеса можно сократить число точек или сотрудников).

Тюменский регион отличается высокой «живучестью» бизнеса в первый год функционирования и трехлетний бизнес также является более устойчивым. Характерной особенностью тюменского предпринимательства является его низкая живучесть на пятый год функционирования бизнеса, когда на одно закрывшееся предприятие в регионе приходится всего 9 активных компаний и это самый низкий показатель в Уральском регионе. Такая ситуация подтверждает предположение об укрупнении бизнеса на пятый год его функционирования [10]. Поскольку Тюменская область является сложно структурированным регионом, объединяя два округа и одну область, целесообразным является анализ жизнеспособности малого бизнеса в каждой локации региона.

Примечательным является факт высокой активности создания предприятий малого бизнеса на Ямале (см. рис. 3): в 2024 г. в округе было зарегистрировано 311 новых предприятий при ликвидации 6 компаний. Коэффициент жизнеспособности однолетних компаний здесь составляет 51,8.

В ЯНАО зафиксирован и рост числа предприятий-«долгожителей», по сравнению с другими региона Тюменской области. На юге области, равно как и в Ханты-Мансийском округе, тенденции в жизнеспособности предпринимательства схожие: более «живучи» предприятия трехлетнего возраста, а бизнес постарше сдает позиции, хотя общая благоприятная тенденция превышения активных предприятий над умершими сохраняется.

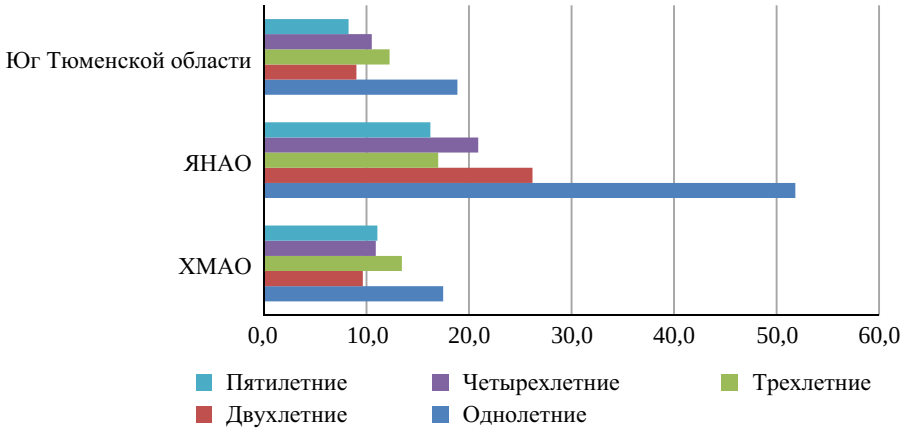


Рис. 3. Коэффициент жизнеспособности разновозрастного малого бизнеса в регионах Тюменской области, %

Долгожителями малого бизнеса являются компании, преодолевшие рубеж двухлетнего возраста. Такие предприятия, приспосабливаясь к изменяющимся условиям, вступают во взаимодействие с крупным и средним бизнесом. Такое сотрудничество предопределяет долгосрочность и относительную стабильность бизнес-процессов в силу большей инерционности хозяйствования крупных структур [10]. Кроме того, на рост числа предприятий-«долгожителей» влияют развитие онлайн-продаж, государственная поддержка малого предпринимательства, а также курс на импортозамещение.

Значительное сокращение числа малых предприятий в Тюменском регионе в возрасте пяти лет подтверждает мнение экспертов об эффективной поддержке бизнеса со стороны региональных органов власти. Во всех областях региона отмечается тенденция укрупнения бизнеса. Малые предприятия, приспособившись к условиям хозяйствования, наращивая обороты и расширяя бизнес, выходят за рамки критериев малого предпринимательства. Такие компании переходят в сектор среднего бизнеса.

Что касается отраслевых факторов, то наиболее стабильными являются торговые компании, предприятия, осуществляющие деятельность в области здравоохранения [11]. Также достаточно живучими являются предприятия, основанные на значительных капиталовложениях и сотрудничающие с реальным сектором: машиностроение, добывающая промышленность, энергетика [7].

Менее стабильными являются предприятия, функционирующие в сфере строительства, рекламной индустрии, небанковском финансовом секторе [6]. Здесь, чаще всего, предприятия закрываются в течение первого года жизни. Эксперты предполагают, что закрытие бизнеса в первые годы жизни не обязательно связано с чисто экономическими причинами: зачастую это закрытие юридического лица с последующим открытием нового. Почти 20 % россиян, которые когда-либо открывали собственное дело, регистрируют более одного юридического лица. 16 % активных предпринимателей – акционеры более чем одного предприятия, 1 % имеют пять и больше компаний.

Темпы роста и развития малых предприятий можно оценить по двум показателям: численность персонала и оборот хозяйствования. По темпам роста бизнеса принято выделять быстрорастущие компании, компании с высоким потенциалом роста и предприятия-мыши. Очевидно, что быстрорастущие компании демонстрируют высокие темпы роста показателей, те из них, которые способны сохранять темпы длительный период, называются предприятиями – газелями. Предприятия-«мыши», как правило, не стремятся к быстрому росту, предпочитая стабильность. Они работают в традиционных секторах экономики и чаще всего не взаимодействуют крупными игроками на рынке.

Как показывает анализ статистической информации, в УФО быстрорастущие малые предприятия по численности занятых сконцентрированы в Свердловской области: 43,6 % от общего числа быстрорастущих компаний в УФО и Тюменском регионе (30 %) (см. рис. 4). Менее всего быстрорастущих малых предприятий функционирует в Курганской области (3 %).

Предприятия с высоким потенциалом роста сосредоточены в индустриальных Свердловской и Тюменской областях. Также много в данных областях и мелких игроков рынка.

В разрезе округов Тюменской области быстрорастущие предприятия по росту численности занятых, предприятия с высоким потенциалом роста сосредоточены на юге области (см. рис. 5). Также здесь работает большое количество предприятий-«мышей». Однако, несмотря на большое их количество, совокупный вклад в региональный продукт таких компаний очень невелик. Экономику юга Тюменской

области, отчасти, развивают «газели», выступающие ключевым генератором экономической активности, создавая более половины новых рабочих мест в регионе. Примечательным является факт отсутствия быстрорастущих по численности персонала «предприятий-газелей» на Ямале. Это свидетельствует о стабильности функционирующего малого предпринимательского сектора в регионе, поскольку в целом по показателю роста численности занятости на малых предприятиях в региональной экономике Ямальского округа малые предприятия демонстрируют незначительные показатели. В ХМАО малые предпринимательские структуры серьезными темпами наращивают создание новых рабочих мест.

Анализ динамики растущих малых предприятий по показателю оборота хозяйствования в УФО подтверждает лидирующие позиции Свердловской и Тюменской областях (см. рис. 6). На территории данных областей наращивают обороты хозяйствования и быстрорастущие компании и прорывные «газели», и предприятия с высоким потенциалом роста.

Основными детерминантами роста малого предпринимательства в данных регионах являются их гибкость. Малый бизнес легко адаптируется к изменениям рынка, видоизменяет бизнес-модели и оптимизирует систему доходов и расходов [7]. Также фиксируется активное участие региональных предпринимателей в закупках для государственных и муниципальных нужд. Такой механизм дает прогнозируемый доход и короткие сроки оплаты, увеличивает объем продаж без расходов на маркетинг и позволяет получить нового клиента на длительный срок.

В частности, в Тюменской области такое активное взаимодействие предпринимателей с местными органами власти, отчасти, обеспечило увеличение оборотов хозяйствования предприятиям ХМАО и юга области (см. рис. 7). Активизация предпринимательской деятельности с созданием новых рабочих мест в регионах являются результатами реализуемой политики широкомасштабной поддержки малого бизнеса, обеспечивающей его высокую жизнеспособность. Большой популярностью у действующих и начинающих предпринимателей пользуются такие меры господдержки как компенсации по договорам лизинга, льготные микрозаймы, гранты, социальные контракты, налоговые льготы.

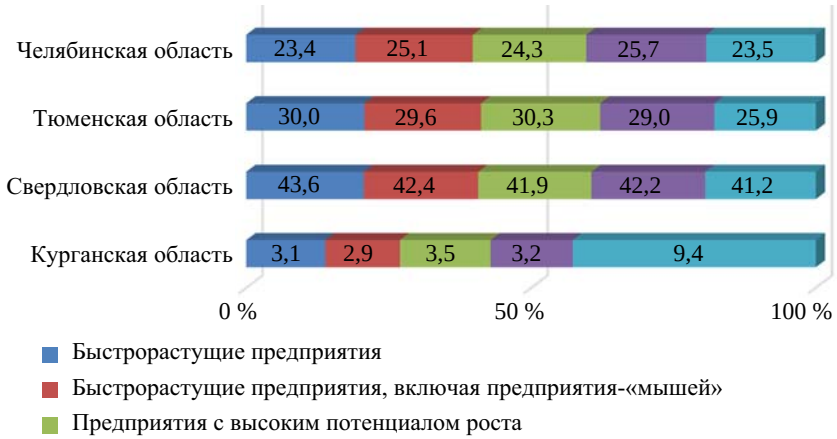


Рис. 4. Оценка роста малых предприятий по численности персонала в регионах УФО, % от общего числа

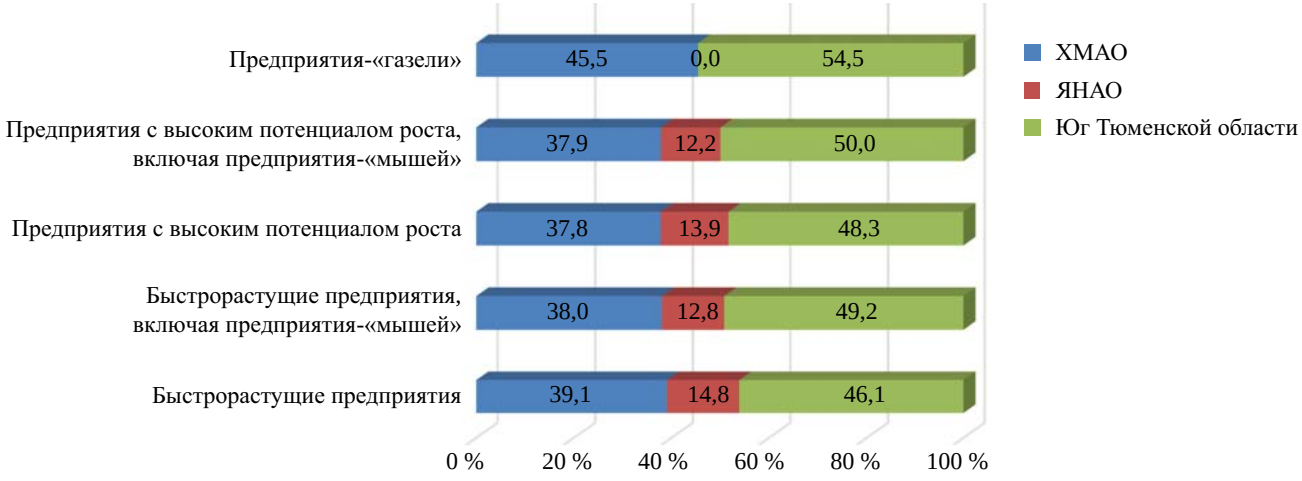


Рис. 5. Оценка роста малых предприятий по численности персонала в регионах Тюменской области, % от общего числа

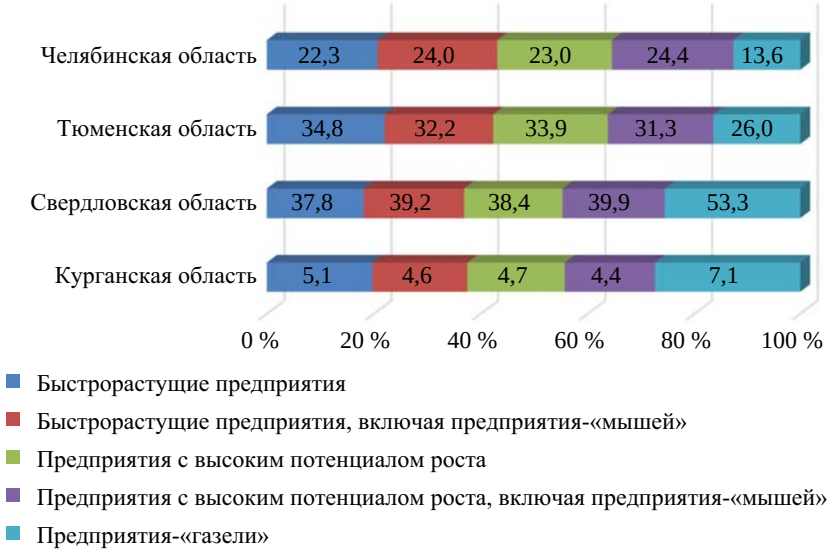


Рис. 6. Оценка роста малых предприятий по обороту в регионах УФО, % от общего числа

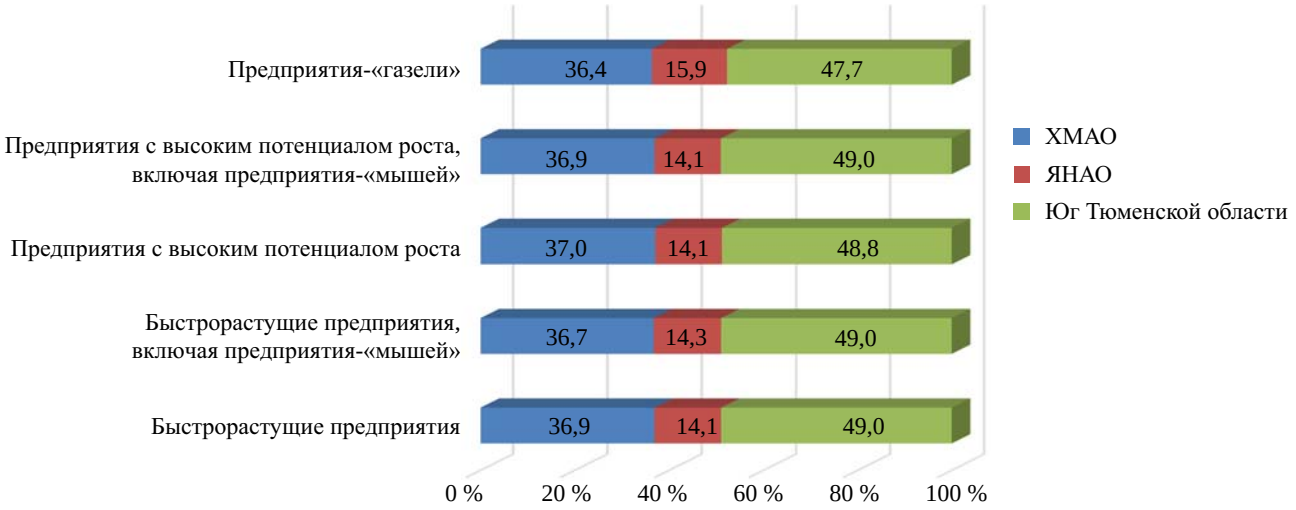


Рис. 7. Оценка роста малых предприятий по обороту в регионах Тюменской области, % от общего числа

Выводы. 1. Ключевыми детерминантами, влияющими на развитие малого бизнеса в УФО, являются:

- географическая удаленность ряда субъектов округа и недостаточное развитие транспортной инфраструктуры – факторы, ограничивающие развитие малого бизнеса;
- ограниченное участие в программах партнерства и государственных закупках. Это связано с недостаточной осведомленностью о мерах поддержки, сложностью процедур и низким уровнем доверия;
- низкая активность в сфере контрактных и тендерных процедур. Причины – высокие требования к участникам, конкуренция с крупными компаниями и недостаток административной и юридической поддержки;
- конкуренция с более привлекательными регионами. Источниками возникновения этой проблемы выступают удаленность от крупных рынков сбыта и неравномерное развитие инфраструктуры;
- низкие ожидания относительно перспектив выпуска продукции и оказания услуг.

2. Однако, выживание малого бизнеса затруднено другим набором факторов, влияние которых в регионе высоко оценивается предпринимателями. Таким факторами риска являются риски, связанные с недостаточной ликвидностью, неустойчивыми доходами, высокими кредитными ставками, долгами и прочими финансовыми проблемами [10].

3. Также существуют проблемы, влияющие на процессы работы самого предприятия: непредвиденные сбои в производстве, снижение качества продукции, потеря ключевых сотрудников. Малый бизнес испытывает затруднения с поставками товаров и комплектующих, особенно из-за рубежа, и это ограничивает ассортимент продукции и повышает ее стоимость

[12]. Для малого бизнеса, который часто работает с ограниченными ресурсами и не имеет таких же рычагов влияния, как крупные корпорации, сбои в цепочках поставок становятся настоящим испытанием.

4. Непредсказуемые задержки, рост цен на сырье и компоненты, а также сложности с поиском надежных поставщиков – все это напрямую влияет на производственные процессы и возможность выполнять заказы [13, 14]. Если нужные им компоненты задерживаются на таможне или вовсе исчезают с рынка, производство останавливается. Это не только приводит к убыткам, но и подрывает репутацию перед клиентами, которые привыкли к своевременному получению качественной продукции.

5. С другой стороны, невозможность получить необходимые материалы вовремя означает, что малый бизнес упускает выгодные заказы и возможности для роста. Пока крупные игроки могут переориентироваться на других поставщиков или нарастить запасы, малый бизнес часто оказывается в тупике.

6. Параллельно с логистическими проблемами, малый бизнес сталкивается с еще одной, не менее болезненной проблемой – утечкой ключевых сотрудников [15]. В условиях экономической нестабильности и растущих требований к условиям труда, опытные и квалифицированные специалисты все чаще ищут более стабильные и высокооплачиваемые места в крупных компаниях.

7. Для малого бизнеса каждый сотрудник – на вес золота. Ключевые специалисты часто обладают уникальными знаниями и навыками, которые невозможно быстро заменить. Их уход означает не только потерю экспертизы, но и необходимость тратить время и ресурсы на поиск, обучение и адаптацию новых людей. Уход одного ценного сотрудника может повлечь за собой цепную реакцию. Остальные могут почувствовать себя менее защищенными, увидеть новые возможности для карьерного роста в других местах или просто устать от постоянной борьбы за выживание бизнеса.

8. Эти проблемы, действуя в связке, создают порочный круг. Трудности с поставками могут привести к снижению прибыли, что, в свою очередь, затрудняет возможность предлагать конкурентные зарплаты и улучшать условия труда, тем самым способствуя оттоку кадров.

Список литературы

1. *Арошидзе А. А., Бобошко Д. Ю., Бондаренко В. С.* и др. Императивы и детерминанты социально-экономического развития России в условиях новой реальности. Самара: ООО НИЦ «Поволжская научная корпорация». 2022. 238 с.

2. *Юсупова А. Т.* Высокотехнологичные компании-лидеры: устойчивость рыночных позиций, отраслевые и региональные особенности // Регион: экономика и социология. 2018. № 3 (95). С. 277–297.

3. *Малый* и средний бизнес в России: статистический бюллетень // Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru.

4. *Моттаева А. Б.* Пути выхода предприятий малого и среднего бизнеса на альтернативные внешние рынки в условиях санкций // КШП. ОМД. 2024. № 10. С. 143–154.

5. *Казун А. П.* С командой и без долгов: факторы выживаемости малого бизнеса в России в 2021–2023 гг. // Вопросы экономики. 2025. № 5. С. 83–110.

6. *Экономисты* назвали «факторы выживаемости» малого бизнеса в России // Forbes. URL: //https://www.forbes.ru/finansy.

7. *Махмудова М. М.* Финансовая безопасность хозяйствующих субъектов как элемент их экономической безопасности (на примере предприятий Тюменского региона) // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2024. № 2. С.171–179.

8. *Свотин С. А.* Актуальные проблемы малого бизнеса в современном мире. // Управление реформированием социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов: мат. XVII Междунар. науч.-практич. конф. преподавателей, аспирантов, студентов и практиков. Пенза: 2025. С. 231–233.

9. *Серебровский М. В., Самотуга В. Н.* Развитие малого предпринимательства в современной России // Экономика и управление. 2025. Т. 31. № 5. С. 613–620.

10. *Махмудова М. М.* Взаимодействие средних и малых бизнес-структур региона с крупными компаниями как форма выживания в сложных экономических условиях. // Научные исследования и разработки. Экономика. 2021. № 2. С. 29–33.

11. *Гусейнов Д. Р., Алексапольский С. В.* Роль малого и среднего бизнеса в экономике Российской Федерации // Управление риском. 2025. № 2 (114). С. 52–57.

12. *Дрокина А. В.* Малый бизнес в условиях инфляции: стратегии управления налоговыми платежами. // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики и образования в современных условиях: мат. XVII Международной научно-практической конференции. М.: 2025. С. 222–228.

13. *Минаков А. В.* Региональные аспекты развития малого и среднего предпринимательства. // Актуальные вопросы права, экономики и управления: мат. VII Всеросс. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Чебоксары: 2025. С. 113–118.

14. *Молдован А. А.* Государственная поддержка малого бизнеса в условиях кризиса в Российской Федерации. // Актуальные проблемы развития социально- экономических систем: мат. 15-й Междунар. науч.-практич. конф., посвященной 80-летию Великой Победы. Курск: 2025. С. 164–168.

15. *Хончев М. А.* Оценка эффективности государственных программ поддержки малого бизнеса в период структурной перестройки экономики: проблемы и перспекти-

вы // Экономическое развитие России. 2025. Т. 32. № 2. С. 182–188.

References

1. Aroshidze A. A., Boboshko D. Yu., Bondarenko V. S. et al. *Imperativy i determinanty social'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii v usloviyah novoj real'nosti* [Imperatives and determinants of socio-economic development of Russia in the context of the new reality]. Samara, Volga Region Scientific Corporation, 2022, 238 p.

2. Yusupova A. T. High-tech leading companies: stability of market positions, industry and regional features. *Region: economics and sociology*, 2018, no. 3 (95), pp. 277–297.

3. Small and medium business in Russia: statistical bulletin. *Rosstat*, available at: https://rosstat.gov.ru.

4. Mottaeva A. B. Ways for small and medium-sized businesses to enter alternative foreign markets in the context of sanctions. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2024, no. 10, pp. 143–154.

5. Kazun A. P. With a team and without debts: factors of small business survival in Russia in 2021–2023. *Voprosy ekonomiki*, 2025, no. 5, pp. 83–110.

6. Economists named the «survival factors» of small business in Russia. *Forbes*, available at : //https://www.forbes.ru/finansy.

7. Makhmudova M. M. Financial security of business entities as an element of their economic security (on the example of enterprises in the Tyumen region). *Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law*, 2024, no. 2, pp. 171–179.

8. Svotin S. A. Actual problems of small business in the modern world. *Management of the reform of socio-economic development of enterprises, industries, regions: proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference of Teachers, graduate students, students and practitioners*. Penza, 2025, pp. 231–233.

9. Serebrovsky M. V., Samotuga V. N. The development of small business in modern Russia. *Economics and management*, 2025, vol. 31, no. 5, pp. 613–620.

10. Makhmudova M. M. Interaction of medium and small business structures of the region with large companies as a form of survival in difficult economic conditions. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki. Ekonomika* [Scientific research and development. Economy], 2021, no. 2, pp. 29–33.

11. Huseynov D. R., Aleksapolsky S. V. The role of small and medium-sized businesses in the economy of the Russian Federation. *Risk management*, 2025, no. 2 (114), pp. 52–57.

12. Drokina A. V. Small business in the context of inflation: tax payment management strategies. *Actual problems and prospects of economic and educational development in modern conditions: proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2025, pp. 222–228.

13. Minakov A. V. Regional aspects of the development of small and medium-sized businesses. *Current issues of law, economics and management: mat. VII All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and Young Scientists with international participation*. Cheboksary, 2025, pp. 113–118.

14. Moldovan A. A. State support for small businesses in the context of the crisis in the Russian Federation. *Actual problems of the development of socio-economic systems: proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Great Victory*. Kursk, 2025, pp. 164–168.

15. Honchev M. A. Evaluation of the effectiveness of government programs to support small businesses during the structural restructuring of the economy: problems and prospects. *Economic development of Russia*, 2025, vol. 32, no. 2, pp. 182–188.

УДК

Л. А. ЕЖОВА, канд. экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: laezhova@fa.ru
L. A. Ezhova (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Разработка модели цифровой зрелости предприятия на основе показателей бизнес-информатики

Developing a digital enterprise maturity model based on business informatics indicators

Проводятся разработка и апробация модели оценки цифровой зрелости предприятия на основе показателей бизнес-информатики. Актуальность темы обусловлена необходимостью системной цифровой трансформации организаций в условиях динамично развивающейся экономики данных и растущей роли информационно-коммуникационных технологий в стратегическом управлении. В исследовании применяется описательно-аналитический подход с элементами моделирования и сравнительного анализа. Выделены ключевые критерии оценки: автоматизация процессов, использование аналитических

платформ, развитие компетенций сотрудников, уровень кибербезопасности и зрелость управленческих решений. Разработанная модель позволяет количественно оценить цифровую зрелость предприятия, выявить узкие места в цифровой инфраструктуре и определить направления дальнейшего развития.

The purpose of this study is to develop and test a model for assessing an enterprise's digital maturity based on business informatics metrics. The relevance of this topic stems from the need for systemic digital transformation of organizations in the context of a dynamically developing data economy and the growing role of information and communication technologies in strategic management. Key assessment criteria are identified based on business informatics metrics: process automation, use of analytical platforms, employee competency development, cybersecurity, and management decision maturity. The developed model enables a quantitative assessment of an enterprise's digital maturity, identification of bottlenecks in the digital infrastructure, and determination of areas for further development.

Ключевые слова: цифровая зрелость; бизнес-информатика; цифровая трансформация; модель оценки.

Keywords: digital maturity; business informatics; digital transformation; assessment model.

В условиях стремительной цифровизации всех сфер экономики понятие «цифровая зрелость предприятия» становится ключевым инструментом оценки эффективности трансформационных процессов. Современные компании функционируют в среде, где конкурентоспособность напрямую зависит от уровня внедрения цифровых технологий, способности анализировать большие данные и адаптироваться к изменениям технологического контекста. В этой связи особую роль приобретает бизнес-информатика как область, объединяющая управленческие, экономические и технологические подходы к построению цифровых экосистем.

Развитие цифровых технологий привело к тому, что предприятия перестают восприниматься исключительно как экономические субъекты, оперирующие традиционными ресурсами. Сегодня организация рассматривается как сложная информационно-коммуникационная система, функционирующая в динамичной цифровой среде, где данные становятся основным стратегическим активом. Управление такими системами требует не только внедрения технологий, но и развития цифрового мышления, компетенций и культуры. Именно поэтому исследование цифровой зрелости предприятия приобретает особую значимость в теоретическом и прикладном аспектах.

Проблема и вопросы исследования

Несмотря на многочисленные инициативы в области цифровой трансформации, значительная часть российских предприятий сталкивается с проблемой фрагментарности цифровизации [1]. Внедрение отдельных IT-решений не всегда приводит к росту эффективности или устойчивому развитию бизнеса. Отсутствие комплексной оценки уровня цифровой зрелости не позволяет компаниям выстраивать стратегию перехода к более высоким уровням цифровой интеграции [2]. В то же время зарубежный опыт демонстрирует, что системные подходы к измерению цифровой зрелости позволяют оптимизировать управление ресурсами, ускорить инновационные процессы и повысить адаптивность к внешним вызовам.

Таким образом, возникает необходимость в разработке модели цифровой зрелости предприятия, которая бы опиралась на показатели бизнес-информатики как на объективные метрики цифровой трансформации. Исследование призвано ответить на следующие вопросы:

Исследовательские вопросы:

1. Какие показатели бизнес-информатики наиболее точно отражают уровень цифровой зрелости предприятия?

2. Каким образом можно интегрировать эти показатели в единую оценочную шкалу или матрицу?

3. Как разработанная модель может быть применена на практике для диагностики и стратегического управления цифровым развитием предприятия?

Цель данной работы – разработка и теоретико-методологическое обоснование модели цифровой зрелости предприятия на основе показателей бизнес-информатики.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие подходы к оценке цифровой зрелости организаций в отечественной и зарубежной практике.

2. Определить ключевые индикаторы бизнес-информатики, характеризующие уровень цифровой интеграции предприятия.

3. Разработать многоуровневую модель цифровой зрелости, отражающую взаимосвязь технологических, организационных и управленческих аспектов.

4. Оценить возможности практического применения модели в российских компаниях различных отраслей.

Научная значимость:

- работа вносит вклад в развитие теоретических основ бизнес-информатики и цифровой экономики, предлагая новый методический подход к оценке цифровой зрелости предприятий;
- предложенная модель сочетает системный и процессный подходы, что позволяет рассматривать цифровую трансформацию не как разовый проект, а как непрерывный процесс развития организации;
- исследование также способствует уточнению понятийного аппарата в области цифровой зрелости и бизнес-информатики, что особенно актуально в условиях быстрой смены технологий и управленческих парадигм.

Практическая значимость:

- практическая ценность исследования заключается в возможности использования разработанной модели предприятиями для диагностики текущего состояния цифровой зрелости и планирования стратегических направлений развития;
- модель может служить инструментом для оценки эффективности цифровых инвестиций, внедрения инноваций и формирования корпоративной цифровой культуры;
- результаты исследования могут быть полезны государственным органам, формирующим политику цифрового развития, а также образовательным учреждениям при разработке программ подготовки специалистов в области цифровой экономики.

Основные переменные исследования

Для достижения вышеупомянутых целей данная работа разделена на несколько основных разделов:

Понятие цифровой зрелости предприятия

Цифровая зрелость предприятия определяется как совокупность характеристик, отражающих способность организации использовать цифровые технологии для достижения стратегических, операционных и инновационных целей. В отличие от простого внедрения IT-решений, цифровая зрелость представляет собой интегративную категорию, включающую в себя технологические, организационные, кадровые и культурные параметры.

Современные исследования показывают, что цифровая зрелость – это не статичное состояние, а процесс поступательного развития, при котором предприятие проходит последовательные стадии адаптации к цифровой среде. На ранних этапах внимание концентрируется на автоматизации отдельных функций, тогда как на более высоких уровнях акцент смещается на создание цифровых экосистем, интеграцию данных и предиктивную аналитику. Таким образом, цифровая зрелость отражает не только наличие технологий, но и степень их осознанного и стратегического применения.

Показатели бизнес-информатики как основа модели цифровой зрелости

Бизнес-информатика, будучи междисциплинарной областью, объединяет элементы менеджмента, экономики и информационных технологий. В контексте оценки цифровой зрелости предприятия она выступает источником измеримых показателей, позволяющих определить степень цифровой интеграции [3].

Ключевые индикаторы бизнес-информатики включают:

- уровень автоматизации бизнес-процессов;
- долю цифровых каналов взаимодействия с клиентами;
- зрелость *IT*-инфраструктуры (модульность, облачные решения, кибербезопасность);
- показатели эффективности цифровых инвестиций (*ROI*, *TCO*, *IT-Value Index*);
- степень интеграции данных и аналитических систем;
- уровень цифровой компетентности персонала.

На основе этих параметров формируется шкала, позволяющая оценивать цифровую зрелость по пяти основным уровням: от базового (цифровая фрагментарность) до продвинутого (цифровая экосистемность) [4].

Сущность научного исследования

Предлагаемая модель цифровой зрелости представляет собой многоуровневую матрицу, в которой каждая ось отражает определенное направление цифровой интеграции: технологическое, управленческое, организационное и культурное.

На технологическом уровне оценивается степень внедрения инновационных решений: от базовой автоматизации до использования искусственного интеллекта и больших данных. Управленческий уровень характеризуется наличием цифровой стратегии, интеграцией цифровых *KPI* в систему корпоративного управления и наличием цифровых компетенций у руководства. Организационный уровень связан с гибкостью бизнес-процессов, скоростью принятия решений и эффективностью коммуникационных каналов. Культурный уровень – готовность персонала

к изменениям, открытостью инновациям и формированием цифрового мышления [5].

Модель строится на принципе «цифровой континуальности» или постепенного движения предприятия от фрагментарного использования технологий к целостной цифровой экосистеме.

Этапы цифрового развития предприятия

Исходя из анализа практики российских и зарубежных компаний, можно выделить пять основных этапов цифровой зрелости:

1. Аналоговый этап – минимальная автоматизация, отсутствие цифровой стратегии.

2. Функциональная цифровизация – внедрение отдельных цифровых решений, локальная автоматизация.

3. Интегрированный уровень – объединение цифровых процессов в единую систему, развитие аналитики.

4. Управляемая цифровизация – цифровая стратегия становится частью корпоративного управления, используются данные для прогнозирования и оптимизации.

5. Цифровая экосистема – компания функционирует как гибкая цифровая сеть, основанная на синергии технологий, данных и человеческого капитала.

Для каждой стадии определяются количественные и качественные индикаторы, позволяющие объективно измерить уровень зрелости.

Методологические принципы построения модели

Основу методологического подхода составляют следующие принципы:

1. Системность – цифровая зрелость рассматривается как совокупность взаимосвязанных компонентов (технологического, организационного, человеческого, процессного).

2. Измеримость – все параметры цифровой зрелости должны быть представлены в количественных показателях, что позволяет проводить мониторинг динамики.

3. Сравнимость – модель должна позволять проводить бенчмаркинг между предприятиями одной отрасли.

4. Эволюционность – цифровая зрелость рассматривается как процесс постепенного роста компетенций, а не как статическое состояние [6].

Структура модели цифровой зрелости

Модель разработана в виде матричной структуры, включающей 5 ключевых измерений и 5 уровней зрелости, отражающих постепенное развитие предприятия (см. табл. 1, 2).

Таблица 1

Измерения цифровой зрелости предприятия

Измерение	Краткое содержание	Показатели оценки
Технологическая инфраструктура	Уровень автоматизации, интеграция ИТ-систем, наличие облачных решений	Доля автоматизированных процессов, %; наличие *ERP*, *CRM*, *BI*-систем
Данные и аналитика	Способность предприятия использовать данные для принятия решений	Наличие единого хранилища данных, уровень аналитической зрелости
Процессы и управление	Цифровизация управленческих и операционных процессов	Доля цифровых процессов, наличие процессной модели *BPM*
Организационная культура и компетенции	Готовность персонала к изменениям, цифровые навыки, инновационная культура	Индекс цифровых компетенций персонала, % участия в обучении
Цифровое взаимодействие с клиентами и партнерами	Цифровые каналы коммуникации, *CRM*-аналитика, онлайн-сервисы	Доля цифровых каналов продаж, уровень персонализации

Таблица 2

Уровни цифровой зрелости предприятия

Уровень	Наименование	Характристика
1	Начальный (Аналоговый)	Использование ИТ ограничено базовыми офисными задачами. Отсутствует единая стратегия цифровизации.
2	Фрагментарный (Инструментальный)	Отдельные цифровые решения применяются без интеграции. Отсутствует аналитика данных.
3	Системный (Процессный)	Сформирована стратегия цифрового развития, внедрены *ERP*/*CRM*, начата автоматизация ключевых процессов.
4	Интегрированный (Аналитический)	Процессы объединены в единую цифровую экосистему, развита аналитика данных, принятие решений основано на данных.
5	Интеллектуальный (Предиктивный)	Применяются ИИ, машинное обучение, цифровые двойники. Бизнес-модели гибко адаптируются под изменения среды.

Алгоритм построения модели

1. Определение показателей. Отобраны 25 метрик цифровой зрелости, сгруппированные по пяти измерениям.

2. Нормализация данных. Для сопоставимости значений использована шкала от 0 до 1.

3. Расчет интегрального индекса цифровой зрелости (ИЦЗ), показанный в табл. 3:

$$\text{ИЦЗ} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} w_i x_i.$$

ИЦЗ = 0,56 соответствует третьему уровню цифровой зрелости (Системный).

На основе проведенного анализа сформирована матричная модель цифровой зрелости предприятия (МЦЗП). Она объединяет оси «Измерения бизнес-информатики» и «Этапы цифровой эволюции» и служит инструментом диагностики и планирования цифрового развития (см. табл. 4).

Таблица 3

Пример расчета ИЦЗ для условного предприятия

Измерение	Вес w_i	Балл x_i	Взвешенное значение
Технологическая инфраструктура	0,25	0,6	0,15
Данные и аналитики	0,2	0,45	0,09
Процессы и управление	0,2	0,7	0,14
Организационная культура	0,15	0,55	0,08
Цифровое взаимодействие	0,2	0,5	0,1
Итоги ИЦЗ	0,56		

Предприятие с преобладающим уровнем «Системный» (уровень 3) в большинстве измерений может быть отнесено к стадии операционной цифровизации, при которой ИТ-технологии уже поддерживают бизнес-процессы, но еще не выступают драйвером инноваций. Достижение уровня 5 предполагает переход к стратегической цифровизации, когда цифровые инструменты становятся частью управленческой ДНК организации.

Для определения взаимосвязи между измерениями цифровой зрелости использован метод корреляционного анализа (коэффициент Спирмена) (см. табл. 5).

Цифровая зрелость предприятия растет нелинейно; ускоряющий эффект возникает при синергии технологической и культурной зрелости. Без развитой организационной культуры даже наличие современных ИТ-инструментов не обеспечивает переход к уровням 4–5.

Предложенная модель цифровой зрелости отличается от существующих подходов тремя аспектами:

- интеграцией бизнес-информатики как методологической основы: цифровая зрелость рассматривается не только как технологическая, но и как управленческая категория;
- динамическим характером модели: шкала отражает не статичные уровни, а траекторию цифровой эволюции организации;
- адаптацией к российским условиям: учитываются барьеры внедрения ИТ (финансовые, кадровые, регуляторные) и роль государственного участия в трансформации [7].

Таким образом, разработанная МЦЗП может использоваться:

- для внутренней диагностики уровня цифровой готовности;
- при формировании дорожных карт цифровой трансформации;
- в образовательных и консалтинговых проектах по бизнес-информатике;
- для государственного мониторинга цифровизации отраслей экономики.

Таблица 4

Матрица цифровой зрелости предприятия (МЦЗП)

Измерение / Уровень	1. Аналоговый	2. Инструментальный	3. Системный	4. Интегрированный	5. Интеллектуальный
Технологическая инфраструктура	Изолированные ИТ-средства	Базовая автоматизация	*ERP*, *CRM*, *BI* внедрены	Интеграция платформ	*IoT*, облака, предиктивная аналитика
Данные и аналитика	Отчеты в *Excel*	Оперативная статистика	*BI*-системы	Аналитика в реальном времени	Искусственный интеллект, *Big Data*
Процессы и управление	Ручное управление	Автоматизация отдельных операций	Процессное управление	*BPM* и *KPI*-системы	Автоматизированные решения на базе *AI*
Организационная культура	Скепсис к цифровизации	Обучение ключевых сотрудников	Формирование проектных команд	Корпоративная цифровая культура	Самообучающаяся организация
Взаимодействие с клиентами	Оффлайн-коммуникации	Цифровые каналы продаж	*CRM*-интеграция	Персонализированные предложения	Предиктивные клиентские модели

Таблица 5

Уровни цифровой зрелости предприятия

Параметр	Коэффициент корреляции ρ	Интерпретация
Инфраструктура ↔ Аналитика	0,84	Сильная прямая зависимость
Процессы ↔ Культура	0,78	Средне-сильная зависимость
Аналитика ↔ Взаимодействие с клиентами	0,81	Высокая взаимосвязь
Культура ↔ Инфраструктура	0,69	Умеренная взаимосвязь

Выводы. 1. Проведенное исследование позволяет сформировать авторскую модель оценки цифровой зрелости предприятия, основанную на интеграции показателей бизнес-информатики. Разработанная шкала демонстрирует универсальность в применении и может адаптироваться под различные отрасли и уровни цифрового развития организации.

2. Результаты анализа показывают, что цифровая зрелость напрямую связана не только с уровнем внедрения ИТ-технологий, но и с управленческой культурой, скоростью обмена данными и готовностью персонала к изменениям. Это позволяет рассматривать цифровизацию не как изолированный процесс автоматизации, а как комплексную трансформацию всех бизнес-процессов.

3. Предложенная модель может служить инструментом стратегического планирования и самооценки: с ее помощью предприятие способно определить текущую стадию цифрового развития, выявить «узкие места» и выстроить приоритеты дальнейшей цифровой трансформации.

Список литературы

1. *Пузанова И. А.* Ключевые элементы цифровой трансформации бизнеса // Russian journal of management. 2023. № 2. С. 160–174.

2. *Золкин А. Л., Васяйчева С. А., Новиков А. А.* Актуальные вопросы оценки и повышения цифровой зрелости российских предприятий // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2024. № 15 (2). С. 218–229.

3. *Смердова Д. В., Бурцев Д. С.* Методика оценки уровня готовности розничной торговли в России к процессу цифровой трансформации // Экономика. Право. Инновации. 2024. № 3. С. 19–29.

4. *Сорока Д. О., Горкальцев В. С., Карлова Т. В.* Оценка уровня цифровой зрелости предприятия как один из важных факторов в цифровой трансформации // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2023. № 3 (21). С. 80–88.

5. *Хоменко Е. Б., Ватутина Л. А., Злобина Е. Ю.* Современные тенденции цифровой трансформации промышленных предприятий // Вестник удмуртского университета. Серия экономика и право. 2022. № 4. С. 676–682.

6. *Мусина Д. Р., Ганиева М. Р.* Цифровая зрелость отрасли и предприятия: понятие и методы оценки // Human progress. 2024. Т. 10. № 4.

7. *Идрисов А. Э., Шинкевич А. И.* Роль цифровой трансформации в обеспечении уровня технологического развития отраслей и предприятий // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2024. № 15 (3). С. 126–134.

References

1. Puzyanova I. A. Key elements of digital business transformation. *Russian journal of management*, 2023, no. 2, pp. 160–174.

2. Zolkin A. L., Vasyacheva S. A., Novikov A. A. Current issues of assessing and improving the digital maturity of Russian enterprises. *Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2024, no. 15 (2), pp. 218–229.

3. Smerdova D. V., Burtsev D. S. Methodology for assessing the level of retail readiness in Russia for the digital transformation process. *Economy. Law. Innovations*, 2024, no. 3, pp. 19–29.

4. Soroka D. O., Gorkal'tsev V. S., Karlova T. V. Assessing the level of digital maturity of an enterprise as one of the important factors in digital transformation. *Automation and modeling in design and management*, 2023, no. 3 (21), pp. 80–88.

5. Khomenko E. B., Vatutina L. A., Zlobina E. Yu. Current trends in digital transformation of industrial enterprises. *Bulletin of Udmurt University. Series: Economics and Law*, 2022, no. 4, pp. 676–682.

6. Musina D. R., Ganieva M. R. Digital maturity of an industry and an enterprise: concept and assessment methods. *Human progress*, 2024, vol. 10, no. 4.

7. Idrisov A. E., Shinkevich A. I. The role of digital transformation in ensuring the level of technological development of industries and enterprises. *Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2024, no. 15 (3), pp. 126–134.

УДК 339.17

Д. Е. МОРКОВКИН, канд. экономич. наук, А. В. КОЖАРИНОВ, канд. экономич. наук, Н. А. НАЗАРОВА, канд. экономич. наук, С. А. СЕРГЕЕВ (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); Е. Н. ПЯТШЕВА, канд. экономич. наук (Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва); Ш. НИЯЗБЕКОВА, канд. экономич. наук (Московский университет имени С. Ю. Витте, г. Москва)

E-mail:

D. E. Morkovkin, A. V. Kozharinov, N. A. Nazarova, S. A. Sergeev (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); E. N. Pyatsheva (Russian State University for the Humanities, Moscow); Sh. Niyazbekova (Moscow Witte University, Moscow)

Методологические основы формирования и развития рынков промышленной продукции в условиях трансформации глобальных цепочек добавленной стоимости

Methodological foundations of the formation and development of industrial product markets in the context of the transformation of global value chains

Разрабатывается методологический инструментарий анализа и прогнозирования развития промышленных рынков, интегрирующего ресурсный, институциональный и динамический подходы. Предложенная авторская концепция позволяет систематизировать ключевые факторы конкурентоспособности промышленных предприятий в контексте современных трендов развития мирового хозяйства, включая цифровую трансформацию, экологизацию производства и технологические инновации.

The development of methodological tools for analyzing and forecasting the development of industrial markets, integrating resource, institutional and dynamic approaches, is of particular importance. The proposed concept of the author makes it possible to systematize the key factors of competitiveness of industrial enterprises in the context of modern trends in the development of the global economy, including digital transformation, greening of production and technological innovations.

Ключевые слова: промышленные рынки; глобальные цепочки создания стоимости; промышленная политика; технологические инновации; цифровизация; экологизация; ресурсный подход; динамические способности.

Keywords: industrial markets; global value chains; industrial policy; technological innovations; digitalization; greening; resource approach; dynamic abilities.

Актуальность исследования обусловлена коренными изменениями, происходящими в структуре и динамике промышленных рынков под влиянием трансформации глобальных цепочек добавленной стоимости (ГЦДС). Развитие процессов глобализации, либерализация торговли, ускорение научно-технического прогресса привели к радикальному усложнению архитектуры ГЦДС, охватывающих все стадии производственного цикла от НИОКР до послепродажного обслуживания [1]. Новые бизнес-модели, основанные на глобальном аутсорсинге, кооперации, сетевом взаимодействии, кардинально меняют конфигурацию промышленных рынков, открывая новые возможности для интеграции в ГЦСС развивающихся стран [2].

Вместе с тем последние годы характеризуются нарастанием турбулентности мировой экономики, связанной с торговыми войнами, геополитическими конфликтами, пандемией *COVID-19*, что ведет к частичной фрагментации и регионализации ГЦДС [3]. Переход к низкоуглеродной экономике, цифровизация, роботизация производства формируют новые вызовы для участников промышленных рынков, требуя ускоренной адаптации бизнес-процессов к меняющимся условиям [4].

Все вышеперечисленное актуализирует необходимость переосмысления теоретико-методологических

основ исследования промышленных рынков с учетом современных реалий, разработки новых подходов к анализу факторов их развития в контексте трансформации ГЦДС. Несмотря на значительный массив научных публикаций по проблематике ГЦДС, вопросы влияния их эволюции на структурные параметры промышленных рынков остаются недостаточно разработанными. Существующие методологические подходы слабо учитывают отраслевую и страновую специфику, носят преимущественно статический характер, не в полной мере раскрывают механизмы встраивания в ГЦДС.

Цель данной работы – развитие методологических основ анализа процессов формирования и развития промышленных рынков в условиях трансформации глобальных цепочек создания стоимости.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- исследовать эволюцию научных представлений о сущности и детерминантах развития промышленных рынков;
- выявить специфику функционирования промышленных рынков в контексте современных трендов развития мирового хозяйства;
- систематизировать ключевые факторы конкурентоспособности промышленных предприятий в условиях трансформации ГЦДС;
- разработать концептуальные основы развития промышленных рынков с учетом структурных сдвигов в ГЦДС;
- сформировать методологический инструментарий анализа и прогнозирования развития промышленных рынков в новых условиях.

Объектом исследования выступают промышленные рынки, предметом – организационно-экономические отношения, возникающие в процессе формирования и развития промышленных рынков в условиях трансформации ГЦДС. Теоретико-методологическую основу исследования составляют фундаментальные положения теории отраслевых рынков, пространственной и эволюционной экономики, концепции ГЦДС, кластеров, инновационных систем. В процессе исследования применялись общенаучные методы системного, логического, структурного, функционального анализа, а также специальные методы форсайтинга, процессного и агентного моделирования, многомерной классификации.

Методы и материалы исследования

Методологическую основу исследования составляет институциональный подход к анализу развития промышленных рынков в условиях трансформации глобальных цепочек создания стоимости. В работе применяется комплекс общенаучных и специальных методов: системный анализ, статистические методы, сравнительный анализ, экономико-математическое моделирование.

Теоретическую базу исследования составляют фундаментальные положения теории отраслевых рынков, пространственной и эволюционной экономики, концепции глобальных цепочек создания стоимости, кластеров и инновационных систем. Особое внимание было уделено научным работам ведущих зарубежных и отечественных исследователей в области промышленных рынков и ГЦДС.

В числе зарубежных авторов следует отметить работы [1–3], посвященные исследованию конкурентных преимуществ и трансформации цепочек создания стоимости в глобальной экономике. Среди российских ученых существенный вклад в развитие методологии анализа промышленных рынков вносят исследования [4–7].

Информационно-эмпирическую базу исследования составляют: данные государственной статистики (Росстат, ФТС России); аналитические материалы международных организаций (ЮНКТАД, ОЭСР, ВТО); отчеты консалтинговых компаний (*McKinsey*, *BCG*, *PWC*); материалы отраслевых ассоциаций и объединений; корпоративная отчетность промышленных компаний.

В ходе исследования используются современные программные средства обработки и анализа данных, включая статистические пакеты, системы бизнес-аналитики и инструменты визуализации. Для анализа больших массивов неструктурированной информации применялись методы интеллектуального анализа текстов и машинного обучения.

Результаты исследования и их обсуждение

Промышленный рынок представляет собой сложную социально-экономическую систему, в рамках которой взаимодействуют производители промышленной продукции (средств производства) и ее потребители – промышленные предприятия, использующие ее в собственном производственном процессе. В отличие от потребительских рынков, на промышленных рынках сделки носят, как правило, более крупный, долгосрочный и индивидуализированный характер, а процесс принятия решения о покупке включает множество этапов и участников [5].

Промышленные рынки характеризуются рядом специфических черт, в числе которых: производный характер спроса; ограниченное число покупателей; высокая степень взаимозависимости продавцов и покупателей; географическая концентрация; значительный объем сделок; высокая волатильность

спроса; длительность производственного цикла; высокие издержки переключения; прямые продажи [6]. Комплексный учет этой специфики требует использования особых методологических подходов к анализу промышленных рынков.

Развитие методологии исследования промышленных рынков прошло несколько этапов, обусловленных сменой научных парадигм и трансформацией социально-экономических отношений (см. табл. 1).

Как видно из табл. 1, смена доминирующих концепций происходит под влиянием радикальных технологических и социальных сдвигов, менявших структуру и механизмы функционирования промышленных рынков. Неоклассическая парадигма, абстрагировавшаяся от несовершенств рынка, сменяется институциональной, фокусирующейся на коллективных действиях экономических агентов. Ее развитием становится эволюционный подход, акцентирующий внимание на роли инноваций и исторической обусловленности рыночной динамики.

Переход к постиндустриальному обществу актуализирует сетевую концепцию, трактующую рынки как пространство межфирменных взаимодействий по созданию потребительской ценности. Современный этап характеризуется становлением цифровой парадигмы, связанной с радикальным изменением бизнес-моделей и механизмов рыночной координации на основе цифровых платформ, обработки больших данных, применения методов искусственного интеллекта [7].

В рамках данной парадигмы промышленный рынок предстает как мультиагентная система, базирующаяся на потоках данных и алгоритмах координации в реальном времени [8]. Размываются традиционные границы между производителями и потребителями, формируются коллаборативные сети, интегрирующие цепочки поставок. Ключевым трендом становится сервитизация промышленности – переход от продажи товаров к предоставлению комплексных решений на основе цифровых сервисов [9].

Таким образом, современный промышленный рынок представляет собой динамичную систему экономических отношений, функционирующую на основе совокупности формальных и неформальных институтов, технологических и организационных инноваций, воплощенных в архитектуре ГЦДС. Эффективное развитие российских промышленных рынков требует учета этих трендов при разработке и реализации промышленной политики.

Ключевыми трендами, определяющими облик современных промышленных рынков, выступают:

1. Усложнение архитектуры ГЦДС. Классические линейные цепочки уступают место сложным сетевым структурам с множеством узлов и обратных связей. Стираются отраслевые границы, интенсифицируются межотраслевые взаимодействия, формируются крупные инновационные экосистемы [2].

2. Сокращение жизненного цикла продукции. Ускорение НТП ведет к частому обновлению ассортимента, быстрому моральному устареванию продуктов и технологий. Участники рынка должны непрерывно адаптироваться к меняющимся требованиям потребителей. [10].

3. Цифровизация цепочек создания стоимости. Интеграция киберфизических систем в производственные и логистические процессы коренным образом меняет бизнес-модели промышленных компаний. Формируются «умные фабрики» нового поколения, базирующиеся на технологиях промышленного интернета вещей, предиктивной аналитике, аддитивном производстве [11].

Таблица 1

Эволюция научных представлений о сущности и детерминантах развития промышленных рынков

Этап	Период	Представители	Ключевые идеи
Неоклассический	1870–1930 гг.	А. Маршалл, А. Курно, У. Джевонс	Совершенная конкуренция; гомогенность продукта; свободный вход на рынок; рациональный эгоистичный homo economicus
Институциональный	1930–1960 гг.	Т. Веблен, Дж. Коммонс, У. Митчелл	Несовершенная конкуренция; органические институты рынка; коллективные действия; технологические изменения
Эволюционный	1970–1990 гг.	Й. Шумпетер, Р. Нельсон, С. Уинтер	Инновации как драйвер развития; динамическая эффективность; рутины и динамические способности фирм; зависимость от пути развития
Сетевой	1990–2010 гг.	М. Кастельс, Дж. Подольны, К. Прахалад	Сетевая организация рынков; знание как ключевой ресурс; межфирменные сети создания ценности; кластеры и экосистемы
Цифровой	2010–н.в.	К. Шваб, Дж. Рифкин, К. Келли	Цифровизация бизнес-моделей; платформенные рынки; предиктивная аналитика спроса; массовая кастомизация; совместное создание ценности

4. Переход к циркулярной экономике. Ужесточение экологических требований стимулирует промышленные предприятия к более рациональному использованию ресурсов, минимизации отходов, расширению вторичного использования материалов. Развиваются возвратные цепочки поставок, бизнес-модели продукта как услуги. [12].

5. Трансформация глобальных производственных сетей. Повышение волатильности рынков, геополитические риски, протекционизм ведут к частичной регионализации и решорингу цепочек поставок. При этом усиливается межфирменная кооперация, распространяются гибридные формы координации, сочетающие элементы иерархии и рынка [13].

6. Возрастание роли нематериальных активов. В условиях экономики знаний ключевыми факторами конкурентоспособности становятся нематериальные ресурсы – технологии, бренды, компетенции, отношения с клиентами. Все большая часть стоимости создается за счет НИОКР, дизайна, маркетинга, сервисного обслуживания [14].

7. Индивидуализация потребностей клиентов. Развитие цифровых технологий позволяет точнее идентифицировать запросы потребителей и предлагать им кастомизированные решения. Производители активно вовлекают клиентов в процесс совместного создания ценности, используя краудсорсинг, платформы открытых инноваций [15].

Указанные тренды формируют новый ландшафт промышленных рынков, характеризующийся высокой неопределенностью, динамизмом, размыванием традиционных границ. Конкурентоспособность предприятий все больше зависит от их способности быстро реконфигурировать бизнес-процессы и компетенции в соответствии с меняющимися требованиями ГЦДС. На первый план выходят динамические способности [16], позволяющие своевременно идентифицировать рыночные и технологические тренды, экспериментировать с новыми бизнес-моделями, выстраивать стратегические альянсы.

Систематизация ключевых факторов конкурентоспособности промышленных предприятий в новых условиях представлена в таблице 2.

Как видно из табл. 2, в число ключевых факторов входят: эффективное позиционирование в ГЦДС; адаптивность бизнес-моделей; проактивность инновационной стратегии; динамические способности; цифровизация процессов; переход к «умному» производству; кастомизация предложений; открытые инновации; взаимодействие с клиентами; междисциплинарные компетенции.

Учет этих факторов требует пересмотра традиционных подходов к разработке промышленной политики. На смену отраслевым приоритетам приходит задача формирования инновационных экосистем, стимулирующих диверсификацию экономики и интеграцию в ГЦДС [17]. Усиливается акцент на развитие человеческого капитала, поддержку технологических стартапов, цифровую трансформацию бизнес-процессов. Государство все чаще выступает как координатор и соинвестор долгосрочных проектов, реализуемых на основе государственно-частного партнерства [18].

Таблица 2

Ключевые факторы конкурентоспособности промышленных предприятий в условиях трансформации ГЦДС

Группа факторов	Факторы
Стратегические	• Четкое позиционирование в ГЦДС
	• Гибкие и адаптивные бизнес-модели
	• Проактивная инновационная стратегия
	• Развитие динамических способностей
	• Эффективное управление альянсами и сетями
Технологические	• Цифровизация бизнес-процессов
	• Переход к «умному» производству
	• Быстрое прототипирование и вывод продуктов
	• Кастомизация и сервитизация предложений
	• Экологичность технологий и продуктов
Организационные	• Развитие внутреннего предпринимательства
	• Формирование *agile*-команд
	• Совместное создание инноваций с партнерами
	• Открытые платформенные бизнес-модели
	• Интеграция в инновационные экосистемы
Маркетинговые	• Глубокое понимание потребностей клиентов
	• Многоканальные модели взаимодействия
	• Цифровой маркетинг и предиктивная аналитика
	• Минимизация времени ожидания клиентов
	• Совместное создание ценности с клиентами
Компетентностные	• Междисциплинарные компетенции персонала
	• Инновационная и предпринимательская культура
	• Непрерывное обучение и обмен знаниями
	• Цифровые компетенции и аналитика данных
	• Привлечение талантов на глобальном рынке

Особое значение приобретает региональный уровень промышленной политики, обеспечивающий учет локальной специфики и более тесное взаимодействие стейкхолдеров [19]. Мировой опыт свидетельствует об эффективности кластерных инициатив, объединяющих усилия бизнеса, науки и государства для ускорения инноваций и выхода на глобальные

рынки. Примерами могут служить суперкластеры в Канаде [20], *catapults* в Великобритании [21], полюса конкурентоспособности во Франции [22].

Реализация подобных инициатив в российской промышленности требует развития методологии исследования промышленных рынков с учетом трансформации ГЦСС. В следующих разделах предлагается концептуальная модель развития промышленных рынков и инструментарий их анализа.

Предлагаемый концептуальный подход к исследованию промышленных рынков основан на синтезе положений теории отраслевых рынков, ресурсной концепции, институциональной экономики и эволюционного подхода. В его основе лежит представление о промышленном рынке как динамической системе экономических отношений между производителями и потребителями промышленной продукции, развивающейся в определенной институциональной среде под влиянием технологических, организационных и маркетинговых инноваций (см. рисунок).

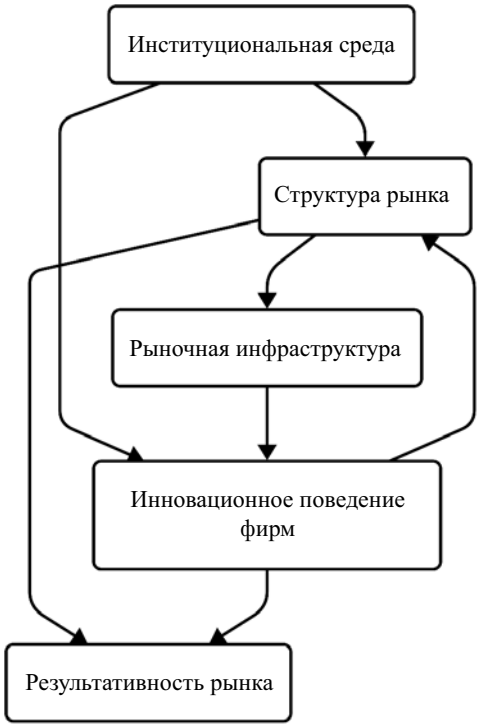


Рисунок. Концептуальная модель развития промышленного рынка

Институциональная среда, включающая формальные и неформальные нормы и правила (права собственности, барьеры входа, антимонопольное регулирование, промышленные стандарты, деловую культуру), задает общие рамочные условия функционирования рынка [23]. В ее рамках формируется определенная структура рынка, характеризующаяся числом и размером участников, распределением рыночных долей, уровнем концентрации и дифференциации продукта.

Важным элементом рыночной структуры является инфраструктура – совокупность вспомогательных видов деятельности (торговое посредничество, логистика, информационные услуги, техническое регулирование), обеспечивающих бесперебойное функционирование рыночного механизма [24]. Уровень развития инфраструктуры во многом определяет издержки экономических агентов и общую эффективность рыночных трансакций.

Структурные характеристики рынка влияют на инновационное поведение фирм, которое проявляется в их технологических, продуктовых, организационных и маркетинговых нововведениях. Фирмы выступают как носители специфических компетенций и рутин, которые определяют их способность создавать, комбинировать и применять знания и технологии для производства продукции с новыми потребительскими свойствами [25]. Инновационная активность фирм, в свою очередь, ведет к изменению рыночной структуры за счет созидательного разрушения и перераспределения рыночной власти.

Взаимодействие структурных и поведенческих параметров определяет результативность функционирования рынка, его способность удовлетворять динамично меняющиеся запросы потребителей, стимулировать распространение инноваций, обеспечивать эффективное использование ограниченных ресурсов [26]. Результативность рынка имеет две составляющие: аллокативную эффективность (статика) и адаптивную эффективность (динамика). Первая отражает способность рынка обеспечивать наилучшее распределение ресурсов между альтернативными способами их применения в конкретный момент времени. Вторая характеризует гибкость рыночного механизма, его восприимчивость к инновациям, умение своевременно адаптироваться к меняющимся условиям [27].

Предложенная модель позволяет комплексно проанализировать функционирование промышленного рынка с учетом взаимовлияния факторов разного уровня. При этом важно отметить, что все элементы модели испытывают влияние не только внутренней, но и внешней среды, связанной с трансформацией ГЦДС. Усложнение их архитектуры открывает новые возможности для специализации и кооперации, но при этом повышает риски и издержки координации для участников рынка [2]. Поэтому эффективная интеграция национальных производителей в ГЦДС требует формирования благоприятной институциональной среды, стимулирующей инновационную активность и развитие рыночной инфраструктуры.

Таблица 3

Методологический инструментарий анализа и прогнозирования развития промышленных рынков

Этап исследования	Задачи этапа	Методы и инструменты
Структурный анализ	• Определение продуктовых и географических границ рынка	• Метод гипотетического монополиста, кластерный анализ
	• Оценка уровня концентрации и рыночной власти	• Индекс Херфиндаля-Хиршмана, индекс Бэйна, индекс Лернера
	• Анализ барьеров входа и интенсивности конкуренции	• Модель пяти сил Портера, оценка минимально эффективного выпуска
	• Выделение стратегических групп и рыночных сегментов	• Построение карт позиционирования, метод К-средних
Анализ инновационного поведения	• Оценка уровня инновационной активности предприятий	• Показатели затрат на инновации, числа инноваций, доли инновационной продукции
	• Выявление драйверов и барьеров инновационной деятельности	• Опросы предприятий, экспертные интервью, эконометрический анализ панельных данных
	• Анализ кооперационных связей и сетевых взаимодействий	• Социально-сетевой анализ, кейс-стади инновационных экосистем
	• Диагностика инновационного потенциала предприятий	• Аудит инновационных ресурсов, оценка динамических способностей
Оценка результативности рынка	• Анализ уровня цен и издержек производства	• Межстрановые и межвременные сопоставления, декомпозиционный анализ
	• Оценка факторной производительности и эффективности	• Индексы Малмквиста и Торнквиста, стохастический фронтирный анализ (*SFA*)
	• Анализ влияния рынка на инновационную активность и качество продукции	• Модели *CDM* (*Crepon, Duguet, Mairesse*), гедонические индексы цен
	• Оценка вклада рынка в экономический рост и благосостояние	• Таблицы «затраты-выпуск», вычислимые модели общего равновесия
Институциональный анализ	• Выявление формальных и неформальных институтов рынка	• Контент-анализ нормативно-правовых актов, опросы участников рынка
	• Оценка трансакционных издержек и издержек защиты прав собственности	• Глубинные интервью, анализ судебной статистики, имитационное моделирование
	• Анализ механизмов инфорсмента контрактов и урегулирования споров	• Кейс-стади, эконометрический анализ дискретного выбора
	• Выявление институциональных разрывов и ловушек	• *GAP*-анализ, экспертные панели, когнитивное картирование
Интеграционный анализ	• Оценка места страны/региона в ГЦДС	• Коэффициенты и индексы участия в ГЦДС
	• Анализ факторов конкурентоспособности	• Анализ сравнительных преимуществ, гравитационные модели
	• Выявление рисков и возможностей интеграции	• *SWOT*-анализ, дорожные карты, сценарное прогнозирование
	• Оценка эффектов интеграции	• Эконометрический анализ панельных данных
Форсайт-исследования	• Выявление трендов и слабых сигналов	• Сканирование горизонтов, анализ больших данных
	• Прогнозирование развития рынка	• Экспертные оценки, анализ патентной активности
	• Разработка сценариев развития	• Сценарные семинары, кросс-импакт анализ
	• Определение приоритетов политики	• Критические технологии, технологические платформы

Комплексное исследование процессов развития промышленных рынков в условиях трансформации ГЦДС предполагает сочетание различных методов, обеспечивающих получение обоснованных выводов и рекомендаций. В табл. 3 систематизированы ключевые подходы и инструменты, которые целесообразно использовать на разных этапах исследования.

Как видно из табл. 3, исследование промышленных рынков носит междисциплинарный характер и требует синтеза подходов экономики, менеджмента, социологии, статистики. Структурный анализ позволяет определить базовые параметры рынка, идентифицировать ключевых игроков и выявить интенсивность конкуренции. Он создает основу для более глубокого

анализа поведения фирм и результативности рынка. При этом важно учитывать не только количественные индикаторы концентрации, но и качественные характеристики барьеров входа, дифференциации продукта, вертикальных ограничений.

Анализ инновационного поведения нацелен на выявление ключевых факторов и паттернов осуществления нововведений. Наряду с традиционными показателями инновационной активности, он предполагает изучение кооперационных связей, моделей открытых инноваций, процессов обучения в фирмах и отраслевых инновационных системах [28]. Особое внимание уделяется оценке динамических способностей фирм, их умению своевременно выявлять технологические и рыночные тренды, реконфигурировать компетенции, выстраивать партнерские отношения [29].

Оценка результативности рынка включает анализ его способности обеспечивать доступность качественной продукции по приемлемым ценам, стимулировать инновационную активность производителей и рациональное использование ресурсов. Для этого применяется широкий спектр подходов - от простых межстрановых сопоставлений цен до комплексного эконометрического анализа влияния структуры рынка на инновационное поведение и эффективность компаний [30]. Особое место занимает анализ роли промышленных рынков в генерировании знаниевых экстерналий и обеспечении роста общей факторной производительности в экономике.

Институциональный анализ фокусируется на выявлении формальных и неформальных «правил игры», структурирующих взаимодействия участников рынка [23]. Он включает изучение контрактных отношений, механизмов защиты прав собственности, процедур верификации качества продукции, способов урегулирования конфликтов. Результатом анализа является оценка величины трансакционных издержек и выявление институциональных разрывов, препятствующих повышению эффективности функционирования рынков.

Интеграционный анализ предполагает исследование процессов встраивания национальных производителей в ГЦДС, выявление их сравнительных преимуществ и конкурентных позиций в международном разделении труда. Для этого используются коэффициенты участия в ГЦДС, показатели международной фрагментации производства, гравитационные модели торговли [31]. Результаты анализа позволяют определить наиболее перспективные ниши для специализации в ГЦДС, выявить возможности для модернизации и диверсификации промышленного комплекса.

Наконец, форсайт-исследования ориентированы на идентификацию долгосрочных трендов и разрывов, формирование видения будущего развития промышленных рынков. Они опираются на широкий арсенал методов сканирования горизонтов, сценарного прогнозирования, дорожных карт. Особую роль играет выявление критических технологий и приоритетов научно-технической политики, способных радикально трансформировать архитектуру рынков и цепочки создания стоимости и позволяет сформировать проактивную, упреждающую повестку промышленного развития.

Предлагаемый инструментарий носит комплементарный характер и может гибко комбинироваться в зависимости от специфики объекта анализа и решаемых задач. Важно подчеркнуть, что речь идет не столько о механическом наборе методов, сколько о формировании целостного исследовательского подхода, интегрирующего концептуальные, эмпирические и инструментальные компоненты, что обеспечивает возможность системного, междисциплинарного анализа промышленных рынков, учитывающего многоаспектный характер и сложную динамику их развития в условиях трансформации ГЦДС.

Выводы. 1. Трансформация ГЦДС выступает ключевым фактором, определяющим структурную динамику современных промышленных рынков. Усложнение их архитектуры, размывание традиционных отраслевых границ, ускорение инновационных циклов кардинально меняют конкурентный ландшафт и требуют новых подходов к исследованию рыночных процессов.

2. В основу методологии должно быть положено понимание промышленного рынка как многоуровневой динамической системы, развивающейся в определенной институциональной среде под влиянием технологических, организационных и маркетинговых инноваций. Ключевыми факторами конкурентоспособности в новых условиях становятся динамические способности фирм, их умение быстро адаптироваться к меняющимся требованиям потребителей и переконфигурировать цепочки создания ценности.

3. Традиционные методы структурного анализа рынков должны быть дополнены инструментами анализа инновационного поведения фирм, диагностики их потенциала и компетенций. Особое внимание следует уделять выявлению сетевых взаимодействий, моделей открытых инноваций, процессов циркуляции знания в отраслевых инновационных системах.

4. Оценка результативности функционирования рынков должна учитывать не только краткосрочные ценовые эффекты, но и их долгосрочное влияние на

инновационную активность, совокупную факторную производительность, качество и разнообразие создаваемых благ. Для этого необходима разработка динамических моделей, увязывающих структуру рынка с инновационным поведением и экономической эффективностью.

5. Отдельное направление должен составить анализ институциональной среды, включая оценку трансакционных издержек, выявление механизмов инфорсмента контрактов, институциональных разрывов и ловушек, что позволит сформировать дорожную карту оптимизации регуляторной среды, нацеленную на стимулирование добросовестной конкуренции и снижение административных барьеров.

6. Ключевой исследовательской задачей становится оценка потенциала интеграции национальных производителей в трансформирующиеся ГЦДС, выявление приоритетных ниш и факторов конкурентоспособности с учетом глобальной технологической и рыночной конъюнктуры. Ее решение требует применения современных количественных и качественных методов анализа международной фрагментации производства.

7. Учитывая высокую неопределенность и динамизм современных рынков, неотъемлемым элементом методологии должны стать форсайт-исследования, нацеленные на проактивную идентификацию перспективных продуктовых ниш, критических технологий, потенциальных разрывов цепочек и точек роста нового качества. Они создают основу для формирования «умной» промышленной политики, основанной на гибких, адаптивных инструментах и государственно-частном партнерстве.

Список литературы

1. *Кондратьев В. Б.* Глобальные цепочки стоимости в отраслях экономики: общее и особенное // Мировая экономика и международные отношения. 2019. Т. 63. № 1. С. 49–58.

2. *Gereffi G.* Global value chains in a post-Washington Consensus world // Review of International Political Economy. 2023. Vol. 21. № 1.

3. *Сидорова Е.* Индустрия 4.0: Трансформация производственных цепочек создания добавленной стоимости // Мировая экономика и международные отношения. 2024. № 6.

4. *Юдина Т. Н., Осипов В. С.* Промышленный комплекс России в условиях перехода к шестому технологическому укладу // Экономическое возрождение России. 2024. № 1.

5. *Котлер Ф., Келлер К. Л.* Маркетинг менеджмент: 15-е изд. СПб.: Питер. 2023.

6. *Розанова Н. М.* Экономика отраслевых рынков: в 2 ч. М.: Юрайт. 2023.

7. *Шваб К.* Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо. 2020.

8. *Паркер Д., Ван Альстин М., Чаудари С.* Революция платформ. Как сетевые рынки меняют экономику и как заставить их работать на вас. М.: Манн, Иванов и Фербер. 2022.

9. *Cusumano M. A., Gawer A., Yoffie D. B.* The business of platforms: Strategy in the age of digital competition, innovation, and power. Harper Business, 2023.

10. *Тироль Ж.* Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности. СПб.: Экономическая школа. 2000.

11. *Трачук А., Линдер Н.* Инновации и производительность российских промышленных компаний // Инновации. 2017. № 4 (222). С. 53–65.

12. *Сергеев В. И., Дутиков И. М.* Цифровое управление цепями поставок: взгляд в будущее // Логистика и управление цепями поставок. 2017. № 2. С. 87–97.

13. *Катькало В. С., Сергиенко Я. В., Медведев А. Г.* Трансформация глобальных цепочек создания стоимости в рамках цифровой экономики // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент. 2024. № 1.

14. *Григорьев Л. М., Павлюшина В. А., Музыченко Е. Э.* Падение в мировую рецессию 2020... // Вопросы экономики. 2020. № 5. С. 5–24.

15. *Дементьев В. Е.* Промышленная политика США: финансовые аспекты // Экономическое возрождение России. 2021. № 3.

16. *Тис Д. Дж., Пизано Г., Шуен Э.* Динамические способности фирмы и стратегическое управление // Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент. 2003. № 4.

17. *Симачев Ю., Кузык М.* Влияние государственных институтов развития на инновационное поведение фирм: качественные эффекты // Вопросы экономики. 2017. № 2. С. 109–135.

18. *Полтерович В. М.* Реформаторам науки недостает квалификации. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2015. № 3 (39). С. 28–31.

19. *Куценко Е., Исланкина Е., Киндрась А.* Можно ли быть умным в одиночестве? Исследование инновационных стратегий российских регионов в контексте умной специализации // Форсайт. 2018. Т. 12. № 1.

20. *Морковкин Д. Е.* Торгово-экономические отношения и цепочки добавленной стоимости. М: Издательство «КноРус». 2024. 208 с.

21. *Морковкин Д. Е.* Драйверы и стоп-факторы цифровой трансформации экономики: отраслевой анализ // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 6.

22. *Морковкин Д. Е., Баринова В. А., Никонорова А. В., Колосова Е. В.* Стратегические направления развития торгово-экономических отношений России в глобальных цепочках добавленной стоимости // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2022. Т. 11. № 2. С. 4–9.

23. *Толкачев С. А., Морковкин Д. Е.* Тренды цифровизации обрабатывающих отраслей промышленности Германии и России // Научные труды Вольного экономического общества России. 2019. Т. 218. № 4. С. 260–272.

24. *Толкачев С. А., Тепляков А. Ю.* Методологические основы анализа трансформации глобальных цепочек сто-

имости в ходе неоиндустриализации // Экономическое возрождение России. 2016. № 3(49). С. 57–65.

25. *Перская В. В.* Использование потенциала глобальных цепочек стоимости в целях развития реального сектора экономики // Экономика. Налоги. Право. 2015. № 2. С. 34–39.

26. *Моттаева А. Б., Фокина О. В., Прядко И. П.* Экологические аспекты стратегии развития предприятий металлургической промышленности // КШП. ОМД. 2025. № 9. С. 209–219.

27. *Буравцев А. В.* Стратифицированный метод построения сложной системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 23–32.

28. *Бурцева Т. А.* Оценка влияния факторов на эффективность деятельности предприятия на основе дисперсионного анализа // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2021. № 4 (39). С. 76–85.

29. *Домнина И. Н.* «Мезоуровень» организации экономического пространства: стратегическая повестка // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2024. № 3 (50). С. 7–13.

30. *Долгушин А. Б., Цуканов А. А.* Анализ практики установления нормативов утилизации в системе расширенной ответственности производителя Российской Федерации в 2015–2020 годы // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2020. № 3 (34). С. 57–63.

References

1. Kondratiev V. B. Global Value Chains in Economic Sectors: General and Specific Features. *Global Economy and International Relations*, 2019, vol. 63, no. 1. pp. 49–58.

2. Gereffi G. Global Value Chains in a Post-Washington Consensus World. *Review of International Political Economy*, 2023, vol. 21, no. 1.

3. Sidorova E. Industry 4.0: Transformation of Value Added Production Chains. *Global Economy and International Relations*, 2024, no. 6.

4. Yudina T. N., Osipov V. S. Russian Industrial Complex in the Context of Transition to the Sixth Technological Wave. *Economic Revival of Russia*, 2024, no. 1.

5. Kotler F., Keller K. L. *Marketing Management: 15th ed*. St. Petersburg, Piter, 2023.

6. Rozanova N. M. *Ekonomika otraslevyh rynkov: v 2 ch* [Economics of Industry Markets: in 2 parts]. Moscow, Yurait, 2023.

7. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. Moscow: Eksmo. 2020.

8. Parker D., Van Alstyne M., Chaudary S. *The Platform Revolution. How Network Markets Are Changing the Economy and How to Make Them Work for You*. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2022.

9. Cusumano M. A., Gawer A., Yoffie D. B. *The Business of Platforms: Strategy in the Age of Digital Competition, Innovation, and Power*. Harper Business, 2023.

10. Tirole J. *Markets and Market Power: Theory of Industrial Organization*. St. Petersburg, Economic School, 2000.

11. Trachuk A., Linder N. Innovations and Productivity of Russian Industrial Companies. *Innovations*, 2017, no. 4 (222), pp. 53–65.

12. Sergeev V. I., Dutikov I. M. Digital Supply Chain Management: A Look into the Future. *Logistics and Supply Chain Management*, 2017, no. 2, pp. 87–97.

13. Katkalo V. S., Sergienko Ya. V., Medvedev A. G. Transformation of Global Value Chains in the Framework of the Digital Economy. *Vestnik of St. Petersburg University. Management*, 2024, no. 1.

14. Grigoriev L. M., Pavlyushina V. A., Muzychenko E. E. Fall into the Global Recession of 2020... . *Voprosy Ekonomiki*, 2020, no. 5, pp. 5–24.

15. Dementyev V. E. US Industrial Policy: Financial Aspects. *Economic Revival of Russia*, 2021, no. 3.

16. Tees D.J., Pisano G., Schuen E. Dynamic Firm Capabilities and Strategic Management. *Vestnik of Saint Petersburg University. Management*, 2003, no. 4.

17. Simachev Yu., Kuzyk M. The Influence of State Development Institutions on the Innovative Behavior of Firms: Qualitative Effects. *Voprosy Ekonomiki*, 2017, no. 2.

18. Polterovich V. M. Science Reformers Lack Qualification. *Economic and social changes: facts, trends, forecast*, 2015, no. 3 (39), pp. 28–31.

19. Kutsenko E., Islankina E., Kindras A. Is it possible to be smart alone? A study of innovative strategies in Russian regions in the context of smart specialization. *Foresight*, 2020, vol. 12, no. 1.

20. Morkovkin, D. E. *Torgovo-jekonomicheskie otnoshenija i cepochki dobavlennoj stoimosti* [Trade and Economic Relations and Value Added Chains]. Moscow, Knorus Publishing House LLC, 2024, 208 p.

21. Morkovkin D. E. Drivers and Stop Factors of Digital Transformation of the Economy: Sectoral Analysis. *Bulletin of Eurasian Science*, 2024, vol. 16, no. 6.

22. Morkovkin D. E., Barinova V. A., Nikonorova A. V., Kolosova E. V. Strategic Directions for the Development of Russia's Trade and Economic Relations in Global Value Chains. *Research and Development. Economics of the Firm*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 4–9.

23. Tolkachev S. A., Morkovkin D. E. Digitalization trends in the manufacturing industries of Germany and Russia. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*, 2019, vol. 218, no. 4, pp. 260–272.

24. Tolkachev S. A., Teplyakov A. Yu. Methodological Foundations of the Analysis of the Transformation of Global Value Chains in the Course of Neo-Industrialization. *Economic Revival of Russia*, 2016, no. 3 (49), pp. 57–65.

25. Perskaya, V. V. Using the Potential of Global Value Chains for the Development of the Real Sector of the Economy. *Economics. Taxes. Law*, 2015, no. 2, pp. 34–39.

26. Mottaeva A. B., Fokina O. V., Pryadko I. P. Environmental Aspects of the Development Strategy for Metallurgical Enterprises. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 9, pp. 209–219.

27. Buravtsev A. V. Stratified method of constructing a complex system. E*ducational resources and technologies*, 2017, no. 3 (20), pp. 23–32.

28. Burtseva T. A., Zueva I. A. Directions for improving methods for monitoring the implementation of regional development strategies in a digital information environment. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2018, no. 4 (27), pp. 43–50.

29. Domnina I. N. «Meso–level» of the organization of economic space: strategic agenda. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2024, no. 3 (50), pp. 7–13.

30. Dolgushin A. B., Tsukanov A. A. Analysis of the practice of setting recycling standards in the extended producer responsibility system of the Russian Federation in 2015–2020. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2020, no. 3 (34), pp. 57–63.

УДК 338.6

Е. В. ШИРИНКИНА, д-р. экономич. наук; Е. В. ЗАВЕДЕЕВ, О. Г. КОЛОСОВА, кандидаты экономич. наук (СурГУ, г. Сургут); А. В. СЕМЕНОВ, д-р. экономич. наук, Ш. НИЯЗБЕКОВА, канд. экономич. наук (Московский университет им. С. Ю. Витте; Научно-образовательный центр «Устойчивое развитие», г. Москва); З. К. СМАГУЛОВА, канд. экономич. наук (Astana International University, г. Астана, Республика Казахстан); М. С. ПЕСТОВА, канд. фил. наук.; И. О. РЫЖОВА, канд. экономич. наук; С. Н. КИЕВСКАЯ (Российский университет кооперации, г. Мытищи); В. В. ВАРЗИН, канд. экономич. наук (РГУ им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва); Л. С. ШЕПЕЛЕВА, канд. экономич. наук, Б. БИСЕНБАЕВ (РГСУ, г. Москва); М. А. ТЛЕУЖАНОВА, канд. экономич. наук (Международный инженерно-технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан)
E-mail:
E. V. Shirinkina, E. V. Zavedeev, O. G. Kolosova (Surgut State University, Surgut); A. V. Semenov, Sh. Niyazbekova (Moscow Witte University, Moscow); Z. K. Smagulova (Astana International University, Astana, Republic of Kazakhstan); M. S. Pestova, I. O. Ryzhova; S. N. Kievskaya (Russian University of Cooperation, Mytishchi); V. V. Varzin (Russian State University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow); L. S. Shepeleva, B. Bissenbayev (RSSU, Moscow); M. A. Tleuzhanova (International University of Engineering and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan)

Создание производственного кластера для развития сектора высокотехнологичных нефтесервисных услуг в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре

Establishment of a production cluster for the development of the high-tech oilfield services sector in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra

Проводится комплексный анализ состояния нефтегазодобывающей промышленности в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и формирование предложений по улучшению инфраструктуры поддержки нефтесервисного сектора и смежных отраслей. Сформированы конкретные предложения по совершенствованию инфраструктуры поддержки нефтесервисного сектора и смежных отраслей автономного округа. Предложена оригинальная концепция и конкретные механизмы функционирования нефтесервисного кластера Югры, определены возможные направления его развития и преимущества участников. Полученные результаты представляют интерес для разработчиков стратегий развития региона, руководящих лиц нефтегазодобывающих и нефтесервисных компаний, органов исполнительной власти и заинтересованных сторон, вовлеченных в процессы трансформации экономики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

The purpose of this study is to conduct a comprehensive analysis of the oil and gas production industry in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra and formulate proposals for improving the infrastructure supporting the oilfield services sector and related industries. The key problems and threats to the functioning and development identified during the analysis of the current state of the autonomous okrug's oil and gas complex (OGC) indicate that, to ensure the further sustainable development of the OGC in Yugra, fundamental changes in the forms of interaction between the government, the oil and gas industry, and oilfield services companies are necessary, involving

research organizations and educational institutions. The study developed a general concept for an oilfield services cluster in the autonomous okrug as the most effective form of such interaction. It outlined the cluster's goals and objectives, potential participants, operational mechanisms, and the competitive advantages of potential enterprises. This study also developed specific proposals for improving the support infrastructure for the oilfield services sector and related industries in the autonomous okrug. An original concept and specific operational mechanisms for the Yugra oilfield services cluster were proposed, potential development areas were identified, and the advantages of its participants were identified. The results obtained are of interest to developers of regional development strategies, executives of oil and gas production and oilfield services companies, executive authorities, and stakeholders involved in the economic transformation of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra.

Ключевые слова: нефтесервисные предприятия; нефтегазовая отрасль; моноспециализация региона; производственный кластер; регион; выокотехнологичные услуги; тенденции развития; эффективность.

Keywords: oilfield services companies; oil and gas industry; regional monospecialization; production cluster; region; high-tech services; development trends; efficiency.

В рамках общего тренда на повышение роли сферы услуг в экономике, учитывая моноспециализацию региона, необходима активизация партнерства государства и бизнеса на рынке нефтесервисных услуг с целью локализации части высокотехнологичных услуг. Это, с одной стороны, даст возможности быстрее адаптироваться к изменениям, минимизировать зависимость от логистики, создать налогооблагаемую базу. С другой стороны, потребует значительные инвестиции в локальную инфраструктуру, а также комплексные меры государственной поддержки создаваемых предприятий. Целью статьи явилось представление общей концепции проекта создания производственного кластера «Нефтяной сервис Югры», как ключевого направления развития нефтесервисного сектора автономного округа, и основных этапов работы по формированию данной концепции. Создание указанного кластера предполагает объединение в качестве единого организационного комплекса предприятий нефтесервиса, нефтедобычи, научных учреждений, органов поддержки предприятий со стороны государственной и муниципальной власти, а также прочих специализированных предприятий отрасли, необходимых для формирования единой производственной экосистемы.

В статье на основе результатов анализа современного состояния нефтедобывающих и нефтесервисных предприятий автономного округа и выявленных в ходе данного анализа основных проблем их дальнейшего функционирования и развития представлена общая концепция проекта создания нефтесервисного кластера в автономном округе, обозначены его цели и задачи, возможный состав участников, определены механизмы функционирования данного кластера и конкурентные преимущества, которые могут получить предприятия, вошедшие в состав участников данного объединения.

Объектом данного исследования является нефтесервисный сектор и смежные отрасли, ориентированные на интенсификацию добычи нефти в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре (ХМАО). Предметом исследования являются приоритетные направления развития нефтесервисного сектора, механизмы локализации производства высокотехнологических услуг, взаимодействие между государством и бизнесом в контексте поддержки и стимулирования нефтесервисной отрасли.

В рамках общего тренда на повышение роли сферы услуг в экономике, учитывая моноспециализацию региона, необходима активизация партнерства государства и бизнеса на рынке нефтесервисных услуг с целью локализации части высокотехнологичных услуг. Это, с одной стороны, даст возможности быстрее адаптироваться к изменениям, минимизировать зависимость от логистики, создать налогооблагаемую базу. С другой стороны, потребует значительные инвестиции в локальную инфраструктуру, а также комплексные меры государственной поддержки создаваемых предприятий.

В качестве теоретической и методической базы работы использованы научные труды отечественных и иностранных ученых, связанные с изучением экономики нефтяной и газовой промышленности (НГП), исследованием методов и форм организации взаимодействия участников процесса освоения нефтегазовых ресурсов, особенностей формирования и функционирования, действующих в России и за рубежом нефтегазовых кластеров.

Эмпирической базой исследования служат отчетные документы нефтегазовых и нефтесервисных организаций, действующих на территории ХМАО, полученных на основе данных сервисов: ФНС РФ «Прозрачный бизнес. Проверь себя и контрагента», «Государственный информационный ресурс бух-

галтерской (финансовой) отчетности», «Интерфакс, Центр раскрытия корпоративной информации», а также коммерческих сервисов по проверке контрагентов: «*Audit-IT*, Досье контрагента» и пр., а также информационно-аналитических материалов статистических служб, профильных министерств и организаций. Для выявления мнения о проблемах развития нефтяного сервиса в ХМАО проведен экспертный опрос руководителей и специалистов ряда нефтегазодобывающих и нефтесервисных предприятий.

Полученные результаты представляют интерес для разработчиков стратегий развития региона, руководящих лиц нефтегазодобывающих и нефтесервисных компаний, органов исполнительной власти и заинтересованных сторон, вовлеченных в процессы трансформации экономики ХМАО.

Материалы и методы исследования

Актуальность научных исследований, связанных с изучением процессов формирования и функционирования кластерных форм организации производственных систем имеет в последние годы объективные тенденции к увеличению. Исследования охватывают широкий спектр аспектов, включая организационные формы, инновационные процессы и государственную поддержку. Основные механизмы партнерства при кластерном образовании включают взаимодействие между странами, различного вида бизнес-структурами и государственными учреждениями и направленно на внедрение инноваций и формирование эффективных производственных цепочек.

Авторы работ [1–3] считают, что кластерная форма объединения должна обеспечить формирование соединяющего звена между наукой и производством, обеспечивающего передачу знаний о новых технологиях и практических решениях. Кластер должен включать не только производственные предприятия, но и научно-технологические учреждения, которые дают возможность эффективно применять научные разработки в промышленности. Нефтегазовый кластер представляет собой систему партнерских предприятий и организаций в области добычи, переработки и распределения углеводородов, которые совместно создают дополнительную стоимость посредством эффективного взаимодействия и сотрудничества. В конечном итоге, такой подход должен обеспечить, извлечение выгоды не только собственникам конечного продукта, но и всеми участники процесса освоения нефтегазовых ресурсов.

В источнике [4] отличие кластера от других форм экономических объединений заключается в том, что компании кластера не идут на полное слияние, а создают механизм взаимодействия, позволяющий им сохранить статус юридического лица и при этом сотрудничать с другими предприятиями, образующими кластер и за его пределами. В кластерах формируется сложная комбинация конкуренции и кооперации, особенно в инновационных процессах. В случае формирования и развития кластера в нефтегазовом комплексе (НГК) крупные нефтяные компании играют роль центра кластера, а бизнес-структуры в сфере нефтесервиса, транспорта, строительства, научных исследований и финансовой деятельности, развиваясь вокруг них, становятся плательщиками в бюджет и формируют значительный потенциал для обеспечения экономического роста региона. Данная форма сотрудничества позволит крупным предприятиям снижать издержки производства, использовать дополнительные ресурсы для внедрения новых технологий, а представителям нефтесервиса и смежных отраслей обеспечит доступ к производственным площадям и оборудованию.

Результаты исследования и их обсуждение

На текущий момент, автономный округ, занимает ведущее место по объемам добычи нефти в России. Так, по итогам 2023 г. на долю Югры приходился 41 % от общего объема нефтедобычи в стране, в эксплуатацию было введено порядка 4500 добывающих скважин. В тоже время, в общем объеме нефтедобычи увеличивается доля трудноизвлекаемых запасов (25 %), усложняются горно-геологические условия эксплуатации месторождений, увеличивается глубина эксплуатируемых скважин и пр.

На основе сервисов проверки контрагентов была составлена база данных по предприятиям, зарегистрированным в автономном округе, относящимся к ВЭД 06.10 и 06.10.1., 09.10. и пр. В соответствии с полученными данными, по состоянию на 01.06.2024, в автономном округе функционировало порядка 50 нефтегазодобывающих предприятий. На основе полученных данных определены значения совокупной выручки предприятий отрасли (см. рис. 1) [5].

Как видно из рис. 1 и несмотря на экспортные ограничения, истощение месторождений, усложнение горно-геологических условий их эксплуатации и пр. нефтяные компании достаточно успешно адаптируются к негативным условиям внешней среды. За 2016–2023 гг. наблюдается достаточно стабильная динамика роста показателей отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ, услуг собственными силами. Несмотря на большое количество введенных санкций и значительное усложнение эксплуатируемых запасов, падение объемов добычи наблюдалось только в 2020 и 2023 гг. Аналогичной устойчивой динамикой характеризуются и объемы эксплуатационного бурения и показатели ввода новых скважин.

Рис. 1. Динамика совокупной прибыли нефтегазодобывающих компаний ХМАО

Фактическое удвоение совокупной выручка предприятий нефтедобычи Югры в период с 2016 по 2023 гг., одновременно со снижением физических объемов добычи и не постоянством уровня цен на нефть в этот период, свидетельствует об эффективности выстроенных нефтяными компаниями и в, определенной степени, правительством РФ бизнес-моделей функционирования нефтяной промышленности.

Лидерами по выручке являются ВИНК и предприятия автономного округа, входящие в их состав: ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО НК «Роснефть», ПАО «Лукойл» и ПАО НК «Газпромнефть» на долю которых в 2023 г. в совокупности приходится более 90 % общего значения этого показателя.

Анализ Стратегии социально-экономического развития ХМАО до 2035 г., обосновывающих материалов к ней, а также контент-анализ большого количества различного рода аналитических и отчетных материалов, посвященных вопросам развития нефтегазодобывающей промышленности, показывает следующий перечень проблем и вызовов, сдерживающих это развитие [6, 7]:

- истощение традиционных месторождений и увеличение доли трудноизвлекаемых запасов;
- усложнение горно-геологических условий эксплуатации месторождений;
- недостаток инвестиций в новые технологии;
- инфраструктурные проблемы;
- зависимость от импорта технологий;
- недостаток высококвалифицированных кадров.

Эти негативные тенденции требуют комплексного подхода к решению проблем нефтегазового комплекса в Югре, включая поддержку инноваций, развитие кадрового потенциала и улучшение условий для ведения бизнеса. В качестве основных мер, направленных на развитие нефтегазового комплекса ХМАО выделяют следующие:

1. Увеличение коэффициента извлечения нефти в условиях увеличения доли трудноизвлекаемых запасов. Около 25 % от общего объема добычи в Югре в настоящее время составляют трудноизвлекаемые запасы, к 2040 г. эта цифра может вырасти до 50 %. Это требует совершенствования технологий добычи, более широкое внедрение горизонтального бурения, многостадийного гидроразрыва пластов, цифровых технологий управления добычей.

2. Локализация производства высокотехнологичных нефтесервисных услуг: создание производственных мощностей и развитие инфраструктуры для развития нефтесервисных услуг.

3. Государственная поддержка, программы субсидирования и налоговые льготы для компаний, внедряющих инновации, стимулирование НИОКР.

4. Цифровизация и автоматизация процессов: использование цифровых двойников и предиктивной аналитики для оптимизации процессов добычи и управления ресурсами.

5. Развитие НТП путем создания научно-технологических центров для разработки новых технологий, адаптированных к условиям Крайнего Севера, сотрудничество с образовательными учреждениями, подготовка квалифицированных кадров через программы обучения и стажировок.

Эффективное использование ресурсного потенциала требует не только модернизации существующих технологий, но и активного внедрения новых инновационных решений в процессы освоения нефтегазовых ресурсов. Полноценное решение данной задачи не может быть обеспечено без вовлечения и всесторонней поддержки в данные процессы нефтесервисного и научно-исследовательского секторов.

Для проведения анализа выручки и прибыльности нефтесервисных предприятий и смежных отраслей на основе сервисов составлена база данных предприятий, зарегистрированных в автономном округе, которые по основному или дополнительному виду деятельности относятся к указанным выше кодам ВЭД. По основному виду деятельности в базу данных (включая данные бухгалтерской отчетности) отобрано 269 предприятий, по дополнительному – 548 ед. (всего 817 ед.). На рис. 2 представлен анализ объема, структуры и динамики выручки организаций нефтесервиса и смежных отраслей Югры по видам экономической деятельности [8].

Как видно из рис. 2 предприятия нефтесервисных услуг и смежных отраслей в течение анализируемого периода показывают достаточно высокую динамику роста, в отдельные периоды даже опережая темпы роста нефтедобывающих предприятий. Так, в отличие от нефтедобычи, нефтесервис растет и в 2016 г., и в 2020 г. Особенно высокие темпы роста (выше 20 %) наблюдаются в последние 2 года. Наибольший удельный вес работ приходится на ВЭД «Предоставление услуг в области добычи нефти и газа …», «Предоставление услуг по бурению, связанному с добычей нефти и газа» и «Услуги по монтажу, ремонту и демонтажу буровых вышек».

Объемы чистой прибыли предприятий нефтесервиса и смежных отраслей и ее динамика в сравнении с динамикой выручки нефтегазодобывающих и нефтесервисных предприятий представлены на рис. 3.

Рис. 2. Выручка нефтесервисных предприятий и предприятий смежных отраслей, зарегистрированных в автономном округе, млрд руб.

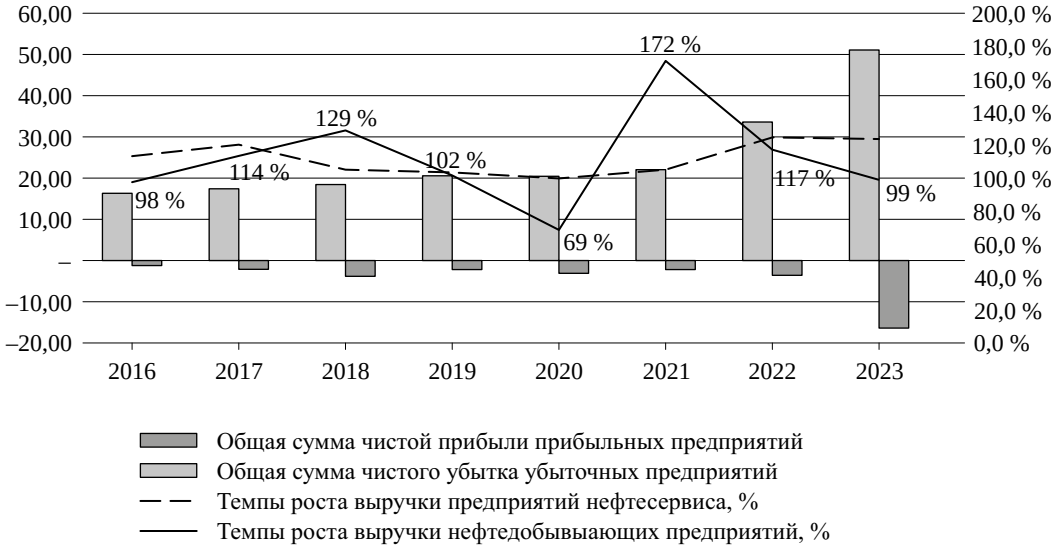


Рис. 3. Чистая прибыль нефтесервисных предприятий и предприятий смежных отраслей, зарегистрированных в автономном округе, млрд руб.

В целом по предприятиям анализируемого сектора экономики наблюдается стабильный рост показателей прибыли. Совокупный положительный финансовый результат за анализируемый период вырос более чем в три раза с 15,26 до 51 млрд руб. в тоже время, практически во все анализируемые периоды присутствуют убыточные организации, что говорит о наличии определенных проблем в деятельности предприятий сектора.

Для проведения более качественного анализа по всем предприятиям, попавшим в базу данных, определены реально выполняемые ими виды деятельности. Данная работа проводится на основе контент-анализа различного рода интернет-ресурсов: официальных сайтов компаний, новостных статей на специализированных информационных порталах, сайтах по размещению вакансий и пр.

Как следует из проведенного комплексного анализа деятельности нефтегазодобывающих и нефтесервисных предприятий Югры, несмотря на достаточно высокие и устойчивые показатели их функционирования в последние годы, дальнейшее развитие НГК округа с учетом, обозначенных выше проблем, требует кардинального преобразования существующей модели взаимодействия между всеми участниками процесса освоения нефтегазовых ресурсов региона. В соответствии с выводами проведенного исследования основой для создания устойчивой экосистемы дальнейшего развития НГК Югры могут стать только коренные изменения форм взаимодействия между государством, нефтегазовым бизнесом и нефтесервисными предприятиями, с привлечением научно-исследовательских организаций и образовательных учреждений. Наилучшими примерами такого взаимодействия являются нефтегазовые комплексы в Ставангере (Норвегия), Альберте (Канада) и Техасе (США) [9–13].

Как показывает анализ, в Югре созданы достаточно благоприятные условия для развития НГК именно по такому сбалансированному пути развития. На территории округа присутствуют порядка 40 крупных и средних нефтегазодобывающих предприятия (часть – дочерние общества крупных ВИНК). Также в Югре функционирует несколько сотен малых, средних и крупных предприятий, обеспечивающих практически полный спектр нефтесервисных работ – от бурения скважин и их капитального и текущего ремонта, до обустройства месторождений и утилизации отходов нефтегазодобывающей промышленности. Создана в регионе и полноценная система профессионального образования, в т. ч. и по отдельным специальностям необходимым для работы в нефтегазодобывающей промышленности.

Проведенный анализ показывает, что базирующиеся в автономном округе, нефтесервисные предприятия не закрывают значительную часть потребностей

	2023	2029	2035
Потребность в нефтесервисных работах, млрд. руб.	990,4	2 248,2	2 057,4
Затраты на инновационную деятельность, млрд. руб.	95,7	144,8	164,6
Объемы инвестиций в развитие нефтедобычи, млрд. руб.	743,0	722,0	531,0
Прием на работу по ВЭД «Добыча сырой Н и ПГ», тыс. чел.	16,2	20,3	18,6
Прием на работу по ВЭД «Предоставление услуг в области ДПИ», тыс. чел.	36,8	48,3	39,8

Рис. 4. Концептуальная схема производственного кластера «Нефтяной сервис Югры»

в работах и услугах, существующих у нефтегазодобывающих предприятий округа. В какой-то степени это обусловлено, тем, что у некоторых нефтегазодобывающих предприятий округа есть собственные буровые, разведочные и ремонтные структурные подразделения или же у них налажены связи с нефтесервисными компаниями из других регионов.

Концептуальная схема функционирования предлагаемого кластера представлена на рис. 4.

Предлагаемая концептуальная схема иллюстрируют многообразие участников производственного кластера «Нефтяной сервис Югры» и их взаимосвязи. Каждая организация играет важную роль в развитии сектора через свои функции и задачи. Успех кластера будет определяться, прежде всего, эффективным взаимодействием между участниками и теми возможностями, которые они получат, принимая участие в работе кластера, в решении имеющихся у них собственных проблем и задач [14–18].

Выводы. 1. Проведенное исследование позволяет выявить основные проблемы и трудности, стоящие перед дальнейшим развитием нефтегазовой промышленности в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Комплексный анализ состояния нефтедобывающих и нефтесервисных предприятий автономного округа подтверждает важность коренного изменения форм взаимодействия между государством, бизнесом и научной сферой для обеспечения устойчивого развития региона.

2. Главным результатом проведенного исследования становится разработка оригинальной концепции и четких механизмов функционирования нефтесервисного кластера Югры. Определены приоритеты развития кластера, возможные варианты состава участников и механизмы координации их деятельности. Такая стратегия направлена на эффективное удовлетворение текущих потребностей нефтедобывающих предприятий и создание устойчивых предпосылок для роста технологического суверенитета региона.

3. Кроме того, выявлены существующие диспропорции и дефициты, такие как низкая активность патентоведения, недостаточность качественной образовательной инфраструктуры и дефицит научных разработок в сегменте. Эти аспекты подчеркивают необходимость усиления мер государственной поддержки и создания интегрированной системы информационного сопровождения для полноценного развития нефтесервисного кластера.

4. Выводы и предложения, изложенные в настоящей статье, могут служить источником рекомендаций для федеральных и региональных властей, инвесторов, представителей бизнеса и научного сообщества, стремящихся способствовать качественному преобразованию нефтегазового сектора Югры и обеспечению устойчивого роста экономики региона.

Список литературы

1. *Блинков И. О., Блинков О. Г.* Создание кластера по производству нефтегазового оборудования – механизм повышения конкурентоспособности отрасли // Сфера. Нефть и Газ. 2021. № 2 (81). С. 44–45.

2. *Андреев О. С.* Кластеризация как инструмент повышения конкурентоспособности в стратегии развития нефтегазовой отрасли // Вопросы экономики и права. 2011. № 36. С. 53–57.

3. *Иванова Н. А*. Кластерный подход при формировании национальной инновационной системы // Финансовый менеджмент. 2024. № 11 (2). С. 552–559.

4. *Андреев О. С*. Развитие кластеров в нефтегазовом секторе экономики России // Вопросы Экономики и права. 2011. № 39. С. 42–46.

5. *Нефтегазоперерабатывающая* и нефтегазохимическая отрасль. НИР «Актуализация стратегии социально-экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры до 2030 г.». Отчет о результатах. 2021. ГБУ «Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан». Т. 13. 4 с.

6. *Толстолыткин И. П., Мухарлямова Н. В., Печерин Т. Н.* и др. Оценка добычного потенциала нефтяных месторождений ХМАО – Югры в современных условиях. Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО // XXII науч.-практ. конф. Ханты-Мансийск: ИздатНаука-Сервис. 2019. Т. 1. С. 15–23.

7. *Кузьменков С. Г., Аюпов Р. Ш., Новиков М. В.* Методы увеличения нефтеотдачи на месторождениях Югры // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. № 331 (4). С. 96–106.

8. *Касаткин Д. Б.* Сегодня нет места инерционным сценариям развития нефтегазовой отрасли // ЦСП «Платформа». 2024. URL: https://pltf.ru/2024/07/22/segodnya-net-mesta-inerczionnym-sczenariyam-razvitiya-neftegazovoj-otrasli/.

9. *Кокин В.* Правовые основы нефтяной деятельности в Норвегии. ПравоТЭК информ // ПравоТЭК. 2024. URL: https://www.lawtek.ru/analytics/20/pravovyye_osnovy_neftyanoy_deyatelnosti_v_norvegii.

10. *Семенов А. В.* и др. Сталелитейная промышленность в условиях растущей конкуренции, цифровизации и улучшения экологической устойчивости // КШП. ОМД. 2025. № 1. С. 189–203.

11. *Семенов А. В*. и др. Развитие технологий сокращения выбросов углекислого газа в отраслях промышленности // КШП. ОМД. 2025. № 1. С. 213–223.

12. *Семенов А. В*. и др. Технологии искусственного интеллекта при контроле качества продукции в условиях массового производства // КШП. ОМД. 2025. № 2. С. 189–203.

13. *Цветков В. А., Шманев С. В., Морковкин Д. Е*. и др. Методологические императивы формирования промышленной политики в контексте обеспечения технологиче-

ского суверенитета национальной экономики // КШП. ОМД. 2025. № 4. С. 95–103.

14. *Моттаева А. Б., Фокина О. В., Прядко И. П.* Экологические аспекты стратегии развития предприятий металлургической промышленности // КШП. ОМД. 2025. № 9. С. 209–219.

15. *Буравцев А. В.* Стратифицированный метод построения сложной системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 23–32.

16. *Бурцева Т. А.* Оценка влияния факторов на эффективность деятельности предприятия на основе дисперсионного анализа // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2021. № 4 (39). С. 76–85.

17. *Домнина И. Н.* «Мезоуровень» организации экономического пространства: стратегическая повестка // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2024. № 3 (50). С. 7–13.

18. *Долгушин А. Б., Цуканов А. А.* Анализ практики установления нормативов утилизации в системе расширенной ответственности производителя Российской Федерации в 2015–2020 годы // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2020. № 3 (34). С. 57–63.

References

1. Blinkov I. O., Blinkov O. G. Creation of a Cluster for the Production of Oil and Gas Equipment – a Mechanism for Improving the Competitiveness of the Industry. *Sphere. Oil and Gas*, 2021, no. 2 (81), pp. 44–45.

2. Andreev O. S. Clustering as a Tool for Improving Competitiveness in the Oil and Gas Industry Development Strategy. *Issues of Economics and Law*, 2011, no. 36, pp. 53–57.

3. Ivanova N. A. Cluster Approach to Forming a National Innovation System. *Financial Management*, 2024, no. 11 (2), pp. 552–559.

4. Andreev O. S. Development of clusters in the oil and gas sector of the Russian economy. *Voprosi ekonomiki i prava*, 2011, no. 39, pp. 42–46.

5. *Neftegazopererabatyvajushhaja i neftegazohimicheskaja otrasl'. NIR «Aktualizacija strategii social'no-jekonomicheskogo razvitija Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry do 2030 g.». Otchet o rezul'tatah 2021* [Oil and gas refining and petrochemical industry. Research «Updating the strategy of socio-economic development of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra until 2030». Report on the results. 2021]. State Budgetary Institution «Center for Advanced Economic Research of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan», vol. 13, 4 p.

6. Tolstolytkin I. P., Mukharlyamova N. V., Pechorin T. N. [et al.] Assessment of the production potential of oil fields of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra in modern conditions. Ways to realize the oil and gas potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *XXII scientific-practical. conf.* Khanty-Mansiysk, IzdatNaukaService, 2019, vol. 1, pp. 15–23.

7. Kuzmenkov S. G., Ayupov R. Sh., Novikov M. V. Methods for enhancing oil recovery at Yugra fields. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering*, 2020, no. 331 (4), pp. 96–106.

8. Kasatkin D. B. Today there is no place for inertial scenarios for the development of the oil and gas industry. *CSP* «*Platform*», 2024, available at: https://pltf.ru/2024/07/22/segodnya-net-mesta-inerczionnym-sczenariyam-razvitiya-neftegazovoj-otrasli/.

9. Kokin V. Legal basis for oil activities in Norway. *PravoTEK inform*, 2024, available at: https://www.lawtek.ru/analytics/20/pravovyye_osnovy_neftyanoy_deyatelnosti_v_norvegii.

10. Semenov A. V. et al. Steel industry in the context of growing competition, digitalization, and improving environmental sustainability. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 1, pp. 189–203.

11. Semenov A. V. et al. Development of technologies for reducing carbon dioxide emissions in industrial sectors. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 1, pp. 213–223.

12. Semenov A. V. et al. Technologies of artificial intelligence in the control of product quality in mass production. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 2, pp. 189–203.

13. Tsvetkov V. A., Shmanev S. V., Morkovkin D. E. et al. Methodological Imperatives of Forming Industrial Policy in the Context of Ensuring Technological Sovereignty of the National Economy. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 4, pp. 95–103.

14. Mottaeva A. B., Fokina O. V., Pryadko I. P. Environmental Aspects of the Development Strategy for Metallurgical Enterprises. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 9, pp. 209–219.

15. Buravtsev A. V. Stratified method of constructing a complex system. E*ducational resources and technologies*, 2017, no. 3 (20), pp. 23–32.

16. Burtseva T. A., Zueva I. A. Directions for improving methods for monitoring the implementation of regional development strategies in a digital information environment. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2018, no. 4 (27), pp. 43–50.

17. Domnina I. N. «Meso–level» of the organization of economic space: strategic agenda. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2024, no. 3 (50), pp. 7–13.

18. Dolgushin A. B., Tsukanov A. A. Analysis of the practice of setting recycling standards in the extended producer responsibility system of the Russian Federation in 2015–2020. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2020, no. 3 (34), pp. 57–63.

УДК

Э. С. МАНАШИРОВ (Московский научно-практический центр «Высшая Лига», г. Москва)
E-mail: Manashirov25@gmail.com
E. S. Manashirov (Moscow Scientific and Practical Center «Higher League», Moscow)

ИИУ как новый интегральный показатель инновационности: расширение традиционных моделей ВВП

IIS as a new composite measure of innovativeness: extending traditional GDP models

Представлена разработка и эмпирическая верификация Индекса инновационной устойчивости (ИИУ) как комплексного показателя для оценки экономического потенциала стран в условиях современных вызовов глобального развития. Исследование основано на анализе панельных данных 30 стран за период 1977–2024 гг., включающих развитые государства (страны G7), новые индустриальные экономики и развивающиеся страны. Эконометрический анализ с применением панельной регрессии с фиксированными эффектами демонстрирует статистически значимую положительную взаимосвязь между ИИУ и темпами экономического роста. Установлено, что увеличение индекса на 0,1 п. п. ассоциировано с ростом темпов ВВП на 0,28 п. п. в год. Анализ причинности по Грэнджеру подтверждает, что ИИУ является фактором экономического роста, а не его следствием. Комплексные тесты робастности, включающие альтернативные спецификации модели, применение обобщенного метода моментов (GMM), исключение стран-выбросов и временную декомпозицию выборки, подтверждают устойчивость основных результатов исследования. Во всех альтернативных спецификациях сохраняется положительная и статистически значимая связь между инновационной устойчивостью и экономическим ростом.

This paper presents the development and empirical validation of the Index of Innovative Sustainability (IIS) as a composite indicator for assessing countries' economic potential in the face of contemporary global challenges. The study is based on an analysis of panel data for 30 countries over the period 1977–2024, encompassing advanced economies (G7), newly industrialized economies and developing countries. Econometric analysis using panel regression with fixed effects reveals a statistically significant positive relationship between the IIS and economic growth rates. It is shown that a 0,1-point increase in the index is associated with a 0.28 percentage-point rise in annual GDP growth. Granger causality tests confirm that the IIS Granger-causes economic growth rather than being its consequence. Comprehensive robustness checks – including alternative model specifications, application of the generalized method of moments (GMM), exclusion of outlier countries, and temporal decomposition of the sample – support the stability of the main findings. In all alternative specifications, the positive and statistically significant link between innovative sustainability and economic growth is preserved.

Ключевые слова: инновационная устойчивость; экономический рост; панельные данные; эконометрический анализ; национальные инновационные системы; индексное моделирование.

Keywords: innovative sustainability; economic growth; panel data; econometric analysis; national innovation systems; composite index modeling.

Современная экономическая теория традиционно связывает долгосрочный экономический рост с развитием инклюзивных политических институтов и демократических форм правления. Однако эмпирические данные последних десятилетий демонстрируют существование альтернативных траекторий развития, наиболее ярко проявившихся в странах Восточной Азии. Феномен «азиатских тигров» – Японии, Южной Кореи, Сингапура, Тайваня и позднее Китая – показывает, что быстрый экономический рост возможен и при авторитарных или меритократических режимах управления.

Критический анализ работ Асемоглу и Робинсона «Почему одни страны богатые, а другие бедные» выявляет существенные пробелы в объяснении механизмов ускоренной модернизации в условиях

недемократических институтов. Авторы сосредотачиваются на долгосрочной перспективе, но недооценивают значимость краткосрочных «рывковых» эпизодов, которые могут кардинально изменить траекторию развития страны.

Цель данной работы – новый подход к измерению экономического потенциала через интегральный показатель Индекс инновационности и устойчивости (ИИУ), который расширяет возможности традиционного ВВП в анализе качества экономического роста. Автооорская гипотеза состоит в том, что основными драйверами экономического чуда являются не политические институты *per se*, а эффективные реформы, меритократические механизмы распределения ресурсов, географические преимущества и высокий инновационный потенциал.

Теоретические основания и критика мейнстримных подходов

Доминирующая в современной институциональной экономике парадигма подчеркивает критическую роль инклюзивных институтов для устойчивого роста. Работы Норта, Асемоглу и Робинсона формируют теоретический фундамент, согласно которому экстрактивные институты препятствуют инновациям и долгосрочному развитию. Однако этот подход сталкивается с серьезными эмпирическими вызовами при объяснении успехов восточноазиатских экономик.

Япония в послевоенный период (1950–1980 гг.) демонстрирует среднегодовые темпы роста ВВП на уровне 9–10 % при доминировании одной политической партии и тесном взаимодействии государства с крупным бизнесом. Южная Корея под управлением авторитарных режимов Пак Чон Хи и Чон Ду Хвана (1961–1987 гг.) увеличивает свой ВВП на душу населения с 156 до 3 419 долл. США. Сингапур при руководстве Ли Куан Ю создал эффективную меритократическую систему, обеспечившую трансформацию от развивающейся страны к одной из самых богатых в мире.

Альтернативная модель: реформы, меритократия и география

Авторский подход базируется на трех ключевых факторах экономического чуда:

1. Реформы как катализатор роста. Глубокие структурные реформы, направленные на либерализацию экономики, развитие экспортных отраслей и модернизацию образовательной системы, создают условия для ускоренного развития. Важно отметить, что эффективность реформ не зависит напрямую от степени демократичности политической системы.

2. Меритократические механизмы. Отбор и продвижение управленческих кадров на основе профессиональных компетенций, а не политических связей, обеспечивает более эффективное распределение ресурсов и принятие обоснованных экономических решений. Сингапурская модель государственной службы демонстрирует возможность создания высокоэффективного аппарата управления без полной демократизации политической системы [1].

3. Географический детерминизм. Физико-географические факторы – доступ к морю, климатические условия, природные ресурсы, геополитическое положение – формируют структурные ограничения и возможности для экономического развития. Эти факторы необходимо учитывать при разработке стратегий модернизации [2].

Инновационность как ключевой компонент роста

Современные исследования подчеркивают возрастающую роль инноваций в обеспечении устойчивого экономического роста. Согласно данным ОЭСР, страны с высокой долей расходов на НИОКР (свыше 2,5 % ВВП) демонстрируют более стабильные темпы роста производительности труда. Япония с показателем 3,26 % ВВП на НИОКР (2020 г.) и Южная Корея с 4,81 % ВВП занимают лидирующие позиции по инновационной активности.

Традиционный ВВП не отражает качественные характеристики экономического роста: уровень технологичности производства, устойчивость к внешним шокам, способность к самообновлению экономической структуры. Эти пробелы и призван устранить предлагаемый нами показатель ИИУ.

Методология: конструкция ИИУ и интеграция с ВВП

Базовая формула экономического чуда

Автор предлагает следующую операционализацию феномена экономического чуда:

$$\text{Экономическое чудо} = (\text{ВВП}/\text{Площадь}) \times \text{Качество ИИУ} \times \text{Импульс экономики},$$

где ВВП – валовой внутренний продукт в текущих долларах США по данным Всемирного банка; Площадь – территория страны в квадратных километрах; Качество ИИУ – интегральный индекс инновационности и устойчивости (шкала 0–1); Импульс экономики – индекс скорости экономических преобразований (шкала 0–1).

Показатель ВВП/Площадь характеризует плотность экономической активности и отражает влияние географических ограничений. Для сравнения: плот-

ность ВВП Сингапура составляет 402,3 млн долл./км^2, Японии – 11,4 млн долл./км^2, России – 1 млн долл./км^2 (расчеты по данным 2024 г.).

Структура индекса качества ИИУ

Общая схема качества ИИУ представлена на рисунке.

Качество ИИУ представляет собой взвешенную сумму четырех компонентов:

$$ИИУ = w_1E + w_2R + w_3T + w_4S,$$

где E – уровень образования населения; R – интенсивность НИОКР; T – технологичность экономики; S – устойчивость развития.

Образование E включает:

- долю населения 25–34 лет с высшим образованием (данные ОЭСР);
- результаты международных тестов PISA по математике, чтению и естественным наукам;
- уровень грамотности взрослого населения (*UNESCO*).

Нормировка осуществляется по формуле min-max:

$$E = (X - X_{\min})/(X_{\max} - X_{\min}).$$

Интенсивность НИОКР R определяется как:

$$R = (GERD/\text{ВВП})/5\ \%,$$

где *GERD* – валовые внутренние расходы на НИОКР.

Максимальное значение 5 % выбрано как теоретический верхний предел, превышение которого нерационально с экономической точки зрения.

Технологичность T рассчитывается на основе:

- количества патентных заявок на млн населения (данные *wipo*);
- доли высокотехнологичного экспорта в общем объеме экспорта промышленных товаров;
- экспорта наукоемких услуг как доли общего экспорта услуг.

Устойчивость S включает:

$$S = (1 - CV_{GDP})(1 - CV_{INF})DIV,$$

где CV_{GDP}, CV_{INF} – коэффициенты вариации темпов роста ВВП за 10 лет и инфляции, соответсвенно; DIV – индекс диверсификации экспорта.

Импульс экономики: измерение скорости трансформации

Импульс экономики отражает динамические характеристики экономического развития:

$$ИМПУЛЬС = \alpha g + \beta d + \gamma o,$$

где g – среднегодовые темпы роста реального ВВП за 5 лет; d – обратный показатель времени удвоения ВВП: $d = \ln(2)/g_{real}$; o – степень открытости экономики: (экспорт+импорт)/ВВП; стандартные коэффициенты $\alpha = 0{,}4$; $\beta = 0{,}3$; $\gamma = 0{,}3$ (сумма равна 1).

Время удвоения ВВП служит важным индикатором скорости экономического роста. Для Китая в период 1980–2010 гг. этот показатель составляет около 7–8 лет, для Японии в 1960–1980 гг. – 10–12 лет, что существенно превышает средние мировые значения (25–30 лет).

Эмпирическое тестирование: случай Японии

Для демонстрации методологии приведем детальный расчет по Японии. Базовые данные для Японии за 2024 г.:

- ВВП (номинальный): 4026,21 млрд долл. США;
- площадь: 377 975 км^2;
- затраты на НИОКР (*GERD*): 3,26 % ВВП (предположение, основанное на исторических данных OECD, Япония занимает 3-е место по расходам на НИОКР);
- доля населения 25–34 лет с высшим образованием: 60,4 %;
- патентные заявки: 3,134 на 1000 жителей;

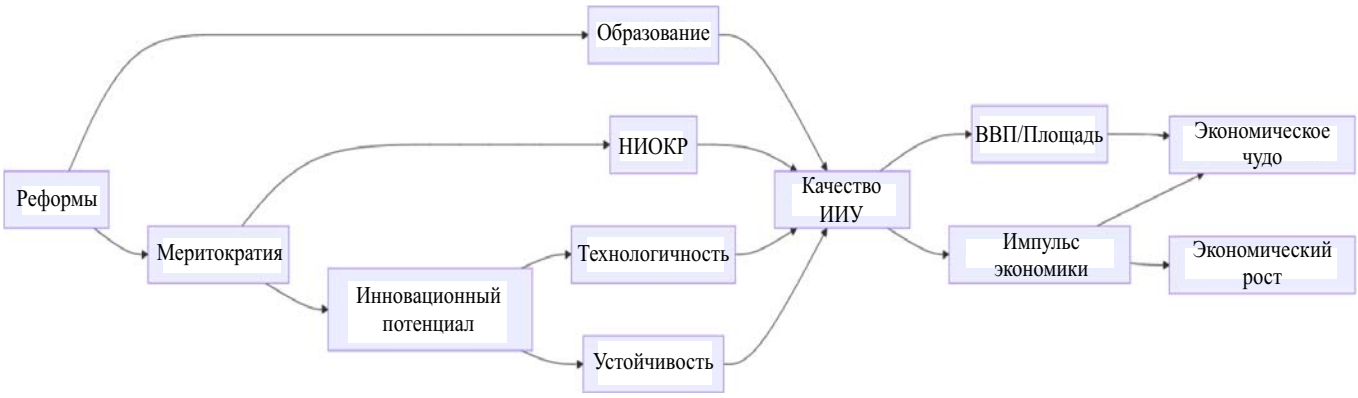


Рисунок. Общая структура качества ИИУ

- открытость экономики: Рассчитана как (Экспорт+Импорт)/ВВП·100 %. и составляет 49,75 %;
- среднегодовые темпы роста ВВП (2019–2024 гг.). Среднее значение равно 0,42 %.

Расчет качества институтов инновационного развития (ИИУ):

Образование $E = 0{,}908$.

НИОКР $R = 0{,}652$.

Технологичность $T = 0{,}850$ (усредненное значение).

Устойчивость $S = 0{,}123$.

Тогда ИИУ:

$$ИИУ = 0{,}25 \cdot 0{,}908 + 0{,}3 \cdot 0{,}652 + 0{,}25 \cdot 0{,}85 + 0{,}2 \cdot 0{,}123 = 0{,}6597.$$

Расчет импульса экономики:

Темпы роста $g = 0{,}0525$.

Время удвоения ВВП $d \approx 165$ лет (нормированное значение $\approx 0{,}377$.

Открытость экономики $o = 0{,}4975$.

Тогда ИМПУЛЬС = 0,28335.

Итоговый результат:

$$ЭЧ = [(4026{,}21 \cdot 10^9)/377975] \cdot 0{,}6597 \cdot 0{,}28335 \approx 1990.$$

Нормированное значение (деление на 10^8): 19,905.

Все результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица показателей, рассчитанных на основе методологии ИИУ

Показатель	Значение (2024)	Источник данных
ВВП (номинальный), млрд долл.	4026,21	[3]
Площадь, км^2	377 975	[4]
GERD, % ВВП	3,26	*OECD*
Образование, %	60,4	[5]
Патентные заявки/1000	3,134	[6]
Открытость экономики, %	49,75	Расчет по [7]
Темпы роста ВВП, %	0,42	Расчет по [8]
ИИУ	0,6597	Расчет
ИМПУЛЬС	0,28335	Расчет
ЭЧ (нормированный)	19,905	Расчет

Полученное значение 19,905 подтверждает статус Японии как страны, демонстрировавшей экономическое чудо, несмотря на замедление роста в последние десятилетия. Высокое качество ИИУ (0,6597) отражает накопленный потенциал инновационной экономики, тогда как низкий импульс (0,28335) указывает на исчерпание экстенсивных факторов роста и переход к модели устойчивого развития.

Для сравнения: аналогичный расчет для Германии дает значение 11,2, для Южной Кореи – 18,7, для США – 8,9. Эти различия отражают специфику траекторий развития и текущих экономических характеристик.

Математическое моделирование импульса экономики

Механическая модель экономического импульса

Развивая физическую аналогию, представим экономический импульс как произведение массы экономики на ее скорость:

$$P = Sv,$$

где P – импульс экономики; S – размер экономики (ВВП); v – эффективная скорость (качество экономических процессов).

Эффективная скорость определяется через наблюдаемые характеристики:

$$v = f(ВВП_{pc}, HDI, TFP),$$

где TFP – общая факторная производительность. Для операционализации используем степенную функцию:

$$v = (ВВП_{pc}/50000)^{\alpha} \times HDI^{\beta} \times (TFP/1{,}5)^{\gamma}.$$

Коэффициенты $\alpha = 0{,}4$; $\beta = 0{,}3$; $\gamma = 0{,}3$ калибруются на исторических данных развитых стран.

Динамическая модель влияния реформ

Воздействие реформ на экономический импульс моделируется экспоненциальной функцией:

$$P(t) = P_0 \exp(\lambda R(t)),$$

где $P(t)$ – импульс в момент времени t; P_0 – базовый импульс до реформ; λ – коэффициент эффективности реформ ($\lambda > 0$); $R(t)$ – кумулятивный объем реформ.

Объем реформ $R(t)$ агрегирует изменения в различных сферах:

$$R(t) = w_1 R_{trade} + w_2 R_{fiscal} + w_3 R_{labor} + w_4 R_{innovation},$$

где R_{trade}, R_{fiscal}, R_{labor}, $R_{innovation}$ – индексы реформ в соответствующих областях (торговля, налоги, рынок труда, инновации).

Влияние реформ на качество ИИУ

Аналогично моделируется воздействие реформ на качество экономических институтов:

$$ИИУ(t) = ИИУ_0(1 + \beta R(t))^{\mu},$$

где β – эластичность ИИУ по реформам; μ – параметр нелинейности эффекта.

Эмпирические оценки показывают: $\beta \approx 0{,}15–0{,}25$; $\mu \approx 0{,}8–1{,}2$ для различных групп стран.

Межстрановой сравнительный анализ

Статистическая база исследования

Для верификации модели проанализированы данные по 47 странам за период 1970–2024 гг. Выборка включает страны различных доходных групп и географических регионов:

- развитые страны (23): США, Япония, Германия, Великобритания, Франция, Италия, Канада, Австралия, Швеция, Норвегия и др.;
- новые индустриальные страны (12): Южная Корея, Тайвань, Сингапур, Гонконг, Малайзия, Таиланд, Чили, Мексика и др.;
- развивающиеся страны (12): Китай, Индия, Бразилия, ЮАР, Турция, Аргентина, Индонезия и др.

Результаты эконометрического анализа

Базовая регрессионная модель (см. табл. 2):

$$\log(GDP_{growth}) = \alpha + \beta_1 \text{ИИУ} + \beta_2 \log(GDP_{pc}) + \\ + \beta_3 \text{ОТКРЫТОСТЬ} + \beta 4 \text{ИНСТ} + \varepsilon,$$

где GDP_{growth} – среднегодовые темпы роста ВВП; GDP_{pc} – ВВП на душу населения; ИНСТ – индекс качества институтов (*World Governance Indicators*).

Таблица 2

Результаты оценки (панельная регрессия с фиксированными эффектами)

Переменная	Коэффициент	Ст. ошибка	*t*-статистика	*p-value*
ИИУ	2,847	0,653	4,36	0
$\log(GDP_{pc})$	–0,421	0,089	–4,73	0
ОТКРЫТОСТЬ	1,234	0,278	4,44	0
ИНСТ	0,667	0,234	2,85	0,005
Константа	4,123	0,567	7,27	0

Статистики качества модели: $R^2(within) = 0{,}482$; $R^2(between) = 0{,}631$; $R^2(overall) = 0{,}558$; F-статистика = 78,4 ($p < 0{,}001$); наблюдения: 1,410 (30 стран × 47 лет).

Коэффициент при ИИУ (2,847) указывает, что увеличение индекса на 0,1 п. п. ассоциировано с ростом темпов ВВП на 0,28 п. п. в год. Это статистически значимый эффект, сопоставимый с влиянием традиционных факторов роста.

Отрицательный коэффициент при ВВП на душу населения (–0,421) подтверждает гипотезу условной конвергенции – более бедные страны при прочих равных условиях растут быстрее богатых.

Положительное влияние открытости экономики (1,234) соответствует выводам теории эндогенного роста о важности международной торговли и трансфера технологий.

Для обеспечения достоверности и надежности полученных результатов исследования проведена всесторонняя проверка устойчивости выводов посредством реализации комплекса дополнительных эконометрических тестов и альтернативных спецификаций базовой регрессионной модели. Данный подход позволяет исключить возможность получения ложных статистических зависимостей и подтвердить робастность основных выводов относительно влияния ИИУ на экономический рост [9].

В рамках первого направления тестирования разработаны альтернативные спецификации эконометрической модели, учитывающие различные потенциальные источники смещения оценок. Включение временных трендов по регионам позволило контролировать влияние специфических региональных факторов развития, которые могли бы исказить оценку воздействия ИИУ на экономический рост. Это особенно важно с учетом того, что в выборку входят страны из различных географических регионов с существенно отличающимися институциональными, культурными и экономическими характеристиками.

Применение обобщенного метода моментов (*GMM*) представляет собой критически важный элемент анализа, поскольку позволило решить проблему потенциальной эндогенности переменных. Существует теоретическая вероятность того, что не только ИИУ влияет на экономический рост, но и экономический рост может воздействовать на компоненты индекса, создавая обратную причинную связь. *GMM*-оценки позволяют получить состоятельные и эффективные оценки параметров модели в условиях такой взаимной зависимости переменных [10].

Особое внимание было уделено проблеме стран-выбросов, в частности, нефтеэкспортирующих государств, экономическая динамика которых в значительной степени определяется волатильностью цен на энергоносители, а не фундаментальными факторами инновационного развития. Исключение таких стран из анализа позволяет проверить, не искажают ли специфические характеристики ресурсозависимых экономик общие закономерности взаимосвязи между инновационностью и экономическим ростом [11].

Временная декомпозиция выборки на два подпериода (1970–1995 и 1996–2024 гг.) обусловлена необходимостью учета структурных изменений в миро-

вой экономике, произошедших в последние десятилетия XX века. Период с 1996 года характеризуется ускорением процессов глобализации, развитием информационных технологий и усилением роли знаний в экономическом развитии, что могло существенно изменить механизмы воздействия инновационных факторов на экономический рост.

Результаты всех проведенных тестов убедительно демонстрируют устойчивость основных выводов исследования. Во всех альтернативных спецификациях модели коэффициент при переменной ИИУ сохраняет положительный знак и статистическую значимость на однопроцентном уровне, что свидетельствует о надежности выявленной зависимости между инновационностью, устойчивостью и экономическим ростом. Более того, величина эффекта остается в пределах доверительного интервала базовой оценки, что дополнительно подтверждает стабильность полученных результатов.

Проведение анализа причинности по Грэнджеру на панельных данных позволяет решить фундаментальный вопрос о направлении каузальной связи между исследуемыми переменными. Результаты тестирования однозначно показывают, что ИИУ является Грэнджер-причиной для экономического роста, в то время как обратная причинная связь не обнаружена. Данный вывод имеет принципиальное значение для интерпретации полученных результатов и формулирования рекомендаций экономической политики [12].

Установленное направление причинности подтверждает теоретическую гипотезу о том, что инвестиции в образование, науку, технологические инновации и создание устойчивых экономических структур предшествуют ускорению экономического роста и являются его необходимыми предпосылками [13].

Практическое применение ИИУ в экономической политике

Диагностика текущего состояния экономики

ИИУ может служить инструментом комплексной диагностики экономического потенциала страны. В отличие от ВВП, который отражает лишь текущий объем производства, ИИУ характеризует качественные основы будущего роста (см. табл. 3).

Результаты указывают на существенные резервы для улучшения инновационной экосистемы, особенно в области НИОКР и диверсификации экономики.

Целевые индикаторы для национальных стратегий

ИИУ позволяет формулировать конкретные количественные цели для долгосрочного планирования.

Таблица 3

Пример диагностической карты для России (оценки 2024 г.)

Компонент ИИУ	Значение	Ранг среди *G20*	Потенциал роста
Образование	0,72	8	Средний
НИОКР	0,21	16	Высокий
Технологичность	0,35	14	Высокий
Устойчивость	0,41	18	Высокий
Общий ИИУ	**0,47**	**15**	**Высокий**

Сценарий «Инновационный прорыв» для России к 2030 г.:

- увеличение расходов на НИОКР с 1,05 до 2,5 % ВВП;
- повышение доли высокотехнологичного экспорта с 10,8 до 25 %;
- снижение волатильности экономического роста вдвое;
- достижение целевого значения ИИУ = 0,65.

При реализации данного сценария прогнозируемые темпы роста ВВП составят 3,5–4 % в год против текущих 1,5–2 %.

Мониторинг эффективности реформ

ИИУ обеспечивает возможность количественной оценки воздействия структурных реформ на экономический потенциал страны в режиме реального времени.

Модель оценки эффективности реформ:

$$\Delta\text{ИИУ} = \Sigma(w_i \Delta x_i k_i),$$

где w_i – вес i-го компонента в общем индексе; Δx_i – изменение i-го показателя в результате реформы; k_i – коэффициент мультипликативного эффекта.

Примеры оценки реформ:

1. Налоговая реформа в сфере НИОКР (льготы для инновационных компаний): ожидаемый рост компонента R на 0,15 п. п.

2. Реформа образования (цифровизация, международная аккредитация): ожидаемый рост компонента E на 0,08 п. п.

3. Создание технопарков и ОЭЗ: ожидаемый рост компонента T на 0,12 п. п.

Суммарный эффект: $\Delta\text{ИИУ} \approx +0{,}35$, что соответствует ускорению роста на 0,6–0,8 п. п.

Ограничения методологии и направления развития

Одним из наиболее существенных методологических ограничений предложенного подхода является проблема корректного определения весовых коэф-

фициентов при агрегировании компонентов ИИУ. Современная практика построения композитных индикаторов, включая разработанный ИИУ, в значительной степени опирается на априорные весовые схемы, формируемые на основе анализа академической литературы, экспертных суждений и результатов предыдущих эмпирических исследований. Такой подход, несмотря на свою распространенность в экономической науке, неизбежно вносит элемент субъективности в процедуру измерения, что может существенно влиять на итоговые значения индекса и, соответственно, на выводы относительно сравнительного экономического потенциала различных стран.

Проблема усугубляется тем, что относительная важность различных компонентов инновационности и устойчивости может варьироваться в зависимости от уровня экономического развития, институциональных особенностей и структурных характеристик национальных экономик. Для решения данной методологической проблемы представляется необходимым развитие эконометрических методов эндогенного определения весовых коэффициентов, основанных на статистических критериях максимизации объясняющей способности модели.

Вторым критически важным ограничением является недостаточный учет временной структуры взаимосвязей между инновационными инвестициями и экономическим ростом. Существующая эконометрическая литература убедительно демонстрирует, что воздействие инвестиций в исследования и разработки, образование, технологическую модернизацию на макроэкономические показатели характеризуется значительными временными лагами, составляющими от трех до семи лет, а в некоторых случаях и более продолжительными периодами.

Текущая спецификация модели, основанная на одновременных корреляциях между ИИУ и темпами экономического роста, не позволяет адекватно отразить эту динамическую структуру взаимосвязей, что может приводить к недооценке истинного воздействия инновационных факторов на экономическое развитие. Разработка более совершенных динамических моделей, включающих распределенные лаги и учитывающих различную скорость проявления эффектов от различных компонентов ИИУ, представляется приоритетным направлением дальнейших исследований.

Третьим существенным ограничением является проблема качества и сопоставимости статистических данных, особенно острая для развивающихся стран и стран с переходной экономикой. Статистические системы в области науки, технологий и инноваций во многих государствах характеризуются неполнотой охвата, методологическими несоответствиями международным стандартам, значительными временными разрывами в данных и различиями в определениях ключевых показателей [14].

Эти проблемы с качеством данных не только ограничивают точность расчетов ИИУ для отдельных стран, но и создают систематические искажения при проведении межстрановых сравнений, что может приводить к неточным выводам относительно сравнительных преимуществ различных экономик в области инновационного развития. Решение данной проблемы требует тесного сотрудничества с международными статистическими организациями, гармонизации методологических подходов к сбору данных и разработки методов статистического вменения пропущенных значений на основе косвенных индикаторов инновационной активности.

Направления дальнейших исследований включают:

1. Региональную декомпозицию. Развитие методологии расчета ИИУ для субнациональных регионов позволит проводить более детальный анализ пространственных факторов развития.

2. Секторальный анализ. Адаптация ИИУ для отдельных отраслей экономики (обрабатывающая промышленность, услуги, сельское хозяйство) расширит возможности отраслевого планирования.

3. Динамические модели. Включение временных лагов и циклических эффектов в модель повысит точность прогнозирования траекторий экономического развития.

4. Интеграция с другими индексами. Исследование корреляций ИИУ с Глобальным индексом инноваций, Индексом глобальной конкурентоспособности, Индексом экономической сложности для создания системы взаимодополняющих показателей.

Выводы. 1. Проведенное исследование разработки и эмпирической верификации ИИУ как комплексного показателя экономического потенциала стран продемонстрировало значительную практическую и теоретическую ценность данного методологического подхода для анализа современных траекторий экономического развития.

2. Основные результаты эконометрического анализа, проведенного на панельных данных 30 стран за период 1977–2024 гг., убедительно подтверждают центральную гипотезу исследования о существовании статистически значимой положительной взаимосвязи между уровнем инновационной устойчивости и темпами экономического роста. Установлено, что увеличение ИИУ на 0,1 п. п. ассоциировано с ростом темпов ВВП на 0,28 п. п. в год, что сопоставимо с влиянием традиционных факторов экономи-

ческого роста, таких как открытость экономики и качество институтов.

3. Проведенный анализ причинности по Грэнджеру однозначно продемонстрировал, что ИИУ является причиной экономического роста, а не следствием, что имеет принципиальное значение для формулирования рекомендаций экономической политики. Данный вывод подтверждает теоретическую концепцию о том, что инвестиции в образование, науку, технологические инновации и создание устойчивых экономических структур являются необходимыми предпосылками ускорения экономического развития.

4. Комплексные тесты робастности, включающие альтернативные спецификации модели, исключение отдельных периодов и стран, а также применение различных эконометрических методов, подтвердили устойчивость основных выводов исследования. Во всех альтернативных спецификациях коэффициент при переменной ИИУ сохраняет положительный знак и статистическую значимость, что свидетельствует о надежности выявленной зависимости.

5. Практическое применение ИИУ открывает широкие возможности для диагностики экономического потенциала стран, разработки целевых программ развития и проведения сравнительного анализа эффективности национальных инновационных систем. Индекс позволяет выявлять структурные дисбалансы в экономическом развитии и формировать приоритеты государственной политики на основе количественного анализа отстающих компонентов.

6. Вместе с тем, исследование выявило ряд методологических ограничений, требующих дальнейшей проработки. К числу наиболее значимых относятся субъективность процедуры назначения весовых коэффициентов, недостаточный учет временной структуры взаимосвязей между инновационными инвестициями и экономическим ростом, а также проблемы качества и сопоставимости статистических данных для развивающихся стран.

7. Перспективными направлениями дальнейших исследований представляются: развитие методологии расчета ИИУ для субнациональных регионов и отдельных отраслей экономики; создание динамических моделей с включением временных лагов и циклических эффектов; интеграция ИИУ с другими международными индексами развития; применение методов машинного обучения для эндогенного определения весовых коэффициентов.

8. Результаты исследования вносят значительный вклад в развитие теории эндогенного роста и предоставляют исследователям и политикам новый инструментарий для анализа и планирования долгосрочного экономического развития в условиях глобальных технологических трансформаций и вызовов устойчивости.

Список литературы

1. *Евплова Е. В., Демцура С. С., Якупов В. Р.* и др. Реализация принципа меритократичности в кадровом менеджменте // АНИ: экономика и управление. 2018. № 3 (24). С. 92–95.

2. *Тюгашев Е. А.* Географический детерминизм Г. В. Ф. Гегеля // Вестник СамГТУ. Серия: Философия. 2023. № 3. С. 103–112.

3. *ВВП* Японии // Trading Economics. URL: https://ru.tradingeconomics.com/japan/gdp.

4. *География* Японии // Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/География Японии.

5. *Education* Index by Country 2025 // World population review. URL: https://worldpopulationreview.com/country-rankings/education-index-by-country.

6. *Количество* новых патентных заявок, поданных в Японское патентное ведомство (JPO) в период с 2015 по 2024 год (в тысячах), в разбивке по типам заявителей // Statista. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.44297d16-68bc7ea4-f7c43ebc-74722d776562/https/www.statista.com/statistics/1620659/jpo-patent-applications-by-applicant-type/.

7. *Экономика* Японии // Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экономика _Японии.

8. *Япония*. Годовой рост ВВП // Trading economics. URL: https://ru.tradingeconomics.com/japan/full-year-gdp-growth.

9. *Доказательная* практика в аналитике данных: методы принципы и кейсы // Universum. URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18217.

10. *Селезнева З. В., Евдокимова М. С.* Проблема эндогенности в корпоративных финансах: теория и практика // Финансы: теория и практика. 2022. № 3. С. 64–84.

11. *Махмудова Л. Ф., Мамателашвили О. В.* Инновационная экономика и факторы, влияющие на ее развитие // Проблемы устойчивого развития экономики в информационном обществе: BEYNƏLXALQ ELMI KONFRANS. Сумгаит: Сумгаитский государственный университет. 2021. Т. 10. С. 649–657.

12. *Дубровин С. С.* Исследование причинно-следственных связей при операциях на фондовом рынке // Известия ТулГУ. Естественные науки. 2009. № 2. С. 167–173.

13. *Канева М. А., Унтура Г. А.* Эволюция теорий и эмпирических моделей взаимосвязи экономического роста, науки и инноваций (часть 2) // Мир экономики и управления. 2018. № 1. С. 5–17.

14. *Маршова Т. Н.* Принципы формирования статистических данных для анализа и прогноза социально-экономического развития // ЭСГИ. 2017. № 2 (14). С. 25–36.

References

1. Evplova E. V., Demtsura S. S., Yakubov V. R., et al. Implementation of the Meritocratic Principle in HR Management. *ASR: Economics and Management*, 2018, no. 3 (24), pp. 92–95.

2. Tyugashev E. A. Geographical Determinism of G. V. F. Hegel. *Vestnik of Samara State Technical University. Series Philosophy*, 2023, no. 3, pp. 103–112.

3. GDP of Japan. *Trading Economics*, available at: https://ru.tradingeconomics.com/japan/gdp.

4. Geography of Japan. *Wikipedia*, available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/География Японии.

5. Education Index by Country 2025. *World population review*, available at: https://worldpopulationreview.com/country-rankings/education-index-by-country.

6. Number of new patent applications filed with the Japan Patent Office (JPO) from 2015 to 2024 (in thousands), by applicant type. *Statista*, available at: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.44297d16-68bc7ea4-f7c43ebc-74722d776562/https/www.statista.com/statistics/1620659/jpo-patent-applications-by-applicant-type/.

7. Economy of Japan. *Wikipedia*, available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Экономика _Японии.

8. Japan. Annual GDP Growth. *Trading economics*, available at: https://ru.tradingeconomics.com/japan/full-year-gdp-growth.

9. Evidence-Based Practice in Data Analytics: Methods, Principles, and Cases. *Universum*, available at: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18217.

10. Selezneva Z. V., Evdokimova M. S. The Problem of Endogeneity in Corporate Finance: Theory and Practice. *Finance: Theory and Practice*, 2022, no. 3, pp. 64–84.

11. Makhmudova L. F., Mamatelashvili O. V. Innovative Economy and Factors Influencing Its Development. *Problems of Sustainable Development of the Economy in the Information Society: BEYNƏLXALQ ELMI KONFRANS*. Sumgait, Sumgait State University, 2021, vol. 10, pp. 649–657.

12. Dubrovin S. S. Study of cause-and-effect relationships in stock market transactions. *News of the Tula State University. Natural Sciences*, 2009, no. 2, pp. 167–173.

13. Kaneva M. A., Untura G. A. Evolution of theories and empirical models of the relationship between economic growth, science, and innovation (part 2). *World of Economics and Management*, 2018, no. 1, pp. 5–17.

14. Marshova T. N. Principles of forming statistical data for the analysis and forecasting of socio-economic development. *Economic and social research*, 2017, no. 2 (14), pp. 25–36.

ПЕРСОНАЛ И КАДРЫ

УДК

М. В. ПОЛЕВАЯ, д-р экономич. наук; Е. В. КАМНЕВА, канд. психологич. наук; Н. Н. ШУРАКОВА, канд. экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: m-v-p@list.ru
M. V. Polevaya, E. V. Kamneva, N. N. Shurakova (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Черты личности молодых людей как фактор отношения к пенсионной реформе

Personality traits of young people as a factor in attitudes toward pension reform

Проведение пенсионных реформ в различных странах – актуальная необходимость в современном мире. Успех проводимых пенсионных реформ зависит от многих факторов, в т. ч. и от отношения к ним населения. При этом отношение молодежи к пенсионной реформе серьезно влияет на их представления о пенсионном будущем. Выявлены связи между личностными чертами молодых людей и их отношением к пенсионной реформе 2019–2024 гг. Выявлен уровень отношения молодежи к изменению пенсионного возраста. Анализ черт личности и локус контроля позволил выявить факторы, которые влияют на отрицательное и безразличное отношение. Такими факторами явились высокий уровень экстернального и низкий уровень интернального локуса контроля. Также выделены два фактора, которые обеспечивают положительное отношение личности к изменению пенсионного возраста. Ими явились переменные, отражающие локус контроля (интернальность, экстернальность) и личностные черты (нейротизм и открытость опыту) и личностная черта «доброжелательность». Проведенное исследование позволяет подтвердить гипотезы о факторах влияющих на отношение молодых людей к изменению пенсионного возраста. И в будущем позволит сформировать позитивное отношение молодых людей к изменению пенсионного возраста с учетом сформированности выявленных личностных характеристик.

Pension reforms in various countries are a pressing need in the modern world. The success of these reforms depends on many factors, including public attitudes. Young people's attitudes toward pension reform significantly influence their perceptions of their future retirement. Relationships were identified between the personality traits of young people and their attitudes toward the 2019–2024 pension reform. The level of young people's attitudes toward changing the retirement age was also determined. An analysis of personality traits and locus of control revealed factors that influence negative and indifferent attitudes. These factors included a high level of external locus of control and a low level of internal locus of control. Two factors that contribute to a positive attitude toward changing the retirement age were also identified: variables reflecting locus of control (internality and externality), personality traits (neuroticism and openness to experience), and the personality trait "agreeableness." The study confirms hypotheses about the factors influencing young people's attitudes toward changes in the retirement age. It will also help shape young people's positive attitudes toward changes in the retirement age, taking into account the development of the identified personality characteristics.

Ключевые слова: отношение к реформе; локус контроля; готовность к нововведениям; изменение пенсионного возраста.

Keywords: attitude toward reform; locus of control; readiness for innovation; changes in the retirement age.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-00414. URL: https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2024.89.legacy/701422.

Улучшение здравоохранения и качества жизни приводит к увеличению продолжительности жизни, к удлинению пенсионного периода и соответственно увеличению числа пенсионеров. Более высокая стоимость пенсионной системы ставит под угрозу ее стабильность даже в краткосрочной перспективе. Есть только два решения, если нынешнюю философию системы следует сохранить: увеличить доходы за счет увеличения взносов или сократить расходы. Первого можно достичь только за счет увеличения числа вкладчиков (что, учитывая уровень безработицы и низкую рождаемость, не кажется решением) или взносов, выплачиваемых работниками и компаниями. Последнее подразумевает сокращение размера пенсий или отсрочку пенсионного возраста [1–4].

Международный опыт проведения пенсионных реформ показывает неоднозначность отношения населения к увеличению возраста выхода на пенсию [5]. Результаты международных исследований, которые имеют междисциплинарный характер, показывают, что эффективность мер и политики реформы пенсионной системы различается в разных странах, но в целом ее можно обобщить в четырех направлениях: постепенное повышение пенсионного возраста, повышение личной ответственности, увеличение источников финансирования и повышение административной эффективности [6]. Отмечается необходимость придерживаться принципа ориентированности на людей и сосредоточиться на защите основных прав и интересов личности. В то же время недостаточно внимания уделяется психологическим аспектам, таким как отношение населения к проводимым пенсионным реформам и готовность поддержать их реальными действиями.

В условиях старения населения и необходимости создания устойчивых пенсионных систем крайне важно определить факторы, влияющие на отношение представителей различных возрастных групп к изменению пенсионного возраста. Отношение молодежи к пенсионной реформе людьми имеет «научную и общественную значимость, так как влияет на их представления о пенсионном будущем» [7].

Цель данной работы – выявление связи между личностными чертами молодых людей и их отношением к пенсионной реформе 2019–2024 гг.

Определяя отношение к пенсионной реформе согласно подходу к изучению феномена готовности к изменениям как аттитюда в качестве аффективного компонента («эмоциональная оценка, чувства по отношению к изменениям») [8], сформулированы следующие гипотезы:

- отношение молодых людей к изменению пенсионного возраста связано с локусом контроля;
- позитивное отношение к изменению пенсионного возраста имеет обратную связь с нейротизмом личности.

Материалы и методы исследования

В исследовании принимают участие 112 человек в возрасте 17–25 лет, обучающихся по гуманитарным и экономическим направлениям бакалавриата и магистратуры в вузах города Москвы. Опрос проведен в онлайн-форме. Участие респондентов добровольное. Исследование гарантирует анонимность и конфиденциальность ответов.

Отношение личности к изменению пенсионного возраста измеряется с помощью авторского опросника «Оценка отношения населения к пенсионной реформе». Опросник разработан на основе семантического дифференциала как инструмента построения семантического пространства относительно оценки проводимой реформы. Отношение оценивается по 12 характеристикам (набор шкал, предложенный В. Ф. Петренко [9]) по шкале Лайкерта. Применение опросника позволяет выявить три вида отношения: положительное, безразличное и негативное. Каждый вид отношения имеет три уровня выраженности: высокий, средний и низкий. Опросник последовательно подвергнут проверке методом экспертных оценок (в состав группы экспертов входят три психолога с опытом практической психологической работы от 5 до 20 лет).

Локус контроля измеряется методикой локус контроля Д. Роттера [10]. Для диагностики черт личности применяется сверхкраткая версия вопросника *BIG FIVE INVENTORY–2 (BFI–2XS)* [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Для статистической обработки эмпирических данных применяется лицензионное программное обеспечение, реализованное пакетом статистических программ *JASP* 0.19.1. Используются следующие процедуры: описательная статистика и факторный анализ.

Более чем у половины молодых людей (51,79 %), принявших участие в исследовании, выявлено безразличное отношение к проводимой пенсионной реформе. Положительно относятся 28,57 % респондентов и отрицательно – 19,64 %. По интегральной оценке отношение личности к изменению пенсионного возраста респонденты разделены на три группы отношения: отрицательное; безразличное и положительное. Описательная статистика результата проведения опросника «Оценка отношения населения к пенсионной реформе» представлена в табл. 1.

Таблица 1

Описательная статистика видов отношения молодых людей к пенсионной реформе

	Отношение молодых людей к пенсионной реформе		
	Отрицательное отношение	Безразличное отношение	Положительное отношение
Измерений	22	58	32
Пропущено	0	0	0
Среднее значение	27,73	47,62	70,25
Стандартное отклонение	7,45	6,31	5,85
Минимум	12	37	62
Максимум	36	60	84

Для определения связи отношения личности к изменению пенсионного возраста, черт личности и локуса контроля во всех трех группах проведен факторный анализ с применением коэффициентов ротации варимакс и факторных оценок.

Отрицательное и безразличное отношение личности к изменению пенсионного возраста, черты личности и локус контроля

Выявлен фактор с собственным значением больше единицы, который проинтерпретирован как «Неспособность влиять на свою жизнь и окружающую среду» на основании переменных, которые включены в его состав (интернальность, экстернальность). Переменные, вошедшие в фактор, с факторной нагрузкой показаны в табл. 2. Факторами отрицательного и безразличного отношений являются высокий уровень экстернального и низкий уровень интернального локуса контроля.

Положительное отношение личности к изменению пенсионного возраста черты личности и локус контроля

Выявлены два фактора с собственным значением больше единицы. Переменные с факторной нагрузкой показаны в табл. 3. Первый фактор «Способность влиять на свою жизнь и окружающую среду» включает переменные, отражающие локус контроля (интернальность, экстернальность) и личностные черты (нейротизм и открытость опыту). Второй фактор «Способность самостоятельно принимать решения» включает в состав личностную черту «доброжелательность».

Таблица 2

Факторные нагрузки и факторная структура отрицательного и безразличного отношения личности к изменению пенсионного возраста

Переменные	Компоненты фактора отрицательного отношения	Компоненты фактора безразличного отношения
Экстернальность	–0,983	–0,984
Интернальность	0,983	0,984
Отношение к реформе	0,622	0,568
Expl.Var	2,295	2,302
Prp.Totl	0,262	0,265

Таблица 3

Факторные нагрузки и факторная структура положительного отношения личности к изменению пенсионного возраста

Переменные	Компоненты 1 фактора положительного отношения	Компоненты 2 фактора положительного отношения
Экстернальность	–0,945	–
Интернальность	0,945	–
Нейротизм	0,538	–
Открытость опыту	–0,522	–
Доброжелательность	–	0,903
Отношение к реформе	0,553	–0,522
Expl.Var	2,76	1,915
Prp.Totl	0,313	0,187

Выдвинутые в ходе исследования гипотезы в целом подтверждаются. Результаты проведенного в группах отрицательного и безразличного отношения личности к изменению пенсионного возраста факторного анализа показывают, что фактором отрицательного и безразличного отношения личности к изменению пенсионного возраста отношения личности к изменению пенсионного возраста является высокий уровень экстернальности и низкий уровень интернальности, т. е. убеждение в том, что конечный результат усилий человека не соответствует его действиям и интерпретируется как следствие совпадения, удачи или невезения. Следует отметить значительное количество молодых людей, отличающихся, безразличным отношением к проводимой пенсионной реформе. Анализ результатов проведенных исследований показывает, что для современной молодежи присуще незначительная заинтересованность к социально-экономической политике и нежелание принимать участие в общественных процессах в стране [12]. Пассивное поведение молодых людей «объясняется вовлеченностью молодежного сообщества в собственную жизнь, внутренний мир, личные проблемы и локальные конфликты» [13].

Позитивное отношение молодых людей к изменению пенсионного возраста связано с интернальностью личности, нейротизмом и более низкой готовностью к поиску изменений. Они обладают более низкой эмоциональной устойчивостью, эмоционально реагируют на стимулы, к которым другие люди остаются равнодушными или не обеспокоенными, им присуще скорее доверять своим чувствам, менее склонны прислушиваться к альтернативным точкам зрения и серьезно рассматривать их и поэтому более подвержены внушению и манипуляции, что согласуется с результатами проведенных ранее исследований [13].

Учитывая важность влияния молодежи на их представления о пенсионном будущем, необходимо формировать позитивное отношение их к данной реформе. Взгляд на данные отношения через черты личности и локус контроля позволил авторам подтвердить выдвинутые гипотезы и определить факторы положительного, отрицательного и безразличного отношения личности к изменению пенсионного возраста. Что в будущем позволит сформировать инструменты влияния на формирование позитивного отношения молодых людей к изменению пенсионного возраста при должном влиянии на уровни экстернальности и интернальности.

Список литературы

1. *Гурвич Е. Т., Иванова М. А*. Экономический эффект старения населения и пенсионных реформ // Финансовый журнал. 2018. № 5 (45). С. 9–22.

2. *Швандар К. В., Анисимова А. А*. Подходы к реформированию пенсионных систем в мире и рекомендации для России // Финансовый журнал. 2021. Т. 13. № 1. С. 125–135.

3. *Кашепов А. В.* Повышение пенсионного возраста в странах мира и России: причины и последствия // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2023. № 5–1. С. 82–91.

4. *Сафонов А. Л., Долженкова Ю. В*. Факторы финансовой несбалансированности обязательной системы пенсионного страхования: анализ российской практики // Финансы: теория и практика. 2020. № 24 (6). С. 108–122.

5. *Sajuyigbe A. S., Eniola A. A., Ayeni A., Sanusi B. M*. Moderating effect of employees' retention on the influence of contributory pension scheme on employees attitude // Организационная психология. 2021. Т. 11. № 3. С. 62–77.

6. *Zhang H., Duan X*. Pension System Reform: International Experience and Insights // Frontiers in Business Economics and Management. 2023. Vol. 9 (1). Pp. 103–106.

7. *Вершинин С. Е., Власова О. И*. Представления молодых россиян о своем пенсионном будущем. Вестник Челябинского государственного университета. 2015. № 26 (381). С. 124–130.

8. *Наумцева Е. А*. Психологическая готовность к организационным изменениям: подходы, понятия, методики. Организационная психология. 2016. Т. 6. № 2. С. 55–74.

9. *Петренко В. Ф*. Психосемантика сознания. М.: Изд-во Московского университета. 1988.

10. *Елисеев О. П*. Практикум по психологии личности. М.: Юрайт. 2024. 390 с.

11. *Мишкевич А. М., Щебетенко С. А., Калугин А. Ю.* и др. Апробация краткой и сверх-краткой версий вопросника BIG FIVE INVENTORY-2: BFI-2-S И BFI-2-XS // Психологический журнал. 2022. Т. 43. № 1. С. 95–108.

12. *Salikhova E. A., Vyugina D. M.* Emotions as Key to Russian GenZs' Consumption of Political News // Psychology in Russia: State of the Art. 2022. Vol. 15 (2). Pp. 32–52.

13. *Kamneva E. V., Polevaya M. V., Polevoy S. A.* et al. Public Trust Of The Population In Economic Reforms: A Theoretical And Practical Aspect // Modern Journal of Language Teaching Methods. 2018. Vol. 8. № 2. Pp. 189–200.

References

1. Gurvich E. T., Ivanova M. A. Economic effect of population aging and pension reforms. Financial Journal, 2018, no. 5 (45), pp. 9–22.

2. Shvandar K. V., Anisimova A. A. Approaches to reforming pension systems in the world and recommendations for Russia. Financial Journal, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 125–135.

3. Kashepov A. V. Raising the retirement age in countries around the world and in Russia: Causes and consequences. Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law, 2023, no. 5–1, pp. 82–91.

4. Safonov A. L., Dolzhenkova Yu. V. Factors of financial imbalances in the mandatory pension insurance system: Analysis of Russian practice. Finance: Theory and Practice, 2020, no. 24 (6), pp. 108–122.

5. Sajuyigbe A. S., Eniola A. A., Ayeni A., Sanusi B. M. Moderating effect of employees' retention on the influence of

contributory pension scheme on employees attitude. Organizational Psychology, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 62–77.

6. Zhang H., Duan X. Pension System Reform: International Experience and Insights. Frontiers in Business Economics and Management, 2023, vol. 9 (1), pp. 103–106.

7. Vershinin S. E., Vlasova O. I. Young Russians' Perceptions of Their Retirement Future. Bulletin of Chelyabinsk State University, 2015, no. 26 (381), pp. 124–130.

8. Naumtseva E. A. Psychological Readiness for Organizational Change: Approaches, Concepts, and Methods. Organizational Psychology, 2016, vol. 6, no. 2, pp. 55–74.

9. Petrenko V. F. Psihosemantika soznanija [Psychosemantics of Consciousness]. Moscow, Moscow University Press, 1988.

10. Eliseev O. P. Praktikum po psihologii lichnosti [Practical Training in Personality Psychology]. Moscow, Yurait, 2024, 390 p.

11. Mishkevich A. M., Shchebetenko S. A., Kalugin A. Yu. et al. Testing of the short and ultra-short versions of the BIG FIVE INVENTORY-2 questionnaire: BFI-2-S and BFI-2-XS. Psychological Journal, 2022, vol. 43, no. 1, pp. 95–108.

12. Salikhova E. A., Vyugina D. M. Emotions as Key to Russian GenZs' Consumption of Political News. Psychology in Russia: State of the Art, 2022, vol. 15 (2), pp. 32–52.

13. Kamneva E. V., Polevaya M. V., Polevoy S. A. et al. Public Trust Of The Population In Economic Reforms: A Theoretical And Practical Aspect. Modern Journal of Language Teaching Methods, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 189–200.

УДК 331.1

Л. Ф. ШАЙБАКОВА, д-р экономич. наук; К.С. ЕРОХИНА (Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург)
E-mail: econlaw@mail.ru
L. F. Shaybakova, K.S. Erokhina (Ural State University of Economics, Yekaterinburg)

Оптимизация подбора персонала в сфере производства меди

Optimizing recruitment in copper production

В современной экономике успешное функционирование предприятия во многом зависит как от состояния макроэкономических, отраслевых показателей, так и от эффективности построения внутренних бизнес-процессов. При этом одним из важнейших составляющих эффективной стратегии организации является процессов подбора персонала: кадровая оснащенность предприятия служит драйвером его экономического развития. Актуальность данного исследования заключается в его практической направленности на разработку рекомендаций по подбору персонала в организации, работающей в сфере производства меди, позволяющих, тем самым, повысить экономическую эффективность ее деятельности.

In the modern economy, the successful functioning of an enterprise largely depends on the state of macroeconomic and industry indicators, as well as on the effectiveness of building internal business processes. At the same time, one of the most important components of an effective organizational strategy is the recruitment process: the staffing of the enterprise serves as a driver of its economic development. The relevance of this study lies in its practical focus on the development of recommendations for the selection of personnel in an organization working in the field of copper production, thereby increasing the economic efficiency of its activities.

Ключевые слова*:* подбор персонала; медное производство; производственная организация; кадровая политика; стратегические ориентиры.

Keywords: personnel selection; copper production; production organization; personnel policy; and strategic guidelines.

В современной экономике успешное функционирование предприятия во многом зависит как от состояния макроэкономических, отраслевых показателей, так и от эффективности построения внутренних бизнес-процессов.

Цель данной работы – изучение теории и практики бизнес-процесса подбора персонала в сфере производства меди и разработка рекомендаций по их оптимизации для АО «Святогор». В соответствии с поставленной целью авторами изучены теоретические аспекты подбора персонала организаций в сфере производства меди; оценены тенденции развития медного производства в России и существующие механизмы подбора персонала; а также предложены рекомендации по оптимизации подбора персонала для исследуемой организации. В ходе исследования

используются методы наблюдения, просмотра документов, статистический анализ, сравнения.

Прежде всего, оцениваем тенденции развития медного производства в России. Данный вид экономической деятельности (код ОКВЭД 24.44) включен в группу обрабатывающих производств (производство металлургическое). Медь – один из самых ценных цветных металлов, его использование в современных реалиях крайне востребовано и актуально еще и по той причине, что данный металл обладает высоким уровнем тепло- и электропроводимости. Уникальные свойства этого металла, такие как высокая электропроводность и теплопроводность, делают медь незаменимым материалом в электроэнергетике, транспорте и строительстве. Кроме того, в условиях тренда на внедрение «зеленых» технологий в мировой экономике меди отводится особая роль, обуславливая спрос на международных рынках, подчеркивая стратегическое значение отрасли для национальной экономики России.

С точки зрения экономики, производство меди является и активно развивающимся, и инновационным, и крайне перспективным. Об этом говорят многие ученые-исследователи [1–10]. Говоря о необходимости производства меди в контексте социально-экономического развития экономики можно сделать вывод о том, что этот цветной металл и его сплавы используются в различных сферах производства и жизни общества. Вместе с тем, по свидетельству ряда исследователей, разведанные запасы меди могут обеспечить производственные процессы на 40–47 лет [11, 12], т. е., очевидно, что будущий спрос на медь будет удовлетворяться преимущественно за счет новых месторождений. Обращаясь к месту России на глобальном рынке меди отметим, что этот вид деятельности является одним из стратегически важных направлений в стране: активно укрепляется позиции страны на глобальном рынке меди, последовательно наращивая объемы добычи и переработки этого стратегического металла. Это, безусловно, способствует росту экономической стабильности страны и усиливает ее влияние в международной металлургической отрасли. Поскольку рост потребления меди в мире обусловлен переходом к зеленым технологиям и цифровизацией в рамках повестки устойчивого развития, Россия также встраивает эту повестку в разрабатываемые экономические, технологические и экологические стратегии для усиления экономической безопасности и технологического лидерства.

Большую роли в жизнедеятельности любого хозяйствующего субъекта играет кадровая составляющая. По мнению многих исследователей кадровая безопасность является главной составляющей экономического развития любой организации [13–15]. Вместе с тем, в цветной металлургии в настоящее время наблюдается кадровый дефицит [16, 17]. Нестеров С. А., Сизов Р. В. связывают его с уходом в 2022 г. из нашей страны иностранных сервисных компаний, обслуживавших импортную технику, в частности, специалистов по автоматизации, машинам и оборудованию, механиков [18]. О. В. Колесникова и Е. В. Суворова полагают, что значительная роль в решении данной проблемы принадлежит государству [19]. Но спасение утопающих, как говорится, в руках самих утопающих. Поэтому эффективная политика подбора и стимулирования персонала важное звено кадровой политики организации в целом.

Оценим опыт политики подбора персонала АО «Святогор», основным видом экономической деятельности которого является «Производство меди». Предприятие расположено в г. Красноуральске Свердловской области. АО «Святогор» является одним из ключевых производственных активов холдинга ПАО «УГМК» и создано для удовлетворения потребностей экономики России и стран Западной Европы, Азии, Африки и Америки в товарах (минеральное сырье, концентраты, материалы и др.), обеспечения занятости граждан, получения прибыли. Предприятие является одним из лидеров в России по производству черновой меди. В год АО «Святогор» производит около 80 тыс. тонн черновой меди, что составляет около 8–10 % от общего производства в России.

В 2024 г. на предприятии работала 3834 человека, что составляет около 20 % численности населения города Краснотурьинск, то есть АО «Святогор» является одним из градообразующих предприятий. Анализ персонала показал, что около 30 % персонала имеет высшее профессиональное образование и столько же – среднее профессиональное образование. Это соответствует общим тенденциям модернизации промышленности и усложнению технологических процессов. Вместе с тем, на заводе достаточно высок уровень текучести кадров. Коэффициент текучести кадров за последние годы колебался от 0,1 до 0,16. Основными причинами являются:

- несоответствие условий труда ожиданиям сотрудников (низкая удовлетворенность заработной платой);
- недостаточная адаптация новых работников, ведущая к их увольнению;
- дефицит карьерных перспектив, особенно среди молодых специалистов.

Кадровая политика организации имеет следующие цели и принципы (см. табл. 1).

Таблица 1

Основные цели и принципы кадровой политики АО «Святогор»

Цель	Принцип	Механизм реализации в АО «Святогор»
Обеспечение предприятия квалифицированными кадрами	Ориентация на профессиональную подготовку и повышение квалификации	Проведение корпоративного обучения, программы наставничества, сотрудничество с профильными учебными заведениями
Снижение текучести кадров	Формирование системы мотивации и удержания персонала	Конкурентная система оплаты труда, предоставление социальных гарантий, корпоративные программы лояльности
Развитие кадрового потенциала	Принцип непрерывного обучения и карьерного роста	Программы профессиональной переподготовки, внутренние конкурсы на повышение, обучение управленческих кадров
Обеспечение безопасных и комфортных условий труда	Социальная ответственность и соблюдение норм охраны труда	Внедрение современных стандартов безопасности, улучшение условий работы, мониторинг удовлетворенности персонала
Повышение вовлеченности сотрудников в производственный процесс	Развитие корпоративной культуры и системы внутренних коммуникаций	Проведение корпоративных мероприятий, внедрение обратной связи, участие сотрудников в процессах улучшения

Таблица 2

Структура системы подбора персонала в АО «Святогор»

Элемент системы	Применяемые методы и инструменты
1. Планирование потребности в персонале	Анализ производственных показателей, прогнозирование кадрового дефицита, взаимодействие с руководителями подразделений.
2. Поиск кандидатов	Внутренние источники: ротация, кадровый резерв.
	Внешние источники: специализированные *job*-сайты (*hh.ru*, *SuperJob*, *VK*.Работа и др.), сотрудничество с ВУЗами и техникумами, социальные сети, рекрутинговые агентства.
3. Отбор кандидатов	Предварительный отбор: анализ резюме, телефонное интервью.
	Основной этап: структурированное интервью, тестирование (профессиональное, психометрическое), ассессмент-центр для ключевых позиций.
4. Адаптация новых сотрудников	Корпоративный *onboarding*, наставничество, мониторинг прохождения испытательного срока.

Можно сделать вывод, что кадровая политика АО «Святогор» направлена на формирование устойчивого и квалифицированного кадрового состава, что соответствует требованиям современной промышленности.

Система подбора персонала в АО «Святогор» базируется на сочетании традиционных и современных методов поиска и оценки кандидатов, что соответствует отраслевым требованиям к квалификации сотрудников. Основными трендами, внедряемыми организацией, являются цифровизация процессов (использование онлайн-платформ и соцсетей), а также усиление роли внутреннего кадрового резерва. Структуру системы подбора персонала в АО «Святогор» в разрезе применяемых методов и инструментов поиска и отбора кандидатов представлена в табл. 2.

Отметим, что к преимуществам данной системы можно отнести ее комплексность и ориентацию на долгосрочное развитие персонала. Однако она имеет и недостатки, такие как возможная избыточная бюрократизация этапов отбора и недостаточная гибкость при работе с высококонкурентными специалистами.

В организации достаточно развита кадровая служба (*HR*-отдел) и алгоритма подбора персонала в АО «Святогор» демонстрирует четкое распределение ролей между *HR*-отделом и линейными руководителями, что способствует сбалансированной оценке кандидатов. Однако, анализируя проблемы и вызовы, выявим ключевые из них:

- длительность процедуры (риск потери кандидатов);
- субъективность оценок (необходимость стандартизации методов);
- дефицит узкопрофильных специалистов (требуется усиление брендинга АО «Святогор»);
- слабая адаптация новичков (необходимость доработки onboarding-программ).

Оценивая стратегические цели подбора персонала в АО «Святогор», представленные в табл. 3, можно отметить, что они ориентированы на обеспечение не просто численной укомплектованности штата, а на

формирование кадровой модели, соответствующей принципам устойчивого производственного роста. Учитывая, что предприятие реализует масштабные инвестиционные и экологические проекты, подбор сотрудников должен происходить впрок, с ориентацией на развитие их потенциала, готовность к цифровизации и участие в институциональных трансформациях.

Современный подход к подбору персонала предполагает не только восполнение дефицита трудовых ресурсов, но и направленное формирование кадрового потенциала, способного обеспечивать достижение ключевых стратегических целей предприятия. В этой связи модель подбора должна быть интегрирована в общую систему стратегического управления и строиться на взаимосвязи между целями кадровой политики и инструментами их достижения. В табл. 4 представим матрицу соответствия стратегических целей подбора персонала и HR-инструментов, адаптированную под особенности АО «Святогор» как металлургического предприятия с полным производственным циклом, высокой социальной значимостью и перспективами технологического обновления.

Предложенная модель позволяет рассматривать подбор персонала как целевую функцию, подчиненную стратегическим приоритетам организации. Инструментарий подбора должен не просто восполнять кадровый дефицит, а выстраивать кадровую архитектуру, адаптированную к вызовам отрасли, внутренним ограничениям и перспективным направлениям развития АО «Святогор». Такой подход повышает управляемость персоналом, снижает издержки на текучесть и обучение, а также усиливает соответствие кадровой политики требованиям устойчивого развития.

Таким образом, стратегическая ориентация подбора персонала в АО «Святогор» должна базироваться на принципах опережающего кадрового планирования, преемственности, гибкости и интеграции с долгосрочными целями устойчивого развития. Учитывая вызовы отрасли – старение трудовых ресурсов, кадровый дефицит в регионах, необходимость цифровизации и *ESG*-комплаенса (отслеживания соблюдения требований повестки) – подбор перестает быть исключительно операционной функцией и становится инструментом стратегического управления человеческим капиталом.

Таблица 3

Стратегические цели подбора персонала АО «Святогор»

Цель	Содержание
1. Обеспечение производственного роста за счет воспроизводства кадров	Формирование резерва рабочих и инженерных кадров в соответствии с планами расширения мощностей
2. Омоложение кадрового состава и преемственность	Активное привлечение молодых специалистов; наставничество; программы адаптации
3. Повышение компетентности и гибкости персонала	Подбор сотрудников с потенциалом к обучению, цифровой грамотностью, ориентацией на изменения
4. Интеграция *ESG*-повестки в кадровую политику	Учет социальных и этических аспектов в найме: гендерный баланс, трудовая безопасность
5. Повышение *HR*-устойчивости	Минимизация кадровых рисков за счет проактивного подбора и снижения текучести

Таблица 4

Модель стратегически ориентированного подбора персонала АО «Святогор»

Стратегическая цель	*HR*-инструменты для реализации
Обеспечение производственного роста	Прогнозирование потребностей в персонале на основе производственных планов. Моделирование штатной численности. Внедрение кадрового планирования на 3–5 лет.
Омоложение и преемственность кадров	Целевой набор выпускников колледжей и вузов. Программы наставничества и адаптации. Стажировки и дуальное обучение.
Повышение гибкости и обучаемости персонала	Ассессмент при найме. Внедрение моделей компетенций. Подбор с учетом *soft-skills* и цифровой грамотности.
Встраивание *ESG*-повестки в подбор	Учет половозрастного баланса. Специальные программы найма для уязвимых групп. Контроль за соблюдением этических стандартов.
Повышение *HR*-устойчивости и снижение текучести	Предварительная оценка лояльности и стрессоустойчивости. Разработка программ внутреннего карьерного роста. Инструменты интервью перед увольнением сотрудника.

Представленная модель «цель – *HR*-инструмент» позволяет сформировать внутренне согласованную систему отбора, которая обеспечивает качественное воспроизводство трудового потенциала, снижает кадровые риски и способствует росту организационной эффективности. Реализация данной модели подбора персонала позволит АО «Святогор» добиться ощутимого эффекта как в экономических, так и в социальных показателях, включая сокращение затрат, рост кадровой стабильности и улучшение имиджа работодателя. Повышение отклика на вакансии, снижение среднего срока закрытия позиции, рост доли молодых специалистов и снижение текучести может свидетельствовать о повышении гибкости и адаптивности кадровой системы, что особенно важно в условиях производственного расширения и кадрового старения. Эти изменения могут сформировать основу для устойчивого кадрового развития предприятия и повышения его конкурентоспособности на рынке труда.

Оптимизация системы подбора персонала требует не только концептуальной проработки целей и инструментов, но и четкой поэтапной реализации, учитывающей как внутренние процессы предприятия, так и внешние ограничения. Для реализации предлагаемой модели следует разработать дорожную карту внедрения модели стратегического подбора персонала, структурированную по основным направлениям деятельности с указанием ожидаемых эффектов, сроков реализации, ответственных исполнителей и индикаторов эффективности.

Выводы. 1. Выполненное исследование показывает несовершенство системы подбора персонала в АО «Святогор». На основе комплексного анализа выявлены ключевые факторы, оказывающие влияние на кадровую устойчивость организации: демографическое старение работников, ограниченность регионального рынка труда, недостаточная цифровизация *HR*-процессов и рост требований по линии *ESG*-повестки.

2. Предложены стратегические ориентиры оптимизации подбора персонала с учетом отраслевых вызовов и внутренних ограничений предприятия. Модель стратегического подбора, включающая целевые ориентиры и *HR*-инструментарий, должна быть дополнена прогнозируемыми эффектами, ресурсообеспечением и дорожной картой внедрения.

3. Все это позволяет рассматривать подбор персонала как управляемый, измеримый и интегрированный элемент системы корпоративного развития.

4. Разработанные рекомендации ориентированы на повышение гибкости и воспроизводимости кадрового состава, улучшение показателей найма, снижение текучести и соответствие ориентирам в области устойчивого развития.

Список литературы

1. *Палкина Д. С.* Развитие корпораций цветной металлургии в России // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2023. Т. 9. № 1. С. 86–100.

2. *Шайбакова Л. Ф.* Тенденции и особенности развития мирового и российского рынков меди // Развитие российской социально-экономической системы: вызовы и перспективы. Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда». 2024. С. 121–139.

3. *Гребеню М., Симонов В*. Мировой рынок меди в условиях санкций: опыт ПАО «ГМК «Норникель» // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 6. С. 191–195.

4. *Вира Д. Ю.* Исследование динамики производства и потребления меди в мире // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 2. № 2 (134). С. 113–123.

5. *Вира Д. Ю*. Оценка соотношения отечественных и импортных технологий в медной промышленности на основе финансовых показателей // Russian Economic Bulletin. 2024. Т. 7. № 1. С. 86–96.

6. *Вира Д. Ю.* Исследование оборота меди в России // Финансовая экономика. 2024. № 5. С. 201–208.

7. *Вира Д. Ю.* Перспективы развития рынков медной промышленности России в новых условиях // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2024. № 3–3. С. 344–354.

8. *Кельчевская Н. Р., Ситкина Е. П., Попова К. А.* и др. Оценка долгосрочных результатов работы медной промышленности: проблемы и перспективы // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14. № 1. С. 307–324.

9. *Петров И. М*. Тенденции и особенности рынков медного концентрата и рафинированной меди стран СНГ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2024. № 3 (188). С. 96–99.

10. *Шайлиева М. М., Нестеренко Ю. Н*. Ретроспективный обзор и перспективы мирового и российского производства драгоценных металлов и меди // Региональная экономика. Юг России. 2025. Т. 13. № 1. С. 40–49.

11. *Боярко Г. Ю., Лаптева А. М., Болсуновская Л. М*. Минерально-сырьевая база меди России: состояние, возможности развития // Горные науки и технологии. 2024. Т. 9. № 4. С. 352–386.

12. *Неволин А. Е.* Стратегические перспективы развития отрасли цветных металлов: проблемы и задачи отечественных производителей // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2024. Т. 27. № 3 (85). С. 136–148.

13. *Комарова А. В*. Роль кадрового потенциала и кадровой безопасности в системе обеспечения экономической безопасности организации // Научный Лидер. 2023. № 23 (121). С. 101–104.

14. *Соколовский А. А., Грибов П. Г.* Кадровая безопасность как основа обеспечения экономической безопасности современного предприятия // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 3. С. 30.

15. *Новопавловская Е. Е., Смолькова А. Ю.* Кадровая безопасность в системе экономической безопасности хозяйствующего субъекта. Белгород–Самара: БГТУ. 2024. 416 с.

16. *Нагайцева А. В.* Цветные металлы в условиях глобализации: влияние на экономику и стратегические перспективы // Экономика и парадигма нового времени. 2025. № 4 (37). С. 5–12.

17. *Брусницын Д. Д.* Кадровый дефицит в России и методы его ликвидации // Вестник науки. 2024. Т. 4. № 11 (80). С. 72–76.

18. *Нестеров С. А., Сизов Р. В.* Исследование проблемы кадрового дефицита в специалистах с инженерным образованием в промышленности // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2024. № S4. С. 77–82.

19. *Колесникова О. В., Суворова Е. В.* Направления подбора персонала в условиях сформировавшегося дефицита кадров в сфере промышленного производства // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2024. № 2. С. 99–107.

References

1. Palkina D. S. Development of Non-Ferrous Metallurgy Corporations in Russia. *Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Economics and Management*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 86–100.

2. Shaybakova, L. F. Trends and Features of the Development of the Global and Russian Copper Markets. *Development of the Russian Socio-Economic System: Challenges and Prospects*. Cheboksary, Publishing House Sreda LLC, 2024, pp. 121–139.

3. Grebenyuk M., Simonov V. The global copper market under sanctions: the experience of PJSC MMC Norilsk Nickel. *Competitiveness in the global world: economy, science, technologies*, 2023, no. 6, pp. 191–195.

4. Vira D. Yu. Research of the dynamics of production and consumption of copper in the world. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2023, vol. 2, no. 2 (134), pp. 113–123.

5. Vira D. Yu. Assessment of the Ratio of Domestic and Imported Technologies in the Copper Industry Based on Financial Indicators. *Russian Economic Bulletin*, 2024, vol. 7, no. 1, pp. 86–96.

6. Vira D. Yu. Research on the Circulation of Copper in Russia. *Financial Economics*, 2024, no. 5, pp. 201–208.

7. Vira D. Yu. Prospects for the Development of Russia's Copper Industry Markets in the New Environment. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2024, no. 3–3, pp. 344–354.

8. Kelchevskaya N. R., Sitkina E. P., Popova K. A. et al. Assessment of Long-Term Results of the Copper Industry: Problems and Prospects. *Issues of Innovative Economics*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 307–324.

9. Petrov I. M. Trends and Features of the Copper Concentrate and Refined Copper Markets in the CIS Countries. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*, 2024, no. 3 (188), pp. 96–99.

10. Shailieva M. M., Nesterenko Yu. N. Retrospective Review and Prospects of Global and Russian Production of Precious Metals and Copper. *Regional Economy. South of Russia*, 2025, vol. 13, no. 1, pp. 40–49.

11. *Boyarko G. Yu., Lapteva A. M., Bolsunovskaya L. M.* Mineral raw materials base of copper in Russia: state, development opportunities. *Mining Sciences and Technologies*, 2024, vol. 9, no. 4, pp. 352–386.

12. Nevolin A. E. Strategic Prospects for the Development of the Non-Ferrous Metals Industry: Challenges and Objectives for Domestic Producers. *The North and the Market: Shaping the Economic Order*, 2024, vol. 27, no. 3 (85), pp. 136–148.

13. Komarova A. V. The Role of Human Resources and Personnel Security in the System of Ensuring the Economic Security of an Organization. *Nauchnyi Lider*, 2023, no. 23 (121)., pp. 101–104.

14. Sokolovsky A. A., Gribov P. G. Personnel Security as a Basis for Ensuring the Economic Security of a Modern Enterprise. *Bulletin of Eurasian Science*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 30.

15. Novopavlovskaya E. E., Smolkova A. Yu. [Personnel Security in the System of Economic Security of an Economic Entity]. Belgorod–Samara, BGTU, 2024, 416 p.

16. Nagaitseva A. V. Non-ferrous Metals in the Context of Globalization: Impact on the Economy and Strategic Prospects. *Economics and the Paradigm of Modern Times*, 2025, no. 4 (37), pp. 5–12.

17. Brusnitsyn D. D., Sizov R. V. The shortage of personnel in Russia and methods of its elimination. *Bulletin of Science*, 2024, vol. 4, no. 11 (80), pp. 72–76.

18. Nesterov S. A. Research on the problem of shortage of specialists with engineering education in the industry. *Problems of Mechanical Engineering and Automation*, 2024, no. S4, pp. 77–82.

19. Kolesnikova O. V., Suvorova E. V. Directions of Staffing in the Context of the Emerging Shortage of Personnel in the Field of Industrial Production. *Fundamental and Applied Research in the Cooperative Sector of the Economy*, 2024, no. 2, pp. 99–107.

УДК

М. А. ЗЕНКИН (Академия талантов, г. Санкт-Петербург); В. Н. ПРОНЬКИН, Н. В. НЕМИРОВА (РГПУ им. А. И. Герцена», г. Санкт-Петербург)
E-mail: Zenkinma@yandex.ru
M. A. Zenkin (Academy of Talents, St. Petersburg); V. N. Pronkin, N. V. Nemirova (A. I. Herzen State Pedagogical University, St. Petersburg)

Отраслевые и корпоративные практики профориентации школьников: эффективные модели взаимодействия промышленности региона и образовательных организаций

Industry and corporate practices for career guidance for schoolchildren: effective models of interaction between regional industry and educational institutions

Рассматриваются результаты комплексного исследования, направленного на выявление механизмов учёта региональной специфики в системе технологического образования школьников, в том числе в программах дополнительного образования детей естественнонаучной и технической направленности. На основе анализа кейсов из различных субъектов РФ показано, что региональные особенности экономики, структуры занятости и инвестиционной политики оказывают прямое влияние на содержание и организацию образовательных программ. Особое внимание уделено практике взаимодействия образовательных организаций с работодателями, колледжами и вузами в контексте формирования экосистем профессионального самоопределения обучающихся. Установлено, что в большинстве регионов именно учреждения общего и дополнительного образования выступают инициаторами интеграции регионального компонента, тогда как участие индустриальных партнёров остаётся фрагментарным. В то же время построение эффективной региональной кадровой политики напрямую связано с переходом от локальных практик к устойчивым моделям сетевого взаимодействия образования и работодателей, что способно обеспечить преемственность образовательных и карьерных траекторий обучающихся.

This article examines the results of a comprehensive study aimed at identifying mechanisms for incorporating regional specifics into the system of technological education for schoolchildren, including in supplementary education programs for children in the natural sciences and technology. Based on an analysis of cases from various constituent entities of the Russian Federation, it is shown that regional economic characteristics, employment structure, and investment policy directly influence the content and organization of educational programs. Particular attention is paid to the interactions between educational organizations and employers, colleges, and universities in the context of developing ecosystems for students' professional self-determination. It has been established that in most regions, general and supplementary education institutions are the initiators of integrating the regional component, while the participation of industrial partners remains fragmented. At the same time, the development of an effective regional HR policy is directly linked to the transition from local practices to sustainable models of networked interaction between education and employers, which can ensure the continuity of students' educational and career trajectories.

Ключевые слова: технологическое образование школьников; профориентация; кластерный анализ; региональная кадровая политика.

Keywords: technological education for schoolchildren; career guidance; cluster analysis; regional HR policy.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минпросвещения России в рамках государственного задания по теме «Учёт специфики социально-экономического и научно-технологи-

ческого развития региона в содержании и реализации образовательной программы по учебному предмету «Труд (технология) в общеобразовательной школе» (проект № VRFY-2025-0023). Авторы исследования благодарят Фонд гуманитарных проектов, а также Центр всестороннего развития детей «Прогресс» за помощь в проведении исследования.

Первые два десятилетия XXI века в общемировом контексте прошли под знаком борьбы за человеческий капитал для экономики будущего [1–3]. В рамках мегатренда – обучение на протяжении всей жизни – активное развитие получает тренд на сближение образования и рынка труда в интересах опережающей подготовки кадров для экономики будущего, что повлекло за собой все большее вовлечение компаний реального сектора экономики в формирование и управление содержанием образования (не только профессионального, но и школьного), а также возрастающую роль профориентации как инструмента, связывающего рынок труда и сферу образования.

В первую очередь этот тренд нашел отражение в сфере технологического образования школьников, под которым авторы настоящей публикации понимают уроки по дисциплине «Труд (технология)», по дисциплинам естественно-научного цикла, внеурочную деятельность в рамках функционирования профильных классов с выраженной отраслевой спецификой (например, СИБУР-классы, агроклассы и т. п.), дополнительные общеразвивающие программы естественно-научной и технической направленности, профориентационные мероприятия и программы с выраженной отраслевой спецификой.

Технологическое образование школьников – фронтирная сфера для обеспечения технологического лидерства и экономической устойчивости государства, развития отечественной промышленности, которая на протяжении ряда лет испытывает дефицит высококвалифицированных кадров. Данный сегмент образования становится важной частью таких профориентационных программ, задача которых заключается в подготовке и рекрутинге будущих кадров для предприятий.

В российском контексте тренд на вовлечение реального сектора экономики в сферу образования в роли основного стейкхолдера еще только формируется несмотря на то, что отдельные практики отраслевой и корпоративной профориентации школьников сложились еще в советский период. Между тем, стоит отметить положительную динамику в этом направлении.

Если еще 5–7 лет назад работодатели считали участие в образовательных и профориентационных программах для школьников бесперспективным в силу отложенного результата и труднопрогнозируемых рекрутинговых результатов, то в сегодня видно, что сфера образования и профориентации становятся одним из главных направлений корпоративной благотворительности российских компаний, а долговременная кадровая стратегия становится одним из центральных приоритетов бизнеса.

В целом в российском контексте профориентации складываются предпосылки для формирования целого кластера отраслевой и корпоративной профориентации школьников и молодежи, осмысление особенностей и стратегий развития которого определяет актуальность настоящей публикации [4, 5].

Стратегическая цель профориентации внутри формирующегося специфического кластера остается пока не определенной: подготовка будущих кадров, работа с местными сообществами и управление человеческим капиталом компании через создание условий для универсального развития детей и молодежи в регионе присутствия (включая детей сотрудников компаний) или же популяризация отрасли и позиционирование компании как социально-ориентированной?

В зарубежных практиках развития технологического образования компании рассматривают профориентацию как часть *HR*-стратегии, отвечающей за реализацию социальной политики компании и работу с местными сообществами.

Ведущие экономисты, аналитики и *HR*-агентства считают такую стратегию перспективной и для российского рынка труда, предлагая компаниям выйти за границы рекрутингового функционала и выстраивать человекоцентричную кадровую политику, направленную на работу с человеческим капиталом как ценностью.

Однако на сегодняшний день, несмотря на ряд репрезентативных примеров такой профориентации, по-прежнему существуют барьеры во взаимодействии предприятий реального сектора экономики со школами и учреждениями дополнительного образования, реализующими программы технологического образования.

Цель данной работы – выявление и систематизация региональных моделей взаимодействия промышленных предприятий и образовательных организаций на основе профориентационных программ в сфере технологического образования школьников в интересах формирования кадрового резерва для высокотехнологичных отраслей экономики.

Основная гипотеза исследования связана с предположением, что в основе эффективной модели профориентации школьников в сфере технологического об-

разования лежит принцип интеграции образовательных организаций с региональными предприятиями, колледжами и вузами, а также принцип включения в образовательный процесс не только содержания, отражающего реальные отраслевые приоритеты региона, но и отраслевых профессионалов как носителей такого содержания.

Результаты исследования могут быть использованы руководителями отраслевых и корпоративных центров дополнительного образования детей, учреждений дополнительного образования, реализующих профильные программы; директорами школ, в которых функционируют профильные классы отраслевой специфики, а также *HR*-специалистами компаний при разработке стратегии управления кадровым потенциалом на основе профориентационной деятельности со школьниками.

Предлагаемое исследование может рассматриваться в качестве модельного для комплексного анализа региональной системы работы с человеческим капиталом на основе смешанных методов исследования.

Обзор литературы

Ряд российских исследователей отмечают, что сегодня в сфере профориентации инструментальный подход преобладает над смысловым и ценностным: создаются интернет-порталы, новые тестовые методики, методические рекомендации, профориентационные мероприятия и т. п. при дефиците смысловых и ценностно-ориентированных предложений, концептуальную основу которых могла бы составить образовательная профориентация [6].

Отраслевой и корпоративный сегмент профориентации, который находится на острие борьбы за человеческий капитал, одним из первых уловил это противоречие. Так, P. Anslie и S. Huffman, рассматривая модель экосистемы стратегических партнерств между предприятиями и образовательными организациями, указывают на низкую профориентационную эффективность таких мероприятий как день карьеры, научные шоу и ярмарки профессий. Единичные мероприятия, по их мнению, практически не оказывают влияния на карьерные стратегии обучающихся [7].

Эффективная профориентационная стратегия (*HRD future talent development and strategic partnerships ecosystem*) предполагает системную трехчастную профориентацию:

- профинформирование (*career awareness*) – для начальной и средней школы;
- обучение навыкам построения карьеры (*career exploration*) – в рамках внешкольного образования (дополнительное образование, летние проектные школы и т. п.);
- формирование готовности к построению карьеры (*career pathways*) – от старших классов через высшее образование и дальнейшее сопровождение [7].

В основе модели лежит системное взаимодействие работодателей со школьниками и студентами, вплоть до участия в формировании учебного плана (curriculum) и организации «теневых» стажировок (*job shadowing*).

В странах-лидерах международного рейтинга *PISA* по естественнонаучной грамотности, а также по развитию *STEM*-образования (например, США, Канада, Великобритания, Австралия, Южная Корея, Гонконг) карьерное обучение включено в учебный план и играет значимую роль в структуре программ технологического образования, что отмечается в ряде практик [8].

Прямое взаимодействие работодателей с образовательными организациями в большей мере свойственно для англо-саксонских и европейских систем, в азиатских странах такое взаимодействие осуществляется, как правило, при посредничестве вуза.

Например, в штате Индиана (США) примерно 40 % работодателей, по информации Торговой палаты штата, сотрудничают со школами [7], в Канаде и Италии в профориентационной работе со школьниками принимают участие не только корпорации, но и средний, и даже мелкий бизнес [9, 10].

Так, в Сардинии (Италия) более 60 региональных компаний включились в процесс не только оснащения школьных лабораторий, но и создания образовательных программ для них. В результате создано более 170 инфраструктурных решений и 90 образовательных программ технологического образования школьников [10].

В России на протяжении двух последних лет образование занимает лидирующую строчку в рейтинге корпоративной благотворительности компаний, для которых наиболее приоритетной группой поддержки становится молодежь и дети. По результатам рейтингования 2024 г. 10 из 18 компаний, возглавивших квартиль рейтинга А+ (самый престижный), реализуют образовательные профориентационные программы для школьников. При этом вкладывать в сферу образования готовы преимущественно крупные отраслевые компании с государственным участием (госкорпорации).

Стоит отметить, что в российском и в мировом контексте сохраняется дефицит публикаций, описывающих модели отраслевых и корпоративных практик профориентации, барьеры во взаимодействии работодателей и образовательных организаций, а также сами результаты такого взаимодействия.

Зарубежные публикации преимущественно сосредоточены на описании эффектов для образования и социальной сферы, оставляя за скобками результаты для рынка труда [9–11].

В России первый подход к системному описанию моделей отраслевых и корпоративных практик профориентации, а также к оценке их результатов предпринят авторами настоящей публикации, которые предложили авторское определение для формирующегося кластера отраслевого и корпоративного дополнительного образования детей и разработали инструменты оценки результативности таких практик с точки зрения рекрутинга абитуриентов профильных вузов и будущих кадров для отрасли [4, 5].

Настоящая публикация продолжает поиски авторов в области эффективных моделей отраслевой и корпоративной профориентации, востребованных среди детей и молодежи профориентационных практик [12, 13], в сфере преодоления барьеров во взаимодействии между реальным сектором экономики и сферой школьного и дополнительного образования детей, реализующего программы технологического образования в интересах профориентации и подготовки будущих кадров.

Теоретической рамкой исследования является парадигма «образовательной профориентации», отражающая запросы всех стейкхолдеров профориентационной работы (государства, работодателей, образовательной системы, обучающихся и их семей, общества) при личностно-ориентированном подходе и формировании профориентационно-значимых компетенций у субъекта профессионального самоопределения [6, 14, 15].

Материалы и методы исследования

В рамках подготовки настоящей публикации проведено два исследования:

1. Кластерный анализ регионов РФ, направленный на выявление учета специфики региональной экономики и рынка труда в технологическом образовании школьников в интересах профориентации и подготовки будущих кадров.

2. Количественное исследование – анкетирование среди учителей уроков «Труда (технологии)» и предметов естественно-научного цикла, а также среди педагогов дополнительного образования детей естественно-научной и технической направленности.

Кластерный анализ охватывает все 8 федеральных округов, 23 региона и 35 населенных пунктов с различными социально-демографическими и экономическими показателями, а также различной степенью выраженности отраслевой региональной специфики в системе образования.

Репрезентативность выборки по регионам определяется:

- наличием в составе исследования мегаполисов (с численностью населения свыше 1 млн жителей), крупных городов (с численностью населения свыше 500 тыс. жителей), средних и малых городов (с численностью населения до 500 тыс. жителей и менее 100 тыс. жителей соответственно), сельских территорий;
- наличием регионов с различным преобладающим типом экономики (промышленное производство, агропромышленный комплекс, ресурсно-сырьевая экономика, туризм и сфера услуг, наукоемкий сектор, многоотраслевой тип экономики, логистические центры и др.);
- наличием регионов с различными показателями миграции молодежи (акцепторы, доноры, балансовые и регионы замкнутого типа).

Количественное исследование (анкетирование) проводится в две волны. В рамках настоящей публикации представлены результаты исследования первой волны, проводившегося в период с 25 сентября по 5 октября 2025 г.

Анкетирование проводится методом случайной выборки среди учителей технологии и учителей естественно-научного цикла, среди педагогов дополнительного образования детей, реализующих дополнительные общеразвивающие программы естественно-научной и технической направленности, а также иных категорий педагогических работников.

Общее количество респондентов – 1183. Участники анкетирования представляют все 8 федеральных округов, регионы с различными демографическими и экономическими характеристиками:

- мегаполисы и крупные города, средние и малые города, сельскую местность;
- регионы с ярко выраженной экономической спецификой: промышленные регионы, ресурсно-сырьевые, туристско-рекреационные, а также регионы с многоотраслевым типом экономики, с развитым агропромышленным комплексом, с развитым наукоемким сектором.

Ключевые вопросы анкетирования и кластерного анализа направлены на выявление дефицитов в региональной образовательной политике, в кадровой политике отраслевых предприятий и в образовательной практике технологического образования школьников, барьеров, препятствующих формированию экосистемы стратегических партнерств предприятий реального сектора экономики и образовательных организаций в интересах профориентации и подготовки будущих кадров для региона.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты кластерного анализа регионов

Региональная отраслевая специфика отражена на уровне управления региональными системами образования во всех федеральных округах, что отражено в табл. 1.

На уровне анализа конкретных практик можно выделить некоторые отраслевые профориентационные модели, которые реализуются в различных регионах России: профильные классы (в большинстве рассматриваемых регионов и во всех федеральных округах), стажировки на предприятиях работодателей (в Нижегородской области – на судостроительном заводе «Красное Сормово»), экскурсии на предприятия и встречи с отраслевыми профессионалами (в большинстве рассматриваемых регионов и во всех федеральных округах), создание собственных образовательных сетей со специальной инфраструктурой (например, Детские железные дороги или отраслевые образовательные кластеры – Кемеровская область), чемпионатное движение с акцентом на региональные компетенции (например, Профессионалы в Санкт-Петербурге) и др.

Результаты кластерного анализа показывают, что региональные профориентационные модели, основанные на практикоориентированных форматах, несмотря на наличие репрезентативных примеров, в целом носят фрагментарный характер.

Результаты анкетирования

Программы технологического образования школьников реализуют преимущественно опытные и высококвалифицированные педагоги: 70 % имеют педагогический стаж от 11 до 25 лет и более, 76 % – высшую или первую квалификационную категорию, 88 % за последние 2–3 года проходили курсы повышения квалификации по профилю педагогической деятельности.

Педагоги как правило хорошо осведомлены об экономической специфике региона – только 9 % респондентов затрудняются с определением ведущей экономической деятельности своего региона.

На блок вопросов, связанный с различными аспектами социально-экономического развития региона, педагоги отвечают удовлетворительно. По шкале самооценки от 0 до 3, где максимальный балл – 3 педагоги так характеризуют уровень своей осведомленности (табл. 2).

Блок вопросов, направленный на выявление учета экономической специфики региона и его профори-

Таблица 1

Региональные модели интеграции технологического образования с приоритетными отраслями экономики

Федеральный округ	Ключевые отрасли экономики (востребованные профессиональные отрасли)	Модели реализации профильного содержания в образовательных организациях
СЗФО	Фармацевтика, *IT*, судостроение, лесная и рыбная промышленность, экология	Сетевое взаимодействие
ЦФО	IT, строительство, машиностроение, медицина, агропромышленный комплекс	Кластерный подход (школа, организация допобразования, СПО, ВУЗ, индустриальный партнер)
ПФО	Агропромышленный комплекс, машиностроение, *IT*, экология, туризм	Интеграционная модель на основе интеграции *STEM*-направлений, экологии и инженерии
СФО	Медицина, логистика, *IT*, сельское хозяйство, биотехнологии, угольная и металлургическая промышленность	Университетские и индустриальные кластеры
ДВФО	Нефтегазовая промышленность, машиностроение, биотехнологии, транспорт и энергетика	Центры компетенций, технопарки, инженерные центры «Точка роста»
СКФО	Агропромышленный комплекс, туризм, биология	Этнокультурная специфика и воспитание как основа модели; Центры компетенций и технопарки

Таблица 2

Уровень осведомленности педагогов, реализующих программы технологического образования школьников, о ключевых социально-экономических особенностях региона

На 2 балла из 3	На 3 балла из 3
О ведущих отраслях региона; Об инвестиционных перспективных проектах региона; О приоритетных профессиях для региона; О приоритетных профессиях для конкретного населенного пункта или района; О предприятиях и организациях конкретного населенного пункта или района; О мерах поддержки молодых профессионалов; О профориентационных возможностях региона.	О ведущих отраслях конкретного населенного пункта, района; О вузах и колледжах, функционирующих в регионе.

ентационного потенциала на занятиях по технологическому образованию школьников, показывает, что педагоги довольно часто на занятиях освещают темы ключевых отраслей и предприятий, научно-технологического потенциала, а также востребованных в регионе профессий.

По шкале от 0 до 7, где цифра обозначает количество занятий в год, по данному блоку вопросов большинство учителей отмечают – 5. Второй по популярности ответ – 7 (см. рис. 1).

Важно отметить, что информация о вузах и колледжах на занятиях транслируется еще чаще – 7, максимальное количество раз из возможных, т. е. педагоги активно насыщают региональной профориентационной повесткой занятия технологического образования школьников. При этом отмечается дефицит форматов, предусматривающих участие отраслевых профессионалов в учебном процессе – в практике большинства респондентов в течение учебного года представители работодателя ни разу не принимали участия в занятиях.

Взаимодействие с индустриальными партнерами отмечается педагогами в качестве ключевого дефицита в развитии технологического образования школьников наряду с материально-техническим обеспечением. Системное взаимодействие с предприятиями региона (6 и более мероприятий в год) осуществляют не более 8 % респондентов (см. рис. 2). В большинстве случаев взаимодействие осуществляется фрагментарно или вовсе не осуществляется.

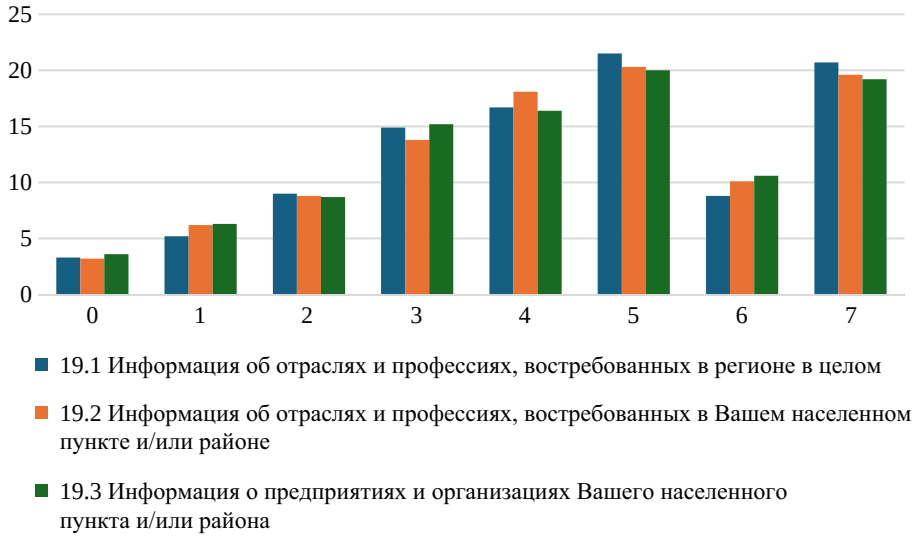


Рис. 1. Отражение региональной кадровой повестки педагогами, реализующими программы технологического образования школьников, на занятиях. Педагогам предложен следующий вопрос: «Оцените по 7-балльной шкале как часто вы используете на своих уроках, внеурочных занятиях или на занятиях дополнительного образования следующие компоненты, где 0 – не использую, от 1 до 7 – количество занятий в год, где 7 – 7 раз и чаще».

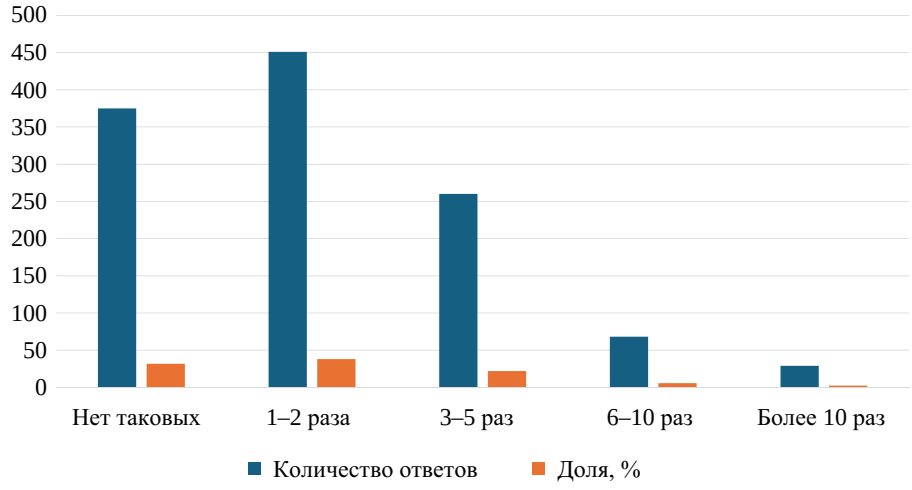


Рис. 2. Частота взаимодействия образовательных организаций с предприятиями региона. Педагогам предложено ответить на вопрос: «Сколько местных предприятий, организаций в рамках сотрудничества с вашей образовательной организацией проводят не менее трех совместных мероприятий в год?»

При реализации своей предметной области большинство педагогов не испытывают затруднений, связанных с проектированием занятий, а также с применением различных средств обучения. В своей педагогической практике отдают предпочтение проектным методам.

Наиболее перспективными формами взаимодействия с индустриальными партнерами педагоги считают практикоориентированные форматы (в порядке ранжирования): профпробы, мастер-классы и т. п.; выездные мероприятия на базе партнера; выступление отраслевых профессионалов на базе образовательной организации и другие.

Важно отметить, что на вопрос об образовательных и карьерных стратегиях обучающихся в возрасте 14 лет и старше педагоги не дают однозначного ответа: 20 % респондентов затрудняются ответить, 18 % – считают, что более 5 0% их учеников определились со своей образовательной и карьерной стратегией, еще 16 % – называют цифру в 30–40 %. Остальные ответы носят разрозненный характер (от 10 до 90 %).

Кластерный анализ показывает, что во многих регионах созданы условия для реализации регионального компонента в образовательных программах технологического образования школьников (включая учебную дисциплину «Труд (технология)» и дополнительные общеразвивающие программы в учреждениях дополнительного образования детей). Задача подготовки будущих кадров для региона сформулирована в региональных концепциях и стратегиях развития образования.

В институциональном поле эта задача находит воплощение в форме технопарков, Точек роста, профильных отраслевых классов, образовательных кластеров, разворачивающихся на базе ведущих университетов и колледжей региона.

Важно уточнить, что основная нагрузка по подготовке кадров для региона возложена на систему образования. Отдельные практики технологического образования школьников по совместному участию сферы образования и индустриальных партнеров не компенсируют общий дефицит вовлеченности работодателей в процесс подготовки кадров, о чем свидетельствуют результаты анкетирования педагогов.

Основной запрос сферы образования к работодателям связан не только со спонсорской помощью для совершенствования материально-технической базы учреждений, но и с включением в образовательный процесс в качестве носителей отраслевого содержания, обеспечивающих связь теории с практикой, сферы образования с экономикой и актуальными вызовами времени.

Анализ различного массива данных, которыми располагают авторы настоящего исследования, подтверждает актуальность такого запроса и значимость участия работодателя в управлении содержанием образования [4, 5, 12, 13].

Определяющая роль работодателя связана с двумя ключевыми факторами, влияющими на рекрутинговую эффективность профориентационных моделей и практик технологического образования школьников:

- мотивация и профессиональные установки педагогов;
- трансляция профессиональных ценностей и возможностей для самореализации школьников в экономике региона.

Педагоги, принявшие участие в анкетировании, отличаются глубокой мотивацией к трансляции региональной профориентационной повестки, отличаются погружением в региональный контекст с точки зрения его экономической специфики, однако создать условия для погружения в отраслевой контекст, показать реальные перспективы профессиональной самореализации в экономике региона без участия работодателя невозможно.

Таким образом, региональные системы образования последовательно и настойчиво транслируют профориентационную повестку, однако при отсутствии вовлеченности со стороны работодателей, готовых к систематическому взаимодействию, не способны в полном объеме решить поставленные задачи по подготовке кадрового резерва для региональной экономики.

На данных различных исследований видно, что рекрутинговый потенциал специализированных отраслевых программ работы со школьниками составляет порядка 30 %, а реальные рекрутинговые результаты колеблются от 4 до 15 % [4, 5].

При этом существуют отдельные практики технологического образования школьников, которые показывают высокие рекрутинговые результаты – более 50 % обучающихся поступают в отраслевые вузы и колледжи на профильные направления обучения. Как правило, такие практики реализуют модель экосистемы стратегического партнерства работодателя и образовательной организации на основе инфраструктурных и кадровых решений, когда отрасль непосредственно участвует как в создании условий для реализации практикоориентированных форматов профориентации, так и в формировании профессиональных установок педагогов.

Таким образом, модель экосистемы стратегических партнерств, которая может приобретать различное институциональное воплощение (от профильных классов до собственных корпоративных

образовательных сетей, от мастерских в технопарках до отраслевых инфраструктурных кластеров и т. п.), представляется наиболее эффективной с точки зрения отраслевой и корпоративной профориентации в интересах подготовки кадров для высокотехнологических отраслей региональной экономики.

Выводы. 1. В современной системе технологического образования школьников складывается устойчивая тенденция к институционализации регионального компонента внутри образовательной системы в интересах кадрового обеспечения экономики регионов. При этом степень развития этих систем в разных федеральных округах различна и прямо коррелирует с уровнем вовлеченности индустриальных партнеров в образовательный процесс.

2. В большинстве регионов именно образовательные организации выступают драйверами развития профориентационной повестки, обеспечивая содержательную и методическую основу взаимодействия с работодателями. Однако работодатели остаются преимущественно внешними наблюдателями (внешними заказчиками), а не участниками образовательного процесса. Такая диспропорция создает разрыв между задачами региональной кадровой политики и возможностями системы образования.

3. Данные кластерного анализа и анкетирования, проведенных в 8 федеральных округах, 23 регионах РФ и охвативших 1183 педагогов, реализующих программы технологического образования школьников, показывают, что педагоги осведомлены о социально-экономической специфике региона и активно транслируют профориентационную поветску в учебном процессе. Однако потенциал этого ресурса не реализуется в полной мере из-за слабой интеграции школ и учреждений дополнительного образования с предприятиями и организациями реального сектора экономики. Даже в регионах с развитыми отраслевыми кластерами (Тамбовская, Кемеровская области, Республика Татарстан, Приморский край) уровень взаимодействия остается фрагментарным.

4. Решение задачи подготовки кадров для экономики будущего требует перехода от эпизодических форм сотрудничества к устойчивым моделям совместного управления содержанием образовательных программ на основе модели экосистемы стратегических партнерств. В основе такой модели должно лежать партнерство школы, дополнительного образования, колледжа, вуза и работодателя, обеспечивающее выстраивание карьерных траекторий обучающихся на основе осознанного выбора.

5. Перспективным направлением развития является поиск инструментов мотивации работодателей для реального взаимодействия с образовательными организациями в рамках уже сложившейся институционализированной системы в виде профильных классов отраслевой специфики, технопарков, программ дополнительного образования отраслевого содержания, а также уроков «Труда (технологии)» и т. п. Это позволит преодолеть дефицит практикоориентированных форматов и повысить рекрутинговую эффективность технологического образования, превратив его из профагитации в реальный инструмент подготовки кадров для регионов.

6. Таким образом, стратегическая задача ближайших лет – переход от локальных инициатив к созданию полноценных региональных экосистем технологического образования, способных объединить усилия государства, бизнеса и образовательных организаций в интересах устойчивого развития человеческого капитала.

Список литературы

1. *Qualifications* Systems: Bridges to Lifelong Learning // Education and Training Policy. OECD. 2007.

2. *Kuzminov Ya., Sorokin P., Froumin I.* Generic and Specific Skills as Components of Human Capital: New Challenges for Education Theory and Practice // Foresight and STI Governance. 2019. Vol. 13. № 2. Pp. 19–41.

3. *Косарецкий С. Г., Гошин М. Е., Беликов А. А.* и др. Дополнительное образование детей в России: единое и многообразное. М.: Изд. дом ВШЭ. 2019. 277 с.

4. *Зенкин М. А.* Отраслевое дополнительное образование детей в России и за рубежом: основные тренды, модели, эффекты // ИНСАЙТ. 2023. № 1 (13). С. 28–38.

5. *Зенкин М. А., Иванов И. Ю., Остапенко Е. С.* Профессия или развитие: потенциал, подходы и модели отраслевого дополнительного образования детей в России. М.: НИУ ВШЭ. 2023. 32 с.

6. *Блинов В. И., Пронькин В. Н., Родичев Н. Ф., Сергеев И. С.* Профориентация детей и молодежи. Сопровождение, практика, нетворкинг: уч. пособ. для вузов. М.: Изд-во Лань. 2025. 356 с.

7. *Ainslie P. J., Huffman S. L.* Human Resource Development and Expanding STEM Career Learning Opportunities: Exploration, Internships, and Externships // Advances in Developing Human Resources. 2018. Vol. 21. Iss. 1. Pp. 35–48.

8. *Минина Е. В., Павленко Е. С., Кирюшина М. А., Якубовская А. А.* Карьерное консультирование в современном мире: теории и практики в России и за рубежом. М.: НИУ ВШЭ. 2021. 102 с.

9. *Theriault G., Galibois S.* The intricate and symbiotic relationship between educational institutions and the industry // Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019. Art. 11143_146.

10. *Sallies C., Wilson M. F., Murgia F., Monni S. L.* Innovative Didactic Laboratories and School Dropouts // Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Networks and Systems. 2018. Vol. 22. Pp. 887–894.

11. *Denselow S., Noble J.* How sea cadets helps young people today: A summary of the evidence // Official web-site Sea cadets of United Kingdom. 2018. URL: https://www.sea-cadets.org/userfiles/files/SC%20Impact%20Report%20online.pdf.

12. *Глубокова Е. Н., Жукова В. К., Кирьякова А. В.* и др. Актуализация и переосмысление опыта трудового воспитания школьников в современных условиях: монография. СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. 2025. 160 с.

13. *Пронькин В. Н.* JuniorSkills: модель ранней полипрофессиональной подготовки и профориентации // Новые образовательные стратегии в современном информационном пространстве: сб. науч. ст. по мат-лам междунар. науч.-практич. конф. СПб.: Астерион. 2021. С. 213–218.

14. *Сергеев И. С.* Образовательная профориентация – методологическая основа профориентационой работы с детьми и молодежью // Профессиональное образование и рынок труда. 2023. № 1. С. 24–44.

15. *Сергеев И. С., Пронькин В. Н.* Маркеры профориентационных парадигм // Образовательная политика. 2023. Т. 4. № 96. С. 121–132.

References

1. Qualifications Systems: Bridges to Lifelong Learning. *Education and Training Policy. OECD*, 2007.

2. Kuzminov Ya., Sorokin P., Froumin I. Generic and Specific Skills as Components of Human Capital: New Challenges for Education Theory and Practice. *Foresight and STI Governance*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 19–41.

3. Kosaretsky S. G., Goshin M. E., Belikov A. A. et al. *Dopolnitel'noe obrazovanie detej v Rossii: edinoe i mnogoobraznoe* [Supplementary Education for Children in Russia: Unified and Diverse]. Moscow, HSE Publishing House, 2019, 277 p.

4. Zenkin M. A. Sector-Based Supplementary Education for Children in Russia and Abroad: Main Trends, Models, and Effects. *INSIGHT*, 2023, no. 1 (13), pp. 28–38.

5. Zenkin M. A., Ivanov I. Yu., Ostapenko E. S. *Professija ili razvitie: potencial, podhody i modeli otraslevogo dopolnitel'nogo obrazovanija detej v Rossii* [Profession or Development: Potential, Approaches, and Models of Sector-Based Supplementary Education for Children in Russia]. Moscow, HSE University, 2023, 32 p.

6. Blinov V. I., Pronkin V. N., Rodichev N. F., Sergeev I. S. *Proforientacija detej i molodezhi. Soprovozhdenie, praktika, netvorking* [Career Guidance for Children and Youth. Support, Practice, Networking: A Manual for Universities]. Moscow, Lan Publishing House, 2025, 356 p.

7. Ainslie P. J., Huffman S. L. Human Resource Development and Expanding STEM Career Learning Opportunities: Exploration, Internships, and Externships. *Advances in Developing Human Resources*, 2018, vol. 21, iss. 1, pp. 35–48.

8. Minina E. V., Pavlenko E. S., Kiryushina M. A., Yakubovskaya A. A. *Kar'ernoe konsul'tirovanie v sovremennom mire: teorii i praktiki v Rossii i za rubezhom* [Career Counseling in the Modern World: Theories and Practices in Russia and Abroad]. Moscow, HSE University, 2021, 102 p.

9. Theriault G., Galibois S. The intricate and symbiotic relationship between educational institutions and the industry. *Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP 2019*, art. 11143_146.

10. Sallies C., Wilson M. F., Murgia F., Monni S. L. Innovative Didactic Laboratories and School Dropouts. *Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2018, vol. 22, pp. 887–894.

11. Denselow S., Noble J. How sea cadets help young people today: A summary of the evidence. *Official website Sea cadets of United Kingdom*, 2018, available at: https://www.sea-cadets.org/userfiles/files/SC%20Impact%20Report%20online.pdf.

12. Glubokova E. N., Zhukova V. K., Kiryakova A. V. et al. *Aktualizacija i pereosmyslenie opyta trudovogo vospitanija shkol'nikov v sovremennyh uslovijah* [Updating and rethinking the experience of labor education of schoolchildren in modern conditions: monograph]. St. Petersburg, publishing house of Herzen Univ., 2025, 160 p.

13. Pronkin V. N. JuniorSkills: a model of early multi-professional training and career guidance. *New educational strategies in the modern information space: collection of scientific articles on the materials of the international. scientific and practical conference*. St. Petersburg, Asterion, 2021, pp. 213–218.

14. Sergeev I. S. Educational career guidance – a methodological basis for career guidance work with children and youth. *Vocational education and the labor market*, 2023, no. 1, pp. 24–44.

15. Sergeev I. S., Pronkin V. N. Markers of career guidance paradigms. *Educational policy*, 2023, vol. 4, no. 96, pp. 121–132.

УДК

Е. Л. КРУГЛОВА, канд. соц. наук; С. А. ЮШКОВА, канд. экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: ELKruglova@fa.ru
E. L. Kruglova, S. A. Yushkova (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Комплексный подход к развитию человеческого капитала через механизмы долгосрочных инвестиций и социальной поддержки населения

Comprehensive approach to human capital development through mechanisms of long-term investment and social support for the population

Статья исследует взаимосвязь долгосрочных инвестиций в развитие человеческого капитала и механизмов социальной поддержки, демонстрируя, что максимальная отдача достигается при их синергии, а не при изолированном наращивании расходов по отдельным направлениям. Эмпирически проверяется гипотеза о том, что сочетание целевых вложений в образование, здравоохранение и НИОКР с развитой системой социальной защиты усиливает инновационный потенциал, повышает производительность и снижает неравенство, формируя устойчивый рост. Результаты показывают устойчивую положительную связь инвестиций в образование и здравоохранение с Индексом человеческого капитала, комплементарность высоких НИОКР и социальных гарантий для лидерства в инновациях, а также обратную корреляцию масштаба социальной защиты с неравенством и прямую связь с высоким Индексом человеческого развития. Обсуждение предлагает концепцию «золотого треугольника» политики: «будущий капитал» (образование и НИОКР), «настоящий капитал» (здравоохранение) и «устойчивость капитала» (социальная защита), где недоинвестирование в любую вершину снижает общую эффективность.

The article examines the interrelationship between long-term investments in human capital development and social support mechanisms, demonstrating that maximum returns are achieved through their synergy rather than by increasing expenditures in isolated areas. The aim is to empirically test the hypothesis that combining targeted investments in education, healthcare, and R&D with a developed social protection system enhances innovation potential, raises productivity, and reduces inequality, thereby fostering sustainable growth. The research stages include data collection and harmonization, construction of analytical tables, correlation and comparative analysis with attention to nonlinearities and outliers (for example, the United States' high medical spending alongside a relatively lower level of human capital, or high index values with moderate spending in Japan and the Republic of Korea); the results show a stable positive relationship between investments in education and healthcare and the Human Capital Index, the complementarity of high R&D and social guarantees for innovation leadership, as well as an inverse correlation between the scale of social protection and inequality and a direct association with a high Human Development Index; the discussion proposes the policy concept of a «golden triangle»: «future capital» (education and R&D), «present capital» (healthcare), and «capital sustainability» (social protection), where underinvestment in any vertex reduces overall effectiveness.

Ключевые слова: человеческий капитал; социальные инвестиции; социальная защита; НИОКР; индекс человеческого развития.

Keywords: human capital; social investments; social protection; R&D; Human Development Index.

В современной экономической парадигме происходит фундаментальный сдвиг от моделей, центрированных на физических активах, к концепции, где доминирующим фактором устойчивого роста и национальной конкурентоспособности признается человеческий капитал [1]. Определяемый как сово-

купность знаний, навыков, компетенций и атрибутов здоровья, воплощенных в индивидах, он становится ключевым производственным ресурсом, определяющим траекторию долгосрочного развития [2]. Теоретическую основу этого подхода закладывают работы экономистов Чикагской школы, в частности Гэри Беккера, Теодора Шульца и Джейкоба Минсера [3], которые переосмысляют расходы на образование и здравоохранение не как потребительские затраты, а как высокодоходные инвестиции [4]. Их исследования убедительно демонстрируют, что вложения в человека приводят к повышению производительности труда, росту доходов и, как следствие, к ускорению экономического роста на макроуровне [5]. Эта концепция утверждает, что подобно физическому капиталу, человеческий капитал можно накапливать, и его отдача напрямую зависит от объема и качества произведенных инвестиций [6].

Однако эмпирические данные последних десятилетий указывают на усложнение этой зависимости [7]. Несмотря на теоретически обоснованную связь между инвестициями и экономическими результатами, многие страны, включая высокоразвитые, сталкиваются с феноменом замедления роста производительности труда при сохранении или даже увеличении расходов на социальную сферу [8]. Глобальные расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) в 2023 г. достигают рекордных 2,75 трлн долл. США, что почти втрое превышает уровень 2000 г. [9], однако это не всегда транслируется в соразмерное ускорение экономического роста [10]. Анализ Индекса человеческого развития (ИЧР), публикуемого ПРООН [11], показывает сохраняющийся значительный разрыв между странами с «очень высоким» уровнем развития и остальным миром, несмотря на глобальные усилия по повышению доступности образования и здравоохранения [12]. Например, в отчете за 2023–2024 гг. в топ-10 стран входят Швейцария, Норвегия, Исландия, в то время как страны Центральной Африки замыкают рейтинг, демонстрируя колоссальную дивергенцию в накопленном человеческом капитале [13].

Эта ситуация порождает так называемый «парадокс инвестиций и производительности» [14], который свидетельствует о том, что простой количественный рост ассигнований в социальную сферу недостаточен для обеспечения желаемого экономического эффекта [15]. Данные Всемирного банка по Индексу человеческого капитала (ИЧК) [1] подтверждают этот вывод. Даже среди стран с высоким уровнем дохода существуют значительные различия в эффективности преобразования инвестиций в реальный человеческий капитал [4]. Это указывает на решающую роль институциональной среды, качества государственных услуг и, что особенно важно, социально-экономического контекста, в котором эти инвестиции осуществляются [7]. Становится очевидным, что изолированные вложения в образование или здравоохранение не могут полностью реализовать свой потенциал, если они не подкреплены комплексной системой социальной поддержки [10]. Именно эта система создает фундамент стабильности и равных возможностей, позволяя инвестициям в человеческий капитал достигать максимальной отдачи [2].

Таким образом, центральный тезис данного исследования заключается в том, что эффективная национальная стратегия развития человеческого капитала требует синергетического подхода, интегрирующего долгосрочные целевые инвестиции в образование, здравоохранение и науку с робустной и всеобъемлющей системой социальной поддержки населения [5]. Социальная инфраструктура, включающая системы социального страхования, поддержки семей, защиты от безработицы и борьбы с бедностью [6], перестает быть пассивным элементом перераспределения благ и превращается в активный инструмент, обеспечивающий устойчивость и повышающий эффективность инвестиций [12]. Она выступает в роли стабилизирующего механизма, который снижает риски для домохозяйств, сглаживает последствия экономических шоков и создает условия, при которых каждый член общества может в полной мере реализовать свой потенциал [3]. Именно такой комплексный подход позволяет перейти от простого финансирования социальных отраслей к стратегическому управлению национальным человеческим капиталом как главным активом в экономике знаний [9].

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование базируется на методологии количественного, межстранового сравнительного анализа, основанного на систематическом обзоре и синтезе вторичных данных из авторитетных международных источников. Данный подход позволяет провести объективное сопоставление национальных политик и их результатов, выявить статистически значимые корреляции и паттерны, которые могут служить основой для разработки научно обоснованных политических рекомендаций. Исследование носит комплексный характер, охватывая ключевые аспекты инвестиций в человеческий капитал и системы социальной поддержки, что позволяет сформировать целостное представление о взаимосвязях между различными элементами государственной политики и показателями национального развития. Теоретической рамкой работы выступают как классические

теории человеческого капитала, так и современные концепции социальных инвестиций, которые рассматривают социальные расходы в качестве производительных вложений, способствующих долгосрочному экономическому росту и социальной стабильности.

Информационной базой исследования служит обширный массив данных, скомпилированный из официальных статистических публикаций и баз данных ведущих мировых организаций, что обеспечивает высокий уровень достоверности и сопоставимости используемых показателей. В частности, используются данные Всемирного банка, включая ИЧК, показатели расходов на здравоохранение на душу населения, коэффициент Джини для оценки уровня неравенства и данные по производительности труда. Для анализа расходов на образование, НИОКР и динамики производительности труда в развитых странах привлечены статистические сборники Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Ключевым инструментом для оценки инновационного потенциала стран служит Глобальный инновационный индекс (*GII*), ежегодно публикуемый Всемирной организацией интеллектуальной собственности (ВОИС). Данные о расходах на социальную защиту в странах Европейского союза были получены из баз данных Евростата, которые предоставляют детализированную информацию о структуре и объеме социальных трансфертов. Кроме того, для комплексной оценки уровня развития использовался ИЧР из докладов ПРООН.

Для проведения детального анализа сформирована целенаправленная выборка стран, включающая преимущественно высокодоходные государства-члены ОЭСР, известные своими развитыми системами социальных инвестиций и высоким инновационным потенциалом. В выборку вошли такие страны, как Швейцария, Швеция, Дания, Норвегия, Финляндия, Германия, США, Япония и Республика Корея. Такой выбор позволяет провести анализ на основе «лучших практик», изучая взаимодействие ключевых переменных в экономиках, где человеческий капитал достиг высокого уровня развития. Отбор ключевых количественных индикаторов производитя на основе их прямой релевантности центральным гипотезам исследования, широкого использования в международном политическом анализе и доступности актуальных, сопоставимых межстрановых данных. В качестве основных индикаторов выбраны: государственные расходы на образование (% от ВВП), текущие расходы на здравоохранение на душу населения (по ППС в долл. США), валовые внутренние расходы на НИОКР (% от ВВП), расходы на социальную защиту (% от ВВП), коэффициент Джини, Индекс человеческого капитала, Глобальный инновационный индекс и темпы роста производительности труда.

Исследовательский процесс включает в себя несколько этапов. На первом этапе проводится сбор и систематизация данных из указанных источников за наиболее актуальный период (преимущественно 2021–2024 гг.). На втором этапе данные сведены в аналитические таблицы для наглядного сопоставления показателей по выбранным странам. Третий, основной, этап заключается в проведении корреляционного и сравнительного анализа представленных данных. В ходе анализа оцениваются сила и направленность связей между инвестиционными показателями (расходы на образование, здравоохранение, НИОКР), индикаторами социальной поддержки (расходы на соцзащиту, уровень неравенства) и итоговыми показателями развития (ИЧК, *GII*, производительность труда, ИЧР). Особое внимание уделяется выявлению нелинейных зависимостей и анализу стран-«выбросов», чьи показатели значительно отклоняются от общей тенденции, что позволяет выявить специфические факторы успеха или неэффективности национальной политики. Общее количество проанализированных источников, включая академические статьи, монографии и статистические базы данных, составляет более сорока наименований.

Результаты исследования и их обсуждение

Эмпирический анализ взаимосвязей между различными аспектами государственной политики и результатами в области развития человеческого капитала позволяет деконструировать сложный механизм формирования национального благосостояния. Последующий анализ переходит от рассмотрения базовых инвестиций в здравоохранение и образование к изучению более комплексного взаимодействия инноваций, социальной стабильности и экономического неравенства. Цель состоит в том, чтобы вскрыть «черный ящик» развития человеческого капитала путем изучения статистических корреляций между конкретными политическими рычагами (расходами) и желаемыми национальными результатами (производительностью, инновациями, благополучием). Выбор представленных ниже показателей призван проверить центральный тезис доклада: эти инвестиционные потоки не являются независимыми, а, напротив, глубоко взаимосвязаны и взаимно усиливают друг друга.

Первый блок данных исследует прямую связь между расходами на ключевые столпы человеческого капитала – образование и здравоохранение – и сводным Индексом человеческого капитала Всемирного банка. Это позволяет установить базовое понимание

того, как финансовые вложения трансформируются в потенциальную производительность будущей рабочей силы (см. табл. 1). Далее фокус смещается на исследование того, как инвестиции в будущие возможности (НИОКР) и текущую социальную стабильность (социальная защита) коррелируют с инновационной эффективностью страны и ее экономической производительностью, измеряемыми Глобальным инновационным индексом и ростом производительности труда. Наконец, рассматривается макросоциальное измерение, анализируя, как системы социальной поддержки соотносятся с экономическим неравенством и общим уровнем человеческого развития, исходя из предположения, что равенство является необходимым условием для устойчивого и широкого формирования капитала.

Анализ данных, представленных в табл. 1, выявляет устойчивую положительную корреляцию между уровнем инвестиций в образование и здравоохранение и значением ИЧК. Страны, демонстрирующие наиболее высокие показатели, такие как Швейцария, Финляндия, Ирландия (0,81), а также Швеция, Нидерланды, Япония и Республика Корея (0,8), как правило, характеризуются значительными вложениями в социальную сферу. Например, скандинавские страны, такие как Исландия, Швеция и Норвегия, лидируют по доле образовательных расходов, что находит отражение в их высоких показателях ИЧК. Аналогичная тенденция наблюдается и в сфере здравоохранения: Швейцария, Германия и Норвегия входят в число лидеров по объему финансирования, что создает прочную основу для формирования здорового и продуктивного населения. Здоровье выступает фундаментальной предпосылкой для эффективного освоения знаний, поскольку проблемы со здоровьем в детском возрасте, включая недостаточное питание, напрямую подрывают отдачу от инвестиций в образование.

Вместе с тем, анализ выявляет и нелинейные зависимости, указывающие на то, что объем финансирования не является единственным детерминантом успеха. Наиболее ярким примером являются США, которые с большим отрывом лидируют по расходам на здравоохранение, однако их показатель ИЧК (0,7) заметно ниже, чем у многих других развитых стран, тратящих значительно меньше. Это свидетельствует о проблемах эффективности, доступности и справедливости в распределении ресурсов внутри американской системы здравоохранения. С другой стороны, Ирландия демонстрирует один из самых высоких показателей ИЧК (0,81) при относительно низких государственных расходах на образование (3,01 % ВВП), что может указывать на высокую эффективность образовательной системы или значительную роль частных инвестиций. Япония и Республика Корея также достигают высоких значений ИЧК при умеренных по меркам ОЭСР расходах, что подчеркивает важность культурных факторов и качества образовательных институтов. Таким образом, данные подтверждают, что адекватное финансирование является необходимым, но не достаточным условием для формирования высокого человеческого капитала; ключевую роль играют структура, эффективность и справедливость систем образования и здравоохранения.

Таблица 1

Инвестиции в образование и здравоохранение и их связь с ИЧК

Страна	Государственные расходы на образование, % от ВВП за 2021 г.	Текущие расходы на здравоохранение на душу населения, долл. США по ППС за 2022 г.	ИЧК за 2020 г.
Швейцария	5,04	9089	0,81
Норвегия	6,96	8533	0,79
Исландия	8,22	5956	0,79
Швеция	7,57	6977	0,8
Дания	7	6661	0,78
Финляндия	6,54	5765	0,81
Нидерланды	5,51	7517	0,8
Бельгия	6,36	6906	0,76
Австрия	5,49	7700	0,79
Германия	5,45	8652	0,79
Франция	5,43	6701	0,76
Ирландия	3,01	6748	0,81
Великобритания	5,9	6188	0,78
США	5,43	12898	0,7
Япония	3,34	5984	0,8
Республика Корея	4,87	4634	0,8

Таблица 2

Расходы на НИОКР, социальную защиту и их влияние на инновационный потенциал и производительность труда

Страна	Валовые расходы на НИОКР, % от ВВП за 2023 г.	Расходы на социальную защиту, % от ВВП за 2023 г.	*GII* за 2024 г.	Рост производительности труда, % за 2022 г.
Швейцария	3,36	13,052348	67,5	–0,5
Швеция	3,42	18,682039	64,5	–0,8
США	3,46	16,3,	62,4	–1,9
Финляндия	2,99	25,731537	59,4	–0,9
Нидерланды	2,31	16,8	58,8	–0,8
Германия	3,14	19,650345	58,1	–0,4
Дания	2,81	19,502847	57,1	1,1
Франция	2,22	23,352333	55,4	–0,3
Япония	3,3	18,5	54,1	–0,8
Израиль	5,56	12,9	52,7	2,5
Ирландия	1,13	8,071657	50	9,5
Норвегия	1,94	17,485459	49,1	0,9
Исландия	2,81	10,813960	48,5	0,2
Бельгия	3,43	20,055034	47,7	0,7
Австрия	3,26	21,423302	50,3	–0,3
Республика Корея	4,93	12,6,	60,9	1,2

Данные табл. 2 раскрывают синергию между инвестициями в будущее (НИОКР) и обеспечением текущей стабильности (социальная защита) в контексте формирования инновационной экономики. Прямая и сильная корреляция наблюдается между долей расходов на НИОКР и позицией в Глобальном инновационном индексе. Страны-лидеры по интенсивности НИОКР, такие как Израиль (5,56 % ВВП), Республика Корея (4,93 %), Швеция (3,42 %) и Швейцария (3,36 %), стабильно занимают верхние строчки рейтинга *GII*. Это подтверждает, что целенаправленные и масштабные инвестиции в науку и технологии являются критически важным фактором для создания передовой инновационной экосистемы. Однако более глубокий анализ выявляет и вторую, не менее важную составляющую успеха. Многие страны с высоким инновационным потенциалом, включая Финляндию (25,73 % ВВП на соцзащиту), Францию (23,35 %), Австрию (21,42 %) и Германию (19,65 %), одновременно являются лидерами по доле расходов на социальную защиту.

Это позволяет выдвинуть гипотезу о том, что развитая система социальной поддержки является не бременем для экономики, а катализатором инноваций. Надежные социальные гарантии (пособия по безработице, доступное здравоохранение, пенсионное обеспечение) снижают персональные риски, связанные с предпринимательской деятельностью, сменой профессии или участием в рискованных, но потенциально прорывных проектах. В такой среде работники и предприниматели более склонны к экспериментам и «созидательному разрушению», которое лежит в основе технологического прогресса. Таким образом, социальная защита выполняет функцию макроэкономического стабилизатора, который поощряет принятие риска, необходимого для инновационного развития. Что касается производительности труда, данные за 2022 г. отражают сложную постпандемическую картину с отрицательной динамикой во многих странах ОЭСР, что связано с нормализацией рынков труда и структурными сдвигами. Исключением является Ирландия (рост на 9,5 %), чей показатель во многом обусловлен деятельностью крупных транснациональных корпораций. Тем не менее, в долгосрочной перспективе именно синергия НИОКР и социальной стабильности создает предпосылки для устойчивого роста производительности.

Данные табл. 3 наглядно демонстрируют сильную обратную корреляцию между масштабом систем социальной защиты и уровнем экономического неравенства, а также прямую связь между низким неравенством и высоким уровнем человеческого развития. Страны с наиболее щедрыми социальными расходами, такие как Финляндия, Франция, Австрия и Бельгия, показывают значительно более низкие значения коэффициента Джини по сравнению со странами с менее развитыми системами поддержки. Например, в Исландии, Норвегии и Бельгии коэффициент Джини находится на уровне 25,5–26,6, что свидетельствует о высокой степени равенства в

распределении доходов. В то же время эти же страны занимают лидирующие позиции в мире по ИЧР: Швейцария, Норвегия, Исландия.

Этот анализ подтверждает, что механизмы социальной поддержки являются ключевым инструментом для трансформации экономического роста в инклюзивное человеческое развитие. Перераспределяя доходы через налоги и трансферты, государство не просто сглаживает социальные диспропорции, но и создает более равные стартовые условия для всех граждан. Это обеспечивает более широкий доступ к качественному образованию, здравоохранению и другим ресурсам, необходимым для развития индивидуального человеческого капитала. В результате предотвращается «потеря» человеческого потенциала среди наименее обеспеченных слоев населения, что в долгосрочной перспективе повышает совокупный человеческий капитал нации. Таким образом, социальные инвестиции способствуют формированию более справедливого, сплоченного и устойчивого общества, которое является наилучшей основой для долгосрочного процветания и экономической устойчивости.

Интегрированный анализ представленных данных позволяет выявить контуры оптимальной государственной политики в области развития человеческого капитала. Наиболее успешные страны, такие как Швейцария, Швеция, Дания и Норвегия, демонстрируют высокие показатели по всему спектру метрик: они одновременно инвестируют значительные средства в образование, здравоохранение и НИОКР, поддерживают мощные системы социальной защиты, имеют низкий уровень неравенства и, как результат, лидируют в рейтингах ИЧК, *GII* и ИЧР. Это свидетельствует о том, что их политика не является выбором «или/или» (инвестиции против социального обеспечения), а представляет собой комплексную стратегию «и/и».

Такую стратегию можно концептуализировать в виде «золотого треугольника» политики человеческого капитала, имеющего три взаимоусиливающие вершины. Первая вершина – «Будущий капитал» – включает инвестиции в образование и НИОКР, которые закладывают основу для будущих инноваций и роста производительности. Вторая вершина – «Настоящий капитал» – охватывает инвестиции в здравоохранение и благополучие текущей рабочей силы, что обеспечивает ее высокую продуктивность здесь и сейчас. Третья, и ключевая, вершина – «Устойчивость капитала» – представлена инвестициями в социальную защиту и равенство, которые создают стабильную и справедливую среду, минимизируют риски и максимизируют отдачу от вложений в первые две вершины. Недостаточные инвестиции в любую из вершин подрывают эффективность всей системы. Например, высокие расходы на НИОКР в обществе с высоким уровнем неравенства и плохим состоянием здоровья населения дадут субоптимальный результат, поскольку пул талантов будет ограничен, а рабочая сила – менее продуктивной. Эта интегрированная модель предоставляет мощную концептуальную основу для разработки и оценки государственной политики, нацеленной на долгосрочное и устойчивое развитие.

Выводы. 1. Проведенное исследование подтверждает, что в современной экономике знаний человеческий капитал является неоспоримым драйвером национального процветания. Однако его развитие требует не простого увеличения ассигнований в социальную сферу, а комплексного и стратегически выверенного подхода. Эмпирический анализ данных по группе высокоразвитых стран демонстрирует наличие сильных положительных и взаимоусиливающих

Таблица 3

Взаимосвязь социальной поддержки, экономического неравенства и устойчивости развития

Страна	Расходы на социальную защиту, % от ВВП за 2023 г.	Коэффициент Джини (последний год)	ИЧР за 2023/2024 гг.
Финляндия	25,731537	27,1 (2021)	0,942
Франция	23,352333	30,2 (2020)	0,91
Австрия	21,423302	30,7 (2020)	0,926
Бельгия	20,055034	26,6 (2020)	0,942
Италия	21,094075	34,9 (2020)	0,906
Германия	19,650345	31,7 (2019)	0,95
Дания	19,502847	27,5 (2021)	0,952
Швеция	18,682039	29,3 (2021)	0,952
Норвегия	17,485459	26,6 (2021)	0,966
Швейцария	13,052348	32,7 (2020)	0,967
Исландия	10,81396	25,5 (2021)	0,959
Ирландия	8,071657	30,8 (2020)	0,95

связей между долгосрочными инвестициями в образование, здравоохранение, научные исследования и развитыми механизмами социальной поддержки населения. Наиболее успешные и устойчивые экономики мира характеризуются не выбором между инвестициями в будущее и социальной справедливостью, а их гармоничным синтезом.

2. Ключевые выводы анализа показывают, что высокий уровень расходов на образование и здравоохранение напрямую коррелирует с более высоким значением Индекса человеческого капитала, что транслируется в повышение потенциальной производительности будущих поколений. В то же время, объем финансирования не является единственным фактором успеха; критически важны эффективность, доступность и справедливость распределения ресурсов. Инвестиции в НИОКР, в свою очередь, являются прямым катализатором инновационного потенциала страны, что отражается в высоких позициях в Глобальном инновационном индексе. Однако и здесь проявляется синергетический эффект: развитые системы социальной защиты, снижая индивидуальные риски, поощряют предпринимательскую активность и инновационное поведение, создавая благоприятную среду для технологического прогресса.

3. Наиболее значимым результатом исследования является эмпирическое подтверждение того, что социальная защита является не пассивной статьей расходов, а производительным стратегическим вложением. Высокий уровень социальных расходов демонстрирует сильную обратную корреляцию с уровнем неравенства, измеряемым коэффициентом Джини. Снижение неравенства, в свою очередь, способствует формированию более сплоченного общества и обеспечивает более широкий доступ к ресурсам для развития человеческого потенциала, что находит отражение в высоких значениях Индекса человеческого развития. Таким образом, социальная политика выступает в роли фундамента, на котором строятся и от которого получают максимальную отдачу инвестиции в образование, здоровье и науку.

4. Перспективы применения полученных результатов лежат в плоскости реформирования государственной политики. Правительствам следует отказаться от секторального, «колодезного» подхода к управлению, при котором министерства образования, здравоохранения, науки и социальной защиты конкурируют за бюджетные ресурсы. Вместо этого необходим переход к интегрированной, общегосударственной стратегии развития человеческого капитала, где все эти направления рассматриваются как элементы единой системы. Предложенная концептуальная модель «золотого треугольника», объединяющая инвестиции в «будущий капитал» (образование, НИОКР), «настоящий капитал» (здравоохранение) и «устойчивость капитала» (социальная защита), может служить практическим ориентиром для разработки и оценки такой политики. В условиях глобальных вызовов, таких как цифровая трансформация, демографические изменения и климатический кризис, именно такой целостный подход, обеспечивающий одновременно инновационность и социальную устойчивость, станет ключом к долгосрочному успеху и процветанию наций.

Список литературы

1. *Гишкаева Л. Л.* Человеческий капитал как важнейший фактор современного производства // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 12–2. С. 216–221.

2. *Боркова Е. А., Ватлина Л. В.* Инвестиции в человеческий капитал как основа устойчивого социально-экономического развития // Экономика и управление. 2025. Т. 31. № 1. С. 13–22.

3. *Тодосийчук А. В.* О прогнозировании влияния человеческого капитала на экономический рост // Инвестиции в России. 2020. № 3 (302). С. 3–10.

4. *Потягайлов С. В., Гузырь В. В., Воробьева Е. С., Юсубова З. А.* Человеческий капитал как драйвер разворачивания новой индустриализации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2021. № 3. С. 98–107.

5. *Смагулова Н. Т., Елшибекова К. Ж., Асанова А. Ж.* Результативность инвестиций в человеческий капитал: приоритеты и перспективы их развития // Вестник университета Туран. 2023. № 3 (99). С. 121–140.

6. *Иванина Е. А.* Социальные инвестиции как фактор развития человеческого капитала // Научный журнал «Менеджер». 2020. № 2 (92). С. 65–72.

7. *Mumladze A., Lomachynska I.* Human capital as a component of an innovation-oriented economy // Вестник Одесского национального университета. Экономика. 2021. Т. 26. № 4 (89).

8. *Клеева Л. П.* Развитие человеческого капитала как часть стратегии социально-экономического развития // Компетентность. 2021. № 7. С. 44–49.

9. *Квон Г. М., Поздеева О. Г.* Парадигма преобразующих инвестиций в формировании человеческого капитала региона: теоретический и практический аспекты // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. № 10. С. 4483–4502.

10. *Антоненко В. В., Серова О. Ф.* Инвестиции в человеческий капитал: ключ к эффективному воспроизводству и устойчивому развитию // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2024. № 12. С. 260–264.

11. *Ахмедова Ж. А., Вольская З. Э.* Инвестиции в человеческий капитал: понятие, особенности и основные этапы // Региональные проблемы преобразования экономики. 2024. № 4 (162). С. 258–271.

12. *Энус Ш. М.* Концепция учета и отчетности движения капитала в социально-экономическом развитии: институциональный подход // Аудит и финансовый анализ. 2020. № 1. С. 34–37.

13. *Benko N. M.* Interrelationship between human capital structure and investment in human capital // Бизнес информ. 2020. Т. 10. № 513. С. 96–104.

14. *Хадуева Я. А., Хаджимуратова М. И., Ахмедов Ф. К.* Инвестиции государства в человеческий капитал // Вестник Академии знаний. 2021. № 42 (1). С. 279–282.

15. *Losieva Yu.* The role of social investment in human capital development // Теорія та практика державного управління. 2023. № 1. С. 72–80.

References

1. Gishkaeva L. L. Human capital as the most important factor of modern production. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2022, no. 12–2, pp. 216–221.

2. Borkova E. A., Vatlina L. V. Investment in human capital as the basis for sustainable socio-economic development. *Economics and Management*, 2025, vol. 31, no. 1, pp. 13–22.

3. Todosiychuk A. V. On forecasting the impact of human capital on economic growth. *Investments in Russia*, 2020, no. 3 (302), pp. 3–10.

4. Potyagaylov S. V., Guzyr V. V., Vorobyeva E. S., Yusubova Z. A. Human capital as a driver for unfolding a new industrialization. *Scientific Journal of ITMO University. Series: Economics and Environmental Management*, 2021, no. 3, pp. 98–107.

5. Smagulova N. T., Elshibekova K. Zh., Asanova A. Zh. Effectiveness of investments in human capital: priorities and prospects for their development. *Bulletin of «Turan» University*, 2023, no. 3 (99), pp. 121–140.

6. Ivanina E. A. Social investments as a factor in human capital development. *Scientific Journal* «*Manager*», 2020, no. 2 (92), pp. 65–72.

7. Mumladze A., Lomachynska I. Human capital as a component of an innovation-oriented economy. *Scientific Bulletin of the Odesa National University. Economics*, 2021, vol. 26, no. 4 (89).

8. Kleeva L. P. Human capital development as part of a socio-economic development strategy. *Competence*, 2021, no. 7, pp. 44–49.

9. Kvon G. M., Pozdeeva O. G. The paradigm of transformative investments in forming a region's human capital: theoretical and practical aspects. *Economics, Entrepreneurship and Law*, 2023, vol. 13, no. 10, pp. 4483–4502.

10. Antonenko V. V., Serova O. F. Investment in human capital: the key to effective reproduction and sustainable development. *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*, 2024, no. 12, pp. 260–264.

11. Akhmedova Zh. A., Volskaya Z. E. Investment in human capital: concept, features, and main stages. *Regional Problems of Economic Transformation*, 2024, no. 4 (162), pp. 258–271.

12. Enus Sh. M. The concept of accounting and reporting of capital flows in socio-economic development: an institutional approach. *Audit and Financial Analysis*, 2020, no. 1, pp. 34–37.

13. Benko N. M. Interrelationship between human capital structure and investment in human capital. *Business Inform*, 2020, vol. 10, no. 513, pp. 96–104.

14. Khadueva Ya. A., Khadzhimuratova M. I., Akhmedov F. K. State investment in human capital. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 2021, no. 42 (1), pp. 279–282.

15. Losieva Yu. The role of social investment in human capital development. *Theory and Practice of Public Administration*, 2023, no. 1, pp. 72–80.

УДК 332.145

Л. И. АЛИБАЛАЕВА, канд. экономич. наук; В. М. САВИНОВА (РЭУ им. Г. В. Плеханова, г. Москва)
E-mail: Alibalaeva.li@rea.ru
L. I. Alibalaeva, V. M. Savinova (Plekhanov Russian University of Economics, Moscow)

Моделирование сценариев трансформации трудового рынка Красноярского края под воздействием требований ESG-стандартов и сокращения углеродоемких секторов экономики

Scenario modeling of the transformation of the labor market in Krasnoyarsk Krai under the influence of ESG standard requirements and the downsizing of carbon-intensive sectors of the economy

Исследование направлено на количественную оценку трансформации рынка труда Красноярского края под воздействием требований ESG-стандартов и сокращения углеродоемких секторов, с учетом высокой концентрации занятости и заработков в цветной металлургии, угледобыче, тепловой энергетике и связанных видов деятельности; исходные дисбалансы подтверждаются текущими показателями: рабочая сила порядка

1,42 млн чел. при низкой безработице 1,3 % и высокой доле зарегистрированных безработных с высшим и средним профобразованием, что указывает на нарастающее структурное несоответствие компетенций. Разрабатываются сценарии до 2035 г. для оценки масштабов высвобождения, потенциала «зеленых» рабочих мест и потребности в переквалификации. Методология включает сценарное моделирование по трем траекториям (инерционной, целевой, стрессовой), декомпозицию занятости по углеродоемким отраслям, расчет чистого баланса рабочих мест и инвестиционной потребности в переобучении на основе официальной статистики, стратегических документов и корпоративных ESG-программ. Практические рекомендации включают создание регионального фонда справедливой трансформации, опережающие программы переподготовки под запросы «зеленой» экономики и специальные меры для моногородов; затраты на переобучение трактуются как стратегические инвестиции, минимизирующие социальный шок и поддерживающие конкурентоспособность.

The study aims to provide a quantitative assessment of the transformation of the labor market in Krasnoyarsk Krai under the influence of ESG standard requirements and the contraction of carbon-intensive sectors, taking into account the high concentration of employment and earnings in non-ferrous metallurgy, coal mining, thermal power generation, and related activities; the initial imbalances are corroborated by current indicators: a labor force of about 1,42 million people amid low unemployment of 1,3 % and a high share of registered unemployed with higher and secondary vocational education, pointing to a growing structural skills mismatch. The aim of the study is to develop and compare scenarios through 2035 to assess the scale of displacement, the potential for «green» jobs, and the need for reskilling. The methodology includes scenario modeling along three trajectories (inertial, target, stress), a decomposition of employment across carbon-intensive industries, calculation of the net jobs balance, and the investment requirement for retraining based on official statistics, strategic documents, and corporate ESG programs. Practical recommendations include establishing a regional just transition fund, proactive retraining programs aligned with the demands of the «green» economy, and special measures for single-industry towns; retraining expenditures are construed as strategic investments that minimize social shock and support competitiveness.

Ключевые слова: ESG; декарбонизация; рынок труда; Красноярский край; переквалификация.

Keywords: ESG; decarbonization; labor market; Krasnoyarsk Krai; reskilling.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ на тему «Модели, методы и алгоритмы искусственного интеллекта в задачах экономики для анализа и стилизации многомерных данных, прогнозирования временных рядов и проектирования рекомендательных систем», номер проекта FSSW-2023-0004.

Глобальная экономическая трансформация, обусловленная императивами климатической повестки и повсеместным внедрением принципов *ESG* (*Environmental, Social, Governance*), ставит перед промышленно развитыми регионами России стратегические вызовы беспрецедентного масштаба [1]. Национальная политика, формализованная в «Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [2], задает четкие рамки декарбонизации, предполагая сокращение выбросов к 2030 г. до 70 % от уровня 1990 г. [3]. Этот курс на низкоуглеродное развитие неизбежно влечет за собой глубокие структурные изменения в экономике [4], особенно в тех субъектах федерации, чье благосостояние исторически зиждется на углеродоемких отраслях [5]. Красноярский край, являясь одним из ключевых индустриальных центров страны [6], оказывается в эпицентре этих преобразований [7].

Экономический профиль Красноярского края характеризуется высокой зависимостью от секторов с большим углеродным следом [8]. Регион формирует 2,5 % валового регионального продукта (ВРП) России [9], при этом в структуре его экономики доминируют обрабатывающие производства, на долю которых приходится 27,6 % ВРП, и добыча полезных ископаемых с долей в 22,1 % [10]. Такая структура, обеспечивавшая экономический рост в прошлом, в новых условиях становится источником системной уязвимости [11, 12]. Давление со стороны национальных регуляторов и международных рынков требует от базовых отраслей региона – цветной металлургии,

угольной промышленности, энергетики – коренной технологической модернизации и снижения воздействия на окружающую среду, что напрямую затрагивает основы региональной занятости и социальной стабильности [13, 14].

На первый взгляд, рынок труда региона демонстрирует устойчивость [15]. По данным на первый квартал 2024 г., численность рабочей силы составляла около 1,42 млн чел. при рекордно низком уровне безработицы в 1,3% [1]. Однако этот показатель не отражает глубинных структурных рисков [6]. Он является скорее индикатором равновесия уходящей экономической эпохи, нежели показателем готовности к будущим вызовам [4]. Примечательно, что среди официально зарегистрированных безработных высока доля лиц с высшим (52,9 %) и средним профессиональным (30,3 %) образованием [9], что уже сегодня свидетельствует о наличии структурных диспропорций и несоответствии предлагаемых компетенций требованиям работодателей [12], и этот разрыв будет лишь нарастать в процессе трансформации [13].

Процесс декарбонизации в регионе инициируется не только директивами сверху, но и стратегическими решениями крупнейших работодателей [5]. Промышленные гиганты, такие как РУСАЛ и «Норильский никель», уже утвердили и реализуют долгосрочные *ESG*-стратегии, направленные на достижение углеродной нейтральности и кардинальное снижение экологического ущерба [2, 7]. Эти корпоративные инициативы, включающие модернизацию производств, внедрение «зеленых» технологий и развитие экономики замкнутого цикла, выступают мощным катализатором изменений на региональном рынке труда, формируя спрос на новые компетенции и одновременно создавая угрозу высвобождения работников традиционных профессий [3, 14, 15].

Таким образом, формируется ключевая исследовательская проблема: каков количественный и качественный эффект от *ESG*-трансформации и декарбонизации на структуру занятости в Красноярском крае? Какие социально-экономические риски и возможности несет в себе этот переход?

Цель данной работы – поиск и анализ сценариев трансформации регионального рынка труда на период до 2035 г. Моделирование различных траекторий развития позволяет оценить масштабы потенциального высвобождения работников, определить потребность в создании новых рабочих мест, рассчитать необходимые инвестиции в переквалификацию и предложить научно обоснованные рекомендации для органов власти и бизнеса по управлению этим сложным и неизбежным процессом.

Материалы и методы исследования

Основу методологии данного исследования составляет сценарное прогнозирование, признанное в экономической науке наиболее адекватным инструментом для анализа сложных, динамично развивающихся социально-экономических систем в условиях высокой неопределенности. В отличие от экстраполяционных методов, сценарный подход не ставит целью предсказание единственно верного будущего. Его задача – очертить пространство возможных вариантов развития, исследовать логику и последствия каждой из потенциальных траекторий и, тем самым, повысить адаптивность и обоснованность принимаемых управленческих решений.Данный метод позволяет системно учесть влияние множества факторов (от глобальных технологических сдвигов и изменения регуляторной среды до корпоративных стратегий и региональной политики), формируя комплексное видение проблемы.

Информационно-эмпирической базой исследования служит широкий круг источников. В первую очередь, это официальные данные Федеральной службы государственной статистики и ее территориального органа по Красноярскому краю (Красноярскстата) о структуре ВРП, численности и составе рабочей силы, уровне занятости и безработицы по видам экономической деятельности. Важнейшим компонентом анализа являются стратегические документы федерального уровня, в частности, «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» , определяющая национальные цели и приоритеты. Кроме того, детально изучены публичные нефинансовые отчеты, отчеты об устойчивом развитии и *ESG*-стратегии ключевых промышленных компаний региона, включая ПАО «ГМК «Норильский никель» и ОК РУСАЛ , которые содержат информацию о планируемых инвестициях в модернизацию и экологические проекты. Данные агентств труда и занятости населения Красноярского края позволили уточнить структуру спроса и предложения на рынке труда.

В основу моделирования положены три качественно различных сценария, отличающихся темпами и глубиной внедрения *ESG*-стандартов и реализации политики декарбонизации. Ключевыми переменными, определяющими динамику рынка труда в каждом сценарии, являются: скорость сокращения занятости в углеродоемких отраслях (цветная металлургия, добыча угля, тепловая энергетика) за счет автоматизации, повышения операционной эффективности и прямого сокращения производств; и интенсивность создания новых рабочих мест в «зеленых» секторах

(возобновляемая энергетика, рециклинг и управление отходами, экологический инжиниринг, энергоэффективность). Сценарии также предполагают различную степень государственной поддержки программ переобучения и социальной адаптации высвобождаемых работников.

Первый сценарий («Инерционный») предполагает замедленную и преимущественно реактивную адаптацию экономики края к новым вызовам. Внедрение *ESG*-принципов и декарбонизация происходят фрагментарно, в основном за счет плановой модернизации оборудования без радикального пересмотра технологических процессов. Государственная политика в сфере занятости носит пассивный характер, а программы переквалификации реализуются в ограниченных масштабах и не успевают за изменениями в структуре спроса на труд. Этот сценарий фактически является экстраполяцией текущих тенденций с минимальным уровнем стратегического вмешательства.

Второй сценарий («Целевой») моделирует траекторию успешной и скоординированной трансформации в соответствии с заявленными целями национальной низкоуглеродной стратегии и корпоративных *ESG*-программ.Этот путь характеризуется значительными государственными и частными инвестициями как в технологическое перевооружение промышленности, так и в развитие человеческого капитала. Реализуются масштабные, опережающие программы профессиональной переподготовки, создаются новые образовательные стандарты, активно стимулируется развитие «зеленых» секторов экономики. Данный сценарий представляет собой модель управляемого и социально ответственного перехода.

Третий сценарий («Стрессовый») описывает развитие событий при резком ужесточении внешних условий. Триггером может послужить введение жестких трансграничных углеродных барьеров на ключевых рынках сбыта продукции края или форсированный технологический прорыв, обесценивающий существующие производственные активы. В таких условиях происходит каскадное, неуправляемое закрытие нерентабельных предприятий в углеродоемких секторах, что провоцирует взрывной рост структурной безработицы. Региональные системы социальной поддержки и службы занятости оказываются не готовы к такому масштабу высвобождения работников, что приводит к острому социально-экономическому кризису.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ текущей структуры занятости в Красноярском крае выявляет высокую концентрацию трудовых ресурсов в секторах, наиболее подверженных рискам декарбонизации. Промышленное ядро региона, сформированное предприятиями цветной металлургии, угольной добычи и тепловой энергетики, обеспечивает не только значительную часть ВРП, но и является основным источником занятости для сотен тысяч человек, особенно в моногородах, где градообразующие предприятия определяют всю социально-экономическую жизнь. Эти рабочие места, как правило, характеризуются уровнем заработной платы выше среднего по региону, что усугубляет потенциальные негативные последствия их сокращения для уровня жизни населения и потребительского спроса.

Для количественной оценки масштаба проблемы проведена декомпозиция занятости по ключевым углеродоемким и смежным с ними отраслям. Выбор данных видов экономической деятельности обусловлен их прямым и косвенным вкладом в выбросы парниковых газов, а также их центральной ролью в экономике края. Оценка численности работников и их доли в общей занятости позволяет определить исходную точку для сценарного моделирования и очертить контур группы работников, находящейся в зоне непосредственного риска трансформационных процессов (см. табл. 1). Включение в анализ показателя среднемесячной заработной платы необходимо для понимания не только социального, но и экономического веса этих секторов в региональной системе.

Таблица 1

Структура занятости в углеродоемких и смежных секторах экономики Красноярского края в 2024 г.

Вид экономической деятельности	Среднесписочная численность работников, тыс. чел.	Доля в общей занятости региона, %	Среднемесячная заработная плата, руб.
Добыча угля	38,45	2,7	115 350,7
Производство алюминия	55,12	3,87	124 880,5
Производство никеля и меди	62,38	4,38	135 640,2
Производство электроэнергии на ТЭС	24,71	1,74	108 950
Строительство промышленных объектов	85,29	5,99	98 760,9
Итого по выделенным секторам	**265,95**	18,68	116 716,46

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что в пяти ключевых углеродоемких и тесно связанных с ними секторах экономики Красноярского края сосредоточено 265,95 тыс. работников, что составляет 18,68% от общей численности занятых в регионе. Наибольшая концентрация наблюдается в строительстве промышленных объектов, а также в металлургическом комплексе (производство никеля, меди и алюминия), где суммарно трудятся более 117 тыс. чел. Эти цифры обозначают прямой масштаб вызова: почти каждый пятый работник в крае потенциально может быть затронут процессами декарбонизации.

Особую значимость этим данным придает анализ уровня оплаты труда. Среднемесячная заработная плата во всех выделенных секторах существенно превышает средний показатель по региону, который в 2024 г. составляет 93 649 руб. В металлургии и угольной промышленности заработки выше среднего на 30–45 %. Это означает, что сокращение занятости в данных отраслях приведет не просто к потере рабочих мест, а к потере высокооплачиваемых рабочих мест, что окажет мультипликативный негативный эффект на региональную экономику через сжатие потребительского спроса и сокращение налоговых поступлений в бюджет. Таким образом, проблема носит не только социальный, но и макроэкономический характер.

Результаты сценарного прогнозирования высвобождения работников демонстрируют драматическую разницу в последствиях в зависимости от выбранной траектории развития (см. табл. 2). Инерционный сценарий, предполагающий медленную модернизацию, приведет к кумулятивному сокращению 40,46 тыс. рабочих мест к 2035 г. Этот процесс будет относительно плавным, но постоянным, создавая хроническое давление на рынок труда. В то же время, Целевой сценарий, связанный с активной реализацией *ESG*-стратегий и технологическим перевооружением, парадоксальным образом ведет к более интенсивному высвобождению персонала в среднесрочной перспективе – 89,35 тыс. чел. Это объясняется тем, что глубокая модернизация и автоматизация неизбежно ведут к оптимизации численности.

Наиболее тяжелые последствия несет в себе Стрессовый сценарий, при котором регион может потерять до 138,8 тыс. рабочих мест, причем основная волна сокращений (83,27 тыс.) придется на первый период до 2030 года. Это будет равносильно экономическому шоку, который приведет к коллапсу рынков труда в промышленных центрах края. Сравнение сценариев показывает, что управляемая трансформация (Целевой сценарий) хоть и сопряжена со значительными сокращениями, но позволяет растянуть этот процесс во времени и сделать его более предсказуемым по сравнению со Стрессовым вариантом, что дает возможность для реализации компенсирующих мер.

Таблица 2

Прогноз высвобождения работников по сценариям трансформации, 2025–2035 гг., тыс. чел.

Вид экономической деятельности	Инерционный сценарий	Целевой сценарий	Стрессовый сценарий
	2025–2030	2031–2035	Итого
Добыча угля	3,52	3,21	6,73
Производство алюминия	5,04	4,58	9,62
Производство никеля и меди	5,71	5,18	10,89
Производство электроэнергии на ТЭС	2,26	2,05	4,31
Строительство промышленных объектов	4,67	4,24	8,91
Итого	**21,20**	**19,26**	**40,46**

Таблица 3

Потенциал создания новых («зеленых») рабочих мест в экономике Красноярского края по сценариям 2025–2035 гг., тыс. чел.

Новые сектора и виды деятельности	Инерционный сценарий 2025–2030 гг.	Целевой сценарий 2031–2035 гг.	Стрессовый сценарий (Итого)
Возобновляемая энергетика	1,15	1,85	3
Переработка промышленных отходов	2,3	3,1	5,4
Энергоэффективность и модернизация ЖКХ	1,8	2,25	4,05
Экологический мониторинг и консалтинг	0,95	1,35	2,3
Развитие рециклинга	1,55	2,45	4
Итого	**7,75**	**11,00**	**18,75**

Таблица 4

Оценочный дефицит/профицит рабочей силы и требуемые инвестиции в переквалификацию за 2025–2035 гг.

Показатели	Инерционный сценарий	Целевой сценарий	Стрессовый сценарий
Высвобождено работников, тыс. чел.	40,46	89,35	138,8
Создано новых рабочих мест, тыс. чел.	18,75	71,55	11,7
Чистый баланс рабочих мест, тыс. чел.	**–21,71**	**–17,8**	**–127,1**
Потребность в переквалификации, тыс. чел.	32,37	71,48	111,04
Средняя стоимость переквалификации на 1 чел., тыс. руб.	25,5	35,8	22,3
Общий объем инвестиций в переквалификацию, млрд руб.	**0,83**	2,56	2,48

Компенсирующим фактором в процессе трансформации выступает создание новых, «зеленых» рабочих мест. Однако, как показывает моделирование, потенциал этого роста также критически зависит от выбранного сценария. При Инерционном подходе, характеризующемся низкими инвестициями в новые отрасли, к 2035 г. будет создано лишь 18,75 тыс. новых рабочих мест. Этого объема очевидно недостаточно, чтобы абсорбировать высвобождаемую рабочую силу. Стрессовый сценарий, сопровождающийся инвестиционным коллапсом, демонстрирует наихудший результат – всего 11,70 тыс. новых мест.

Только Целевой сценарий, предполагающий целенаправленные и масштабные инвестиции в «зеленую» экономику, способен сгенерировать значительное количество новых вакансий – 71,55 тыс. к 2035 г. Наибольший потенциал роста демонстрируют такие направления, как переработка промышленных отходов, энергоэффективность и развитие рециклинга, что напрямую коррелирует с *ESG*-стратегиями промышленных гигантов региона. Важно понимать, что эти новые рабочие места будут требовать принципиально иных компетенций, связанных с цифровыми технологиями, экологическим инжинирингом и управлением сложными системами, что обостряет проблему структурного несоответствия на рынке труда.

Итоговый анализ, синтезирующий данные о высвобождении и создании рабочих мест, позволяет оценить чистый эффект трансформации и рассчитать финансовую потребность в адаптации человеческого капитала. Чистый баланс рабочих мест оказывается отрицательным во всех трех сценариях, что подчеркивает остроту проблемы. Однако его величина кардинально различается. Наименее болезненным, с точки зрения итоговой занятости, оказывается Целевой сценарий с чистым сокращением на 17,80 тыс. мест. Инерционный сценарий приводит к потере 21,71 тыс. мест, а Стрессовый – к катастрофической потере 127,10 тыс. рабочих мест. Это доказывает, что проактивная инвестиционная политика не только создает новые возможности, но и позволяет минимизировать общие потери занятости.

Ключевым выводом является оценка масштаба требуемых инвестиций в переквалификацию. Целевой сценарий требует наибольших вложений – 2,56 млрд руб., что обусловлено как бóльшим числом людей, нуждающихся в переобучении, так и более высокой стоимостью подготовки специалистов для высокотехнологичных «зеленых» отраслей. В Стрессовом сценарии объем инвестиций также высок (2,48 млрд руб.), но эти затраты будут носить экстренный, антикризисный характер и направлены на базовые программы, а не на формирование компетенций будущего. Инерционный сценарий требует минимальных вложений (0,83 млрд руб.), но ценой этого становится консервация структурной безработицы и технологическое отставание региона. Таким образом, инвестиции в переквалификацию в рамках Целевого сценария следует рассматривать не как издержки, а как стратегические вложения в будущую конкурентоспособность региональной экономики и социальную стабильность. Главной проблемой становится не простое количественное сокращение рабочих мест, а глубокая структурная безработица , вызванная разрывом между освобождающимися навыками работников «старой» промышленности и требуемыми компетенциями «новой» зеленой экономики.

Выводы. 1. Проведенное сценарное моделирование трансформации рынка труда Красноярского края до 2035 г. позволяет получить ряд принципиально важных количественных и качественных оценок. Ключевой вывод заключается в том, что регион столкнется со значительным сокращением чистого баланса рабочих мест при любой траектории развития. В наиболее благоприятном, Целевом сценарии, предполагающем активные инвестиции и управляемый переход, чистые потери составят 17,8 тыс. рабочих мест. В случае инерционного развития эта цифра возрастет до 21,7 тыс., а при стрессовом сценарии регион может потерять до 127,1 тыс. рабочих мест. Масштаб проблемы усугубляется необходимо-

стью переквалификации десятков тысяч работников: от 32,4 тыс. человек в Инерционном сценарии до 71,5 тыс. в Целевом. Это потребует прямых инвестиций в человеческий капитал в объеме от 0,83 до 2,56 млрд руб.

2. Стратегические выводы исследования однозначно указывают на несостоятельность и крайнюю рискованность пассивной, инерционной политики. Несмотря на то, что Целевой сценарий сопряжен с более высоким уровнем высвобождения работников в среднесрочной перспективе и требует максимальных инвестиций в их переобучение, именно он является наиболее предпочтительной траекторией. Этот путь позволяет минимизировать итоговые чистые потери занятости, создать максимальное количество новых, высокопроизводительных рабочих мест в перспективных «зеленых» секторах и сделать процесс трансформации предсказуемым и управляемым. Затраты на масштабную переквалификацию в рамках этого сценария являются не издержками, а стратегической инвестицией, предотвращающей гораздо большие экономические и социальные потери, неизбежные при реализации Стрессового или Инерционного сценариев.

3. На основе полученных результатов можно сформулировать комплекс практических рекомендаций. Региональным органам власти совместно с представителями крупного бизнеса целесообразно инициировать создание «Регионального фонда справедливой трансформации», аккумулирующего средства для финансирования программ переобучения и социальной поддержки. Необходимо разработать и запустить опережающие программы профессиональной переподготовки на базе ведущих вузов и ссузов края, ориентированные на прогнозируемые потребности «зеленой» экономики. Особое внимание следует уделить разработке и реализации целевых программ поддержки для моногородов, предусматривающих диверсификацию их экономики и создание альтернативных центров занятости.

4. Представленное исследование, несмотря на присущие любому прогнозу допущения, имеет высокую практическую ценность. Его результаты могут быть использованы в качестве аналитической основы при разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития Красноярского края, а также в корпоративном стратегическом планировании промышленных предприятий. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более детальное моделирование трансформационных процессов на уровне отдельных муниципалитетов и отраслей, а также на оценку косвенных эффектов для смежных секторов экономики. В конечном счете успешное прохождение периода структурной перестройки возможно лишь при условии проактивной, научно обоснованной и социально ответственной политики, направленной на то, чтобы экологическая трансформация стала источником нового качества экономического роста и повышения благосостояния населения региона.

Список литературы

1. *Калинин И. Б.* Аналитический обзор изменений в трудовом законодательстве // Вопросы трудового права. 2020. № 3. С. 4–8.

2. *Евграфова О. В.* Современный российский рынок труда: тренды, динамика, роль государства // Академический вестник Ростовского филиала Российской таможенной академии. 2025. № 1 (58). С. 29–34.

3. *Морозова Н. Н.* Флексибилизация рынка труда с учетом развития современных навыков работника и нестандартных форм занятости // Научные труды Республиканского института высшей школы. Философско-гуманитарные науки. 2022. № 21–2. С. 102–111.

4. *Курочкин А. В.* Принципиальная модель оптимизационного поведения работодателей на рынке труда в условиях роста // Гипотеза. 2020. № 4 (13). С. 12–18.

5. *Галаганова С. Г., Мартынова А. В.* Аналитики на российском рынке труда: тенденции и прогнозы // Этносоциум и межнациональная культура. 2024. № 5 (191). С. 23–33.

6. *Доброхотова Е. Н.* Поиск универсальных моделей регулирования труда в условиях трансформации рынка труда в рынок занятости // Зеленый коридор. Наука и образование в таможенном деле. 2023. № 4 (26). С. 124–128.

7. *Карапетян Р. В., Тарандо Е. Е.* От рынка труда к рынку занятости: новая реальность // Социологические исследования. 2023. № 7. С. 148–150.

8. *Карапетян Р. В., Тарандо Е. Е.* Трансформация труда в (де)глобализирующемся обществе // Социологические исследования. 2021. № 7. С. 152–155.

9. *Акаев А. А., Петряков А. А., Сарыгулов А. И.* Прогнозирование рынка труда на этапе перехода к цифровой экономике // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 4 (130). С. 14–20.

10. *Beisembina A. N., Dugalova G. N., Jussibaliyeva A. K.* et al. Methodological approaches to the functioning of the labour market in the context of ensuring employment of the population // Вестник Торайгыров университета. Экономическая серия. 2024. № 3. С. 50–62.

11. *Омельченко И. Б., Сергеева М. В., Сафонов А. С.* Тенденции и проблемы развития российского рынка труда на современном этапе // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 9. № 1 (154). С. 22–30.

12. *Гайнанов Д. А., Минязев А. И.* Концептуальная модель прогнозирования потребности рынка труда в квалифицированных специалистах на основе агент-ориентированного подхода // Известия Уфимского научного центра РАН. 2022. № 4. С. 101–106.

13. *Пронина Е. И.* Образование и рынок труда // Социологические исследования. 2023. № 7. С. 158–161.

14. *Марков Е. А., Яковлева Е. Р., Меньшикова В. К., Зайков А. В*. Трансформация рынка труда России – рынок продавца рабочей силы // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2025. № 2. С. 54–57.

15. *Зиятдинова Н. Р*. Трансформация рынка труда в условиях экспансии цифровых технологий // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2020. № 2 (68). С. 92–96.

References

1. Kalinin I. B. An analytical review of changes in labor legislation. *Issues of Labor Law*, 2020, no. 3, pp. 4–8.

2. Evgrafova O.V. The contemporary Russian labor market: trends, dynamics, the role of the state. *Academic Bulletin of the Rostov Branch of the Russian Customs Academy*, 2025, no. 1 (58), pp. 29–34.

3. Morozova N. N. Flexibilization of the labor market taking into account the development of modern worker skills and non-standard forms of employment. *Scientific Works of the Republican Institute of Higher Education. Philosophical and Humanitarian Sciences*, 2022, no. 21–2, pp. 102–111.

4. Kurochkin A. V. A fundamental model of employers' optimization behavior in the labor market under conditions of growth. *Hypothesis*, 2020, no. 4 (13), pp. 12–18.

5. Galaganova S. G., Martynova A. V. Analysts in the Russian labor market: trends and forecasts. *Ethnosocium and Interethnic Culture*, 2024, no. 5 (191), pp. 23–33.

6. Dobrokhotova E. N. Searching for universal models of labor regulation under the transformation of the labor market into an employment market. *Green Corridor. Science and Education in Customs Affairs*, 2023, no. 4 (26), pp. 124–128.

7. Karapetyan R. V., Tarando E. E. From the labor market to the employment market: a new reality. *Sociological Studies*, 2023, no. 7, pp. 148–150.

8. Karapetyan R. V., Tarando E. E. The transformation of labor in a (de)globalizing society. *Sociological Studies*, 2021, no. 7, pp. 152–155.

9. Akaev A. A., Petryakov A. A., Sarygulov A. I. Forecasting the labor market at the stage of transition to a digital economy. *Proceedings of Saint Petersburg State University of Economics*, 2021, no. 4 (130), pp. 14–20.

10. Beisembina A. N., Dugalova G. N., Jussibaliyeva A. K. et al. Methodological approaches to the functioning of the labour market in the context of ensuring employment of the population. *Bulletin of Toraighyrov University. Economic Series*, 2024, no. 3, pp. 50–62.

11. Omelchenko I. B., Sergeeva M. V., Safonov A. S. Trends and problems in the development of the Russian labor market at the present stage. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2025, vol. 9, no. 1 (154). pp. 22–30.

12. Gainanov D. A., Minyazev A. I. A conceptual model for forecasting the labor market's demand for qualified specialists based on an agent-based approach. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Center*, 2022, no. 4. pp. 101–106.

13. Pronina E. I. Education and the labor market. *Sociological Studies*, 2023, no. 7, pp. 158–161.

14. Markov E. A., Yakovleva E. R., Menshikova V. K., Zaykov A. V. Transformation of Russia's labor market – a seller's market for labor. *Competitiveness in the Global World: Economics, Science, Technology*, 2025, no. 2. pp. 54–57.

15. Ziyatdinova N. R. Transformation of the labor market in the context of the expansion of digital technologies. *Scholarly Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University*, 2020, no. 2 (68). pp. 92–96.

УДК

С. С. МУЧКАЕВА, А. Б. МАНТУСОВ, кандидаты пед. наук; Е. В. СУМЬЯНОВА, Э. В. ПЕТРОВИЧ, Т. Б. ГОЛЬДВАРГ, кандидаты физ.-мат. наук (КалмГУ, г. Элиста)
E-mail: muchkayeva2022@bk.ru
S. S. Muchkaeva, A. B. Mantusov, E. V. Sumyanova, E. V. Petrovich, T. B. Goldvarg (Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov, Elista)

Интеграция фундаментальной математической подготовки и практикоориентированных модулей в допобразовании для формирования сквозных инженерных компетенций в высокотехнологичных отраслях

Integration of fundamental mathematical training and practice-oriented modules in continuing education to develop cross-cutting engineering competencies in high-technology industries

Исследование направлено на эмпирическую проверку эффективности интеграции фундаментальной математической подготовки с практикоориентированными проектными модулями в программах дополнительного профессионального образования для инженеров высокотехнологичных отраслей, исходя из дефицита сквозных компетенций и необхо-

димости ускорения технологического суверенитета. Целью является сопоставление традиционной последовательной модели и интегрированной модели на основе PBL/STEM с точки зрения формирования системного мышления, инновационного проектирования и междисциплинарной коммуникации, а также влияния на бизнес-показатели компаний. Методология включает компетентностный подход и адаптацию модели Киркпатрика (уровни 1–4), анализ более 45 источников, экспертную оценку итоговых проектов двух групп выпускников (по 150 человек), корреляционный анализ 12 программ с варьирующейся долей проектной работы и оценку KPI в 10 компаниях до и после обучения, с применением дескриптивной статистики и эконометрического моделирования. Полученные результаты демонстрируют статистически значимое превосходство интегрированной модели: средние баллы по системному мышлению 8,47 против 5,83, по инновационному проектированию 7,91 против 4,92, по коммуникации 8,82 против 6,15 при меньшей вариативности оценок; зафиксирована сильная положительная связь между долей проектной работы и уровнем владения математическим аппаратом (рост итоговых баллов при увеличении доли практики до 65,7 %). На уровне бизнеса отмечены улучшения: сокращение Time-to-Market на 18,56 %, рост числа рационализаторских предложений на 75,22 % и повышение удовлетворенности внутренних заказчиков на 23,07 %, что указывает на мультипликативный эффект развития сквозных компетенций. Выводы подтверждают, что интеграция теории и практики не снижает, а углубляет фундаментальную подготовку, конвертируясь в операционную эффективность; рекомендованы пересборка учебных планов под проектные задачи, обновление корпоративных ТЗ на обучение и механизмы государственной поддержки масштабирования, при ограничениях в стандартизации оценивания и потребности в лонгитюдных исследованиях и цифровых симуляторах.

The study aims to empirically test the effectiveness of integrating fundamental mathematical training with practice-oriented project modules in continuing professional education programs for engineers in high-technology sectors, given the deficit of cross-cutting competencies and the need to accelerate technological sovereignty. The objective is to compare a traditional sequential model with an integrated PBL/STEM-based model in terms of developing systems thinking, innovative design, and interdisciplinary communication, as well as the impact on companies' business metrics. The methodology adopts a competency-based approach and an adaptation of the Kirkpatrick model (Levels 1–4), analysis of more than 45 sources, expert evaluation of capstone projects from two cohorts of graduates (150 each), correlation analysis across 12 programs with varying shares of project work, and assessment of KPIs in 10 companies before and after training, using descriptive statistics and econometric modeling. The results demonstrate statistically significant outperformance of the integrated model: mean scores for systems thinking 8,47 vs 5,83, for innovative design 7,91 vs 4,92, and for communication 8,82 vs 6,15, with lower variance in scores; a strong positive association was recorded between the share of project work and mathematical proficiency (final scores increase as the share of practice rises to 65,7 %). At the business level, improvements were observed: Time-to-Market reduced by 18,56 %, the number of improvement proposals increased by 75,22 %, and internal customer satisfaction rose by 23,07 %, indicating a multiplicative effect from developing cross-cutting competencies. The findings confirm that the integration of theory and practice does not diminish but deepens fundamental preparation, converting into operational efficiency; recommended actions include redesigning curricula around project tasks, updating corporate terms of reference for training, and establishing mechanisms of state support for scaling, amid limitations in the standardization of assessment and the need for longitudinal studies and digital simulators.

Ключевые слова: инженерное образование; проектное обучение; сквозные компетенции; дополнительное профессиональное образование; интеграция математики.

Keywords: engineering education; project-based learning; cross-cutting competencies; continuing professional education; integration of mathematics.

В условиях глобальной экономической турбулентности и переформатирования технологических рынков, достижение национального технологического суверенитета становится ключевым фактором долгосрочной конкурентоспособности и экономической безопасности государства [1]. Высокотехнологичные отрасли, выступая локомотивами инновационного развития, формируют основной спрос на капитал нового типа – человеческий капитал, обладающий не просто набором узкоспециализированных знаний, а комплексными, сквозными инженерными компетенциями [2]. Однако именно этот ресурс сегодня

является наиболее дефицитным. Анализ текущей ситуации на рынке труда выявляет системный и нарастающий кадровый голод [3]. По консервативным оценкам, общий дефицит инженерных специалистов в РФ уже достигает 280–300 тыс. ч, что составляет почти 9 % от общей численности инженерного корпуса [4]. Этот дефицит имеет ярко выраженную отраслевую специфику: наибольшую потребность в кадрах испытывают промышленность и производство (87 %), сектор информационных технологий и телекоммуникаций (83 %), а также строительство и проектирование (85 %) [5].

Проблема усугубляется значительным разрывом между динамикой спроса и возможностями системы образования [6]. В 2022 г. спрос на инженеров демонстрирует взрывной рост, увеличиваясь на 43,5 % по сравнению с предыдущим годом, в то время как темпы выпуска молодых специалистов остаются недостаточными для покрытия даже текущей потребности [7]. При этом наблюдается и качественный дисбаланс: наиболее низкие показатели трудоустройства выпускников фиксируются по таким критически важным направлениям, как химические технологии (57 %), приборостроение и оптотехника (68 %), а также электро- и теплоэнергетика (69 %), что свидетельствует о несоответствии образовательных программ реальным запросам индустрии [8, 9]. В этих условиях ключевая роль в оперативной адаптации и переподготовке кадров отводится системе дополнительного профессионального образования (ДПО) [10]. Этот сектор демонстрирует впечатляющие темпы количественного роста: за период с 2020 по 2024 гг. число учащихся на программах ДПО увеличивается на 28 %, достигая 8,5 млн ч, а количество образовательных провайдеров возрастает на 24,5 % [11, 12]. Объем рынка в денежном выражении также значителен, оцениваясь в 82–93,8 млрд руб. еще до начала пандемии [13].

Несмотря на позитивную количественную динамику, рынок ДПО не решает фундаментальной проблемы формирования инженеров нового поколения [14]. Существующий разрыв между спросом и предложением на рынке труда инженеров свидетельствует о том, что простое наращивание объемов образовательных услуг не приводит к качественному скачку [15]. Традиционная модель ДПО, основанная на последовательном изучении дисциплин (сначала фундаментальный блок (например, высшая математика), а затем прикладные модули), оказывается неэффективной в контексте современных производственных вызовов [2]. Такой подход формирует фрагментарное знание и не способствует развитию ключевой для современного инженера компетенции – способности к системному мышлению и междисциплинарному синтезу для решения комплексных, неструктурированных задач [3]. Происходит цифровая трансформация не только производства, но и самого процесса обучения, требующая новых подходов [4].

Настоящее исследование исходит из гипотезы о том, что преодоление этого качественного разрыва возможно только через кардинальное перепроектирование образовательных программ ДПО на основе принципов интеграции [6]. Предлагаемая модель предполагает отказ от последовательного изложения в пользу синтетического подхода, где фундаментальная математическая подготовка не предшествует практике, а органично вплетается в процесс решения реальных инженерных задач в рамках проектно-ориентированных модулей [5]. Такой подход, основанный на методологии *STEM* и проектного обучения [15], призван обеспечить синергетический эффект, при котором практическая задача становится мощным мотиватором для глубокого освоения теоретического аппарата, а математические модели обретают реальный физический смысл [7].

Цель данной работы – эмпирическая верификация эффективности предложенной интегративной модели и оценка ее влияния на формирование сквозных инженерных компетенций, а также на конечные экономические показатели деятельности высокотехнологичных предприятий [11], что в конечном счете является инвестицией в экономический рост [1]. Анализ текущего состояния промышленности показывает, что доля занятых в высокотехнологичных производствах и их вклад в валовую добавленную стоимость все еще недостаточны для обеспечения технологического прорыва [10], что подчеркивает актуальность поиска новых образовательных решений [12].

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование носит междисциплинарный характер и опирается на комплексный анализ широкого спектра источников, сгруппированных в три основных кластера. Первый кластер включает официальные статистические данные, аналитические отчеты и обзоры рынка, подготовленные государственными ведомствами (Росстат, Министерство науки и высшего образования РФ) и ведущими консалтинговыми агентствами (*BusinesStat*). Эти материалы составляют эмпирическую базу для оценки макроэкономического контекста, количественного анализа кадрового дефицита в высокотехнологичных отраслях и динамики рынка дополнительного профессионального образования. Второй кластер представлен научными публикациями из рецензи-

руемых отечественных и зарубежных журналов, индексируемых в международных наукометрических базах данных. Данный сегмент источников позволяет сформировать теоретико-методологическую основу исследования в области экономики образования, инженерной педагогики, теории управления знаниями и методологии оценки компетенций. Третий кластер источников включает анализ передового практического опыта (*case studies*) и образовательных моделей, успешно зарекомендовавших себя на международном уровне.

Особое внимание уделено изучению подходов таких инновационных образовательных институций, как Колледж инженерии Олина (*Olin College of Engineering*), и международных инициатив, например, *CDIO* (*Conceive – Design – Implement – Operate*), которые являются бенчмарками в области проектно-ориентированного и интегрированного инженерного образования. Суммарно в ходе исследования проанализировано и систематизировано более 45 релевантных источников.

В качестве центральной методологической рамки исследования выбран компетентностный подход, который позволяет сместить фокус с оценки объема усвоенных знаний на оценку способности специалиста эффективно действовать в сложных, нестандартных и неопределенных профессиональных ситуациях, что является ключевым требованием к современному инженеру. В рамках этого подхода особое внимание уделяется формированию и оценке так называемых сквозных, или трансверсальных, компетенций (*transversal competencies*). Эти компетенции, включающие системное мышление, навыки решения проблем, междисциплинарной коммуникации и работы в команде, не привязаны к конкретной предметной области, но являются критически важными для успешной инженерной деятельности в любой высокотехнологичной отрасли. Оценка уровня сформированности данных компетенций является сложной методологической задачей, поскольку они не могут быть измерены с помощью традиционных тестов и экзаменов.

Для проведения эмпирической оценки эффективности образовательных программ используется адаптированная многоуровневая модель, концептуально основанная на классической модели Дональда Киркпатрика. Она позволяет проводить комплексную оценку образовательного вмешательства на нескольких уровнях: от непосредственной реакции обучающихся и уровня усвоения знаний (уровни 1–2) до изменений в рабочем поведении и влияния на ключевые бизнес-показатели организации (уровни 3–4), включая расчет возврата на инвестиции (*ROI*). Для обработки и анализа количественных данных, представленных в табличной форме, применяются методы дескриптивной и индуктивной статистики, включая сравнительный анализ средних значений, расчет стандартных отклонений, а также корреляционный анализ для выявления силы и направления взаимосвязей между переменными. Эконометрическое моделирование используется для оценки степени влияния образовательных программ на операционную эффективность инженерных подразделений.

Теоретическая модель интегрированной программы ДПО, эффективность которой проверяется в ходе исследования, спроектирована на основе синтеза двух передовых педагогических концепций: проектно-ориентированного обучения (*Project-Based Learning*, *PBL*) и междисциплинарного подхода *STEM* (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*). Ключевым принципом модели является использование комплексной, реальной инженерной задачи (проекта или кейса) в качестве системообразующего элемента всего учебного процесса. В отличие от традиционной модели, где теория предшествует практике, в интегрированной модели именно проектная задача генерирует у обучающихся осознанный запрос на получение конкретных фундаментальных знаний и освоение математического аппарата, необходимого для ее решения. Это обеспечивает реализацию принципа «обучения точно в срок» (*just-in-time learning*), что многократно повышает мотивацию взрослых обучающихся и способствует более глубокому и осмысленному усвоению теоретического материала.Таким образом, математика и другие фундаментальные дисциплины перестают быть абстрактным набором знаний и превращаются в реально работающий инструмент для достижения конкретной инженерной цели.

Результаты исследования и их обсуждение

Современная парадигма инженерного образования, отраженная в ведущих мировых стандартах, таких как критерии *ABET* (*Accreditation Board for Engineering and Technology*), постулирует, что понятие «инженерная компетентность» является многомерным конструктом. Оно включает не только глубокие технические знания в своей области, но и широкий спектр так называемых сквозных, или профессиональных, навыков. К ним относятся умение решать сложные, открытые проблемы, навыки эффективной коммуникации, понимание профессиональной и этической ответственности, способность работать в мультидисциплинарных командах и осознание необходимости обучения на протяжении всей жизни. Традиционные образовательные программы, с их дисциплинарной разобщенностью, зачастую не

справляются с задачей формирования этих интегративных качеств.

Для проведения сравнительного анализа эффективности традиционной и интегрированной моделей ДПО выделены три ключевые сквозные компетенции, наиболее востребованные в высокотехнологичных отраслях:

1. Системное мышление и анализ сложности, т. е. способность воспринимать инженерный объект как целостную систему во взаимосвязи ее компонентов и применять междисциплинарные подходы для ее анализа и оптимизации.

2. Инновационное проектирование, понимаемое как способность генерировать принципиально новые технические решения на стыке различных технологий и областей знаний.

3. Эффективная междисциплинарная коммуникация – умение ясно и убедительно представлять сложные технические концепции как специалистам из смежных областей, так и нетехническим стейкхолдерам (менеджерам, заказчикам).

Оценка уровня развития этих компетенций проводится экспертной комиссией на основе анализа защиты итоговых комплексных проектов выпускниками двух типов программ (см. табл. 1).

Анализ данных, представленных в табл. 1, демонстрирует статистически значимое и существенное превосходство интегрированной образовательной модели над традиционной по всем трем оцениваемым компетенциям. Средний балл выпускников интегрированных программ выше на 45–60 %, при этом стандартное отклонение в их группе ниже, что указывает на более стабильный и прогнозируемый результат обучения. Особенно разительным является разрыв в компетенции «Инновационное проектирование» (4,92 против 7,91). Это объясняется тем, что традиционные программы, как правило, предлагают обучающимся решение типовых, закрытых задач с заранее известным ответом, в то время как интегрированная модель, построенная на принципах проектного обучения (*PBL*), погружает инженеров в работу над реальными, открытыми проблемами, не имеющими единственно верного решения. Такой подход стимулирует креативность и готовность к эксперименту. Высокие показатели по системному мышлению в интегрированной модели являются прямым следствием самой структуры обучения: работая над сквозным проектом, обучающиеся вынуждены постоянно удерживать в фокусе всю систему целиком – от формулирования потребности пользователя до создания математической модели, разработки прототипа и оценки его экономических параметров. Этот холистический подход, являющийся краеугольным камнем философии ведущих инженерных школ, таких как *Olin College*, формирует целостное видение инженерной деятельности. Наконец, значительный рост коммуникативных навыков обусловлен самой средой проектной работы, которая требует постоянного взаимодействия внутри команды, с менторами и внешними экспертами для согласования позиций и совместного поиска решений.

В академической и управленческой среде широко распространен тезис о том, что усиление практической, проектной составляющей в учебном плане неизбежно ведет к снижению уровня фундаментальной теоретической подготовки. Считается, что время, затраченное на «работу руками», отнимается у времени на изучение сложного математического аппарата. Гипотеза, лежащая в основе данного исследования, прямо противоположна: осмысленная и сложная практическая задача выступает не антагонистом, а мощнейшим катализатором для глубокого и мотивированного изучения теории. Для эмпирической проверки этого предположения проводится корреляционный анализ данных по 12 различным программам ДПО для инженеров, варьирующимся по доле часов, отведенных на интегрированную проектную работу. В качестве зависимой переменной выступает средний балл, полученный выпускниками на стандартизированном итоговом экзамене, который проверял их владение прикладным математическим аппаратом, необходимым для решения современных инженерных задач (включая численное решение дифференциальных уравнений, методы статистического моделирования и анализа данных, а также решение оптимизационных задач) (см. табл. 2).

Таблица 1

Сравнительный анализ уровня развития сквозных компетенций у выпускников ДПО по традиционной и интегрированной моделям обучения (оценка экспертной комиссией по 10-балльной шкале на основе защиты итогового проекта)

Компетенция	Средний балл (традиционная модель, $n = 150$)	Стандартное отклонение (традиционная модель)	Средний балл (интегрированная модель, $n = 150$)	Стандартное отклонение (интегрированная модель)
Системное мышление и анализ сложности	5,83	1,21	8,47	0,89
Инновационное проектирование	4,92	1,45	7,91	1,03
Междисциплинарная коммуникация	6,15	1,11	8,82	0,95

Таблица 2

Корреляционный анализ между долей практических модулей в учебном плане и уровнем владения математическим аппаратом для решения инженерных задач

Номер программы	Доля проектной работы в программе, %	Средний балл по итоговому экзамену по математике (100-балльная шкала)
1	10,5	68,4
2	15,2	71,1
3	20,8	74,9
4	25,1	72,5
5	30,9	81,3
6	35,4	84,7
7	40,2	83,9
8	45,6	89,2
9	50,3	91,5
10	55,8	90,8
11	60,1	93,4
12	65,7	94,6

Результаты, представленные в табл. 2, наглядно демонстрируют наличие сильной положительной связи между долей проектной работы в учебной программе и уровнем математической подготовки выпускников. Расчет коэффициента корреляции Пирсона для данной выборки дает значение , что свидетельствует о практически линейной зависимости. Этот результат полностью опровергает расхожий стереотип о конфликте между «практикой» и «теорией». Экономико-педагогическое объяснение этого феномена заключается в изменении самой природы мотивации к обучению. В традиционной модели математика часто воспринимается как абстрактный, оторванный от жизни предмет, который необходимо «сдать и забыть». В интегрированной, проектно-ориентированной модели математические инструменты и концепции становятся не самоцелью, а абсолютно необходимым средством для решения конкретной, личностно значимой и профессионально интересной инженерной задачи. Когда инженер понимает, что без корректного расчета прочности конструкции, моделирования тепловых процессов или статистического анализа экспериментальных данных его проект просто не будет работать, освоение соответствующего математического аппарата становится осознанным, целенаправленным и, как следствие, гораздо более глубоким и прочным. Проектная деятельность создает контекст, который наполняет абстрактные формулы физическим смыслом и показывает их реальную ценность.

Несмотря на убедительность педагогических и методологических аргументов, для лиц, принимающих решения в корпоративном секторе, финальным критерием оценки любой образовательной инициативы является ее экономическая эффективность и возврат на инвестиции (*ROI*). Прямая количественная оценка влияния обучения на бизнес-показатели является нетривиальной задачей, сопряженной с необходимостью выделения эффекта от обучения на фоне множества других факторов. Тем не менее, такая оценка критически важна для обоснования инвестиций в развитие человеческого капитала. Для анализа экономического эффекта от внедрения интегрированных программ ДПО выбраны три ключевых показателя операционной эффективности (*KPI*) инженерных подразделений в десяти высокотехнологичных компаниях, направивших своих сотрудников на обучение. Сбор данных производится за шестимесячный период до начала обучения и в течение двенадцати месяцев после его завершения, что позволяет оценить как непосредственный, так и отложенный эффект. В качестве *KPI* выбраны (см. табл. 3):

- среднее время вывода нового продукта на рынок (*Time-to-Market*), отражающее скорость и слаженность работы;
- количество поданных рационализаторских предложений в расчете на 100 сотрудников, характеризующее инновационную активность
- индекс удовлетворенности внутренних заказчиков (других подразделений компании) работой инженерной службы, измеряемый по 100-балльной шкале.

Таблица 3

Оценка экономического эффекта от обучения сотрудников на интегрированных программах ДПО (сравнение показателей до и после обучения)

Показатель	Среднее значение (6 мес. до обучения)	Среднее значение (12 мес. после обучения)	Динамика, %
Среднее время вывода продукта на рынок (*Time-to-Market*), дней	284,5	231,7	–18,56
Количество рацпредложений на 100 сотрудников в год	11,3	19,8	+75,22
Индекс удовлетворенности внутренних заказчиков (по 100-балльной шкале)	72,4	89,1	+23,07

Представленные данные однозначно свидетельствуют о значительном положительном влиянии прохождения сотрудниками интегрированных образовательных программ на ключевые бизнес-показатели их компаний. Сокращение среднего времени вывода продукта на рынок почти на 19 % является прямым экономическим выражением развитых сквозных компетенций. Улучшенное системное видение проекта позволяет инженерам предвидеть и устранять потенциальные проблемы на ранних стадиях, а развитые навыки междисциплинарной коммуникации кардинально ускоряют процессы согласования между различными отделами (конструкторами, технологами, маркетологами), сокращая количество итераций и дорогостоящих переделок. Взрывной рост инновационной активности, выраженный в увеличении числа рацпредложений на 75 %, напрямую коррелирует с развитием компетенции инновационного проектирования и креативного мышления. Обучение в проектной среде снимает психологические барьеры, поощряет поиск нестандартных решений и формирует культуру постоянных улучшений. Наконец, существенное повышение индекса удовлетворенности внутренних заказчиков на 23 % отражает не только рост технического качества инженерных решений, но и улучшение коммуникативных навыков инженеров, их способности глубже понимать бизнес-потребности и требования смежных подразделений, выступая не просто исполнителями, а полноценными партнерами в создании ценности для компании.

Комплексный анализ результатов, полученных из трех независимых оценочных срезов, позволяет выстроить целостную и логически завершенную доказательную цепь. Табл. 1 демонстрирует чисто педагогическую эффективность предложенной интегративной модели, доказывая ее способность формировать сложные сквозные компетенции, недостижимые в рамках традиционного подхода. Табл. 2 раскрывает внутренний механизм этого успеха, эмпирически подтверждая синергетический эффект от союза практики и теории, где проектная деятельность становится драйвером для углубленного изучения фундаментальных дисциплин. Табл. 3 транслирует эти педагогические и методологические достижения на язык бизнеса, показывая, как развитые компетенции и знания конвертируются в измеримое улучшение операционной и экономической эффективности компании. Таким образом, формируется полная цепочка причинно-следственных связей: «Интегрированная образовательная модель → Развитие сквозных компетенций → Углубление фундаментальных знаний → Повышение ключевых бизнес-показателей». Это позволяет заключить, что инвестиции компаний в подобные программы дополнительного профессионального образования являются не статьей затрат, а стратегическими вложениями в развитие человеческого капитала, обладающими высоким, мультипликативным и экономически измеримым эффектом возврата.

Выводы. 1. Эмпирические данные, полученные и проанализированные в ходе работы, в полной мере подтверждают первоначально выдвинутую гипотезу. Модель ДПО, построенная на принципах проектного обучения и междисциплинарного синтеза, демонстрирует качественное и количественное превосходство над традиционными подходами, основанными на последовательном изучении дисциплин. Она позволяет не только передавать знания, но и целенаправленно формировать комплексные сквозные компетенции, критически важные для успешной работы инженера в современных высокотехнологичных отраслях.

2. Анализ итоговых количественных показателей свидетельствует о высоком мультипликативном эффекте от внедрения данной образовательной модели. Выпускники интегрированных программ демонстрируют рост уровня ключевых сквозных компетенций, таких как системное мышление, инновационное проектирование и междисциплинарная коммуникация, в среднем на 40–60 % по сравнению с выпускниками традиционных курсов. Важно отметить, что этот рост не происходит в ущерб фундаментальной подготовке: напротив, он сопровождается более глубоким и осознанным освоением прикладного математического аппарата. В свою очередь, этот качественный скачок в уровне подготовки кадров напрямую транслируется в измеримые бизнес-результаты для компаний-работодателей, которые фиксируют улучшение своих операционных показателей в диапазоне от 18 % до 75 % по таким параметрам, как скорость вывода продуктов на рынок и инновационная активность персонала.

3. Полученные результаты позволяют сформулировать ряд практических рекомендаций для ключевых участников процесса развития инженерных кадров. Образовательным организациям, работающим в сегменте ДПО, следует пересмотреть свои учебные планы в сторону большей интеграции дисциплин и внедрения проектно-ориентированных подходов, используя в качестве ориентиров лучшие мировые практики, такие как методологии *PBL* и *CDIO*. Корпоративным заказчикам образовательных услуг рекомендуется изменить сам подход к формированию технических заданий на обучение: переходить от запроса «прочитать курс по теме *N*» к постановке задачи «помочь нашей команде решить проектную задачу *Y*», оценивая провайдеров по их способно-

сти выстроить учебный процесс вокруг реальных бизнес-кейсов. Для государственных органов, ответственных за промышленную и образовательную политику, целесообразной представляется разработка механизмов поддержки, стандартизации и масштабирования подобных инновационных программ, поскольку они являются эффективным инструментом для решения стратегической задачи по обеспечению технологического суверенитета страны.

4. Вместе с тем, проведенное исследование открывает ряд новых вопросов и определяет перспективные направления для дальнейшей научной работы. Актуальной задачей является разработка и внедрение цифровых платформ и симуляторов, позволяющих реализовывать сложные междисциплинарные инженерные проекты в дистанционном и гибридном форматах, что существенно расширит доступность таких программ. Требует дальнейшего развития и стандартизации инструментарий для объективной и валидированной оценки сквозных компетенций, который мог бы стать общепринятым отраслевым стандартом. Наконец, особую ценность будут представлять долгосрочные лонгитюдные исследования, которые позволят отследить карьерные траектории и профессиональные достижения выпускников интегрированных программ на горизонте 5–10 лет, чтобы получить окончательное подтверждение долгосрочного эффекта от подобных образовательных инвестиций.

Список литературы

1. *Баяндина О. В.* Возможности профессионального модуля «Основы расчета и проектирование сварных конструкций» для развития универсальных компетенций обучающихся технических направлений подготовки // Педагогика современности. 2022. № 1 (23). С. 43–46.

2. *Горшкова О. О.* Подготовка выпускника инженерного вуза в практико-ориентированный формате при взаимодействии с предприятиями реального сектора экономики // Современные проблемы науки и образования. 2025. № 1. С. 62.

3. *Власова Е. А., Попов В. С.* Подготовка инженера-исследователя технического вуза в условиях интеграции научно-образовательной деятельности в партнерстве с отраслевыми предприятиями // Мир науки. Педагогика и психология. 2024. Т. 12. № 3.

4. *Волегжанина И. С., Зайцева Т. С., Степачкова И. И.* Сквозной междисциплинарный проект как технология становления и развития профессиональной компетентности будущего инженера // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 9–2 (60). С. 22–28.

5. *Кротенко Т. Ю.* Сопряжение дисциплинарных подходов в инженерном образовании: потенциал инновационных технологий // Инновации в образовании. 2024. № 8. С. 5–15.

6. *Чижов С. В.* Профессиональная субъектность инженера в курсовом проектировании ценностно-компетентностной системы подготовки мостовиков // Научное мнение. 2023. № 10. С. 78–83.

7. *Рукавишников В. А., Лутфуллина Г. Ф., Миннуллина Э. Б., Иванов Д. А.* Компетентностный подход в профессиональной подготовке специалистов через использование технологий 3D-моделирования // Глобальный научный потенциал. 2025. № 2 (167). С. 264–266.

8. *Ваулин С. Д., Волошина И. А., Котлярова И. О.* Направленность дополнительного профессионального образования участников высокотехнологичных проектов на освоение высших компетенций // Инженерное образование. 2023. № 33. С. 97–107.

9. *Бойко Е. А., Пикалова А. А.* Формирование универсальных компетенций у инженерных кадров на примере реализации многоуровневой модели проектно-ориентированной подготовки // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2021. № 4 (44). С. 145–152.

10. *Гузанов Б. Н., Баранова А. А., Офицерова Н. Ю.* Блочно-модульный подход к построению инженерных образовательных программ в федеральном университете // Современная высшая школа: инновационный аспект. 2024. Т. 16. № 4 (65). С. 75–86.

11. *Мигачева Г. Н., Лялин А. Е.* Содержательная модель интеграции инженерных дисциплин в условиях цифровой трансформации образования // Проектирование. Опыт. Результат. 2025. № 4. С. 78–84.

12. *Ниязова С. Б., Мамакеев К. М., Абдрасулов М. Г.* Управление образованием: потенциал и компетенция сферы последипломного дополнительного образования // Alatoo Academic Studies. 2020. № 4. С. 138–148.

13. *Карлов А. Г., Филипович О. В.* Ресурсы, альтернативы и противоречия образовательных программ подготовки инженеров цифровой экономики с компетенциями нетривиального изобретательского мышления // Вестник МГТУ «Станкин». 2021. № 1 (56). С. 25–34.

14. *Смелова В. Г.* Методические подходы к проектированию конвергентной программы учебного модуля // Школа и производство. 2024. № 1. С. 9–17.

15. *Жилин А. С., Коваленко С. В., Ребрин О. И.* и др. Высоковостребованные компетенции и инженерное образование для сотрудников предприятий металлургической и машиностроительной отраслей Уральского федерального округа // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 12–2. С. 284–288.

References

1. Bayandina O. V. Opportunities of the professional module «Fundamentals of Calculation and Design of Welded Structures» for developing universal competencies of students in technical fields of study. *Pedagogy of Modernity*, 2022, no. 1 (23), pp. 43–46.

2. Gorshkova O. O. Preparing an engineering university graduate in a practice-oriented format in collaboration with enterprises of the real sector of the economy. *Modern Problems of Science and Education*. 2025, no. 1, 62 p.

3. Vlasova E. A., Popov V. S. Training a research engineer at a technical university under the integration of research and

educational activities in partnership with sectoral enterprises. *World of Science. Pedagogy and Psychology*, 2024, vol. 12, no. 3.

4. Volegzhanina I. S., Zaitseva T. S., Stepachkova I. I. A cross-cutting interdisciplinary project as a technology for the formation and development of the professional competence of the future engineer. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2021, no. 9–2 (60), pp. 22–28.

5. Krotenko T. Yu. Aligning disciplinary approaches in engineering education: the potential of innovative technologies. *Innovations in Education*, 2024, no. 8, pp. 5–15.

6. Chizhov S. V. The professional agency of the engineer in course project design of a value-competence training system for bridge engineering specialists. *Scientific Opinion*, 2023, no. 10, pp. 78–83.

7. Rukavishnikov V. A., Lutfullina G. F., Minnullina E. B., Ivanov D. A. A competency-based approach in professional training of specialists through the use of 3D modeling technologies. *Global Scientific Potential*, 2025, no. 2 (167). pp. 264–266.

8. Vaulin S. D., Voloshina I. A., Kotlyarova I. O. The orientation of continuing professional education participants in high-technology projects toward mastering higher-level competencies. Engineering Education, 2023, no. 33, pp. 97–107.

9. Boiko E. A., Pikalova A. A. Formation of universal competencies in engineering personnel using a multi-level model of project-oriented training. *Vocational Education in Russia and Abroad*, 2021, no. 4 (44), pp. 145–152.

10. Guzanov B. N., Baranova A. A., Ofitserova N. Yu. A block-modular approach to building engineering educational programs at a federal university. *Modern Higher Education: The Innovative Aspect*, 2024, vol. 16, no. 4 (65), pp. 75–86.

11. Migacheva G. N., Lyalin A. E. A substantive model for integrating engineering disciplines under the digital transformation of education. *Design. Experience. Result*, 2025, no. 4, pp. 78–84.

12. Niyazova S. B., Mamakeyev K. M., Abdrasulov M. G. Education management: potential and competence of the post-graduate continuing education sector. *Alatoo Academic Studies*, 2020, no. 4, pp. 138–148.

13. Karlov A. G., Filipovich O. V. Resources, alternatives, and contradictions of educational programs for training engineers of the digital economy with competencies in non-trivial inventive thinking. *Vestnik MSTU* «*Stankin*», 2021, no. 1 (56), pp. 25–34.

14. Smelova V. G. Methodological approaches to designing a convergent program of an educational module. *School and Production*, 2024, no. 1, pp. 9–17.

15. Zhilin A. S., Kovalenko S. V., Rebrin O. I., Sholina I. I., Pechurin M. S. High-demand competencies and engineering education for employees of metallurgical and mechanical engineering enterprises of the Ural Federal District. *Modern High Technologies*, 2023, no. 12–2, pp. 284–288.

ЭКОЛОГИЯ

УДК

С. В. КУРОВСКИЙ, Д. А. МИШИН (ООО «Высшая Школа Образования», г. Одинцово)
E-mail: 8917564@gmail.com
S. V. Kurovsky, D. A. Mishin (Higher School of Education LLC, Odintsovo)

Обеспечение экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе

Ensuring environmental safety in the construction of pipeline systems in the oil and gas sector

Актуальность рассматриваемого вопроса связана с наличием комплекса взаимосвязанных глобальных и отраслевых факторов, влияющих на обеспечение экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе, включая экстенсивное развитие объектов инфраструктурного обеспечения городского хозяйства, глобальную экологизацию территорий, совершенствование нормативно-правового поля обеспечения экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе, технологическое развитие и цифровизацию сектора трубопроводного транспорта, потребность в социальной ответственности и экономической эффективности осуществляемых процессов транспортировки топливно-энергетических ресурсов. Выявлены особенности обеспечения экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе. Отражены особенности проектирования трубопроводных систем в нефтегазовом секторе; обозначена возможность практического применения зеленых технологий в строительстве трубопроводных систем; представлены результаты сопоставительного анализа преимуществ и недостатков традиционных и зеленых подходов к строительству трубопроводных систем в нефтегазовом секторе. Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные в исследовании результаты могут быть использованы российскими нефтегазовыми компаниями для совершенствования методической основы управления сетями трубопроводного транспорта; улучшения реализации рабочих процессов транспортировки топливно-энергетических ресурсов в условиях необходимости минимизации экологических рисков и увеличения экологической безопасности эксплуатации трубопроводного транспорта.

The relevance of this issue is due to a complex set of interrelated global and industry-specific factors affecting environmental safety in the construction of pipeline systems in the oil and gas sector. These factors include the extensive development of urban infrastructure, the global greening of territories, the improvement of the regulatory framework for ensuring environmental safety in the construction of pipeline systems in the oil and gas sector, the technological development and digitalization of the pipeline transport sector, and the need for social responsibility and economic efficiency in the transportation of fuel and energy resources. This article identifies the specifics of ensuring environmental safety in the construction of pipeline systems in the oil and gas sector. It also discusses the design features of pipeline systems in the oil and gas sector, identifies the potential for the practical application of green technologies in pipeline construction, and presents the results of a comparative analysis of the advantages and disadvantages of traditional and green approaches to pipeline system construction in the oil and gas sector. The practical significance of the study lies in the fact that the results obtained can be used by Russian oil and gas companies to improve the methodological framework for managing pipeline networks and to enhance the implementation of work processes for transporting fuel and energy resources in the context of the need to minimize environmental risks and increase the environmental safety of pipeline operations.

Ключевые слова: нефтегазовые трубопроводы; экологическая безопасность; строительство трубопроводных систем; транспортировка нефтегазовых ресурсов; производственно-техноло-

гические процессы; отечественные нефтегазовые компании; природные экосистемы; зеленые технологии; традиционные подходы к строительству; сопоставительный анализ.

Keywords: oil and gas pipelines; environmental safety; pipeline system construction; oil and gas transportation; production and technological processes; domestic oil and gas companies; natural ecosystems; green technologies; traditional approaches to construction; comparative analysis.

Строительство трубопроводных систем представляет собой осуществление крупномасштабной инженерно-строительной деятельности, которая оказывает существенное неблагоприятное влияние на природные экосистемы в целом и их отдельные элементы. В современных условиях глобального энергетического перехода стран к генерации возобновляемых источников энергии, планомерного ужесточения экологических нормативных требований, обеспечение экологической безопасности на стадии строительства нефтегазовых трубопроводов является основополагающей составляющей долгосрочной конкурентоспособности и устойчивого развития отечественного нефтегазового сектора [1, 2].

На данный момент наблюдается комплекс взаимосвязанных глобальных и отраслевых факторов, влияющих на обеспечение экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе:

- экстенсивное развитие объектов инфраструктурного обеспечения городского хозяйства;
- глобальная экологизация территорий;
- совершенствование нормативно-правового поля обеспечения экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе;
- технологическое развитие и цифровизацию сектора трубопроводного транспорта;
- потребность в социальной ответственности и экономической эффективности осуществляемых процессов транспортировки топливно-энергетических ресурсов [3–5].

Строительство трубопроводных систем в российском нефтегазовом секторе влияет на водные объекты, геологическую среду, растительный и животный мир, атмосферный воздух, территориальный ландшафт, способствуя нарушениям почвенного покрова, оползням, деградации грунта в условиях вечной мерзлоты, трансформации гидрологического режима, загрязнениям взвешенными веществами при переходах через реки, разливу топливно-энергетических ресурсов, нарушениям путей миграции животных, их гибели, фрагментации местообитаний растений, выбросам загрязняющих веществ от строительной техники и производственного оборудования, пылению при выполнении земельных работ, необратимым изменениям визуальной территориальной среды, нарушению рекреационной и эстетической ценности территорий [6, 7].

Следовательно, актуальность аспектов обеспечения экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе с течением времени будет повышаться. Это определяется планомерным усложнением условий строительства нефтегазовых трубопроводов, ужесточением международных экологических требований и потребностью в переходе к концепции ESG-развития. Ключевая задача в настоящее время состоит в переходе к активному проектированию нефтегазовых трубопроводов, интеграции зеленых технологий строительства трубопроводных систем, базирующихся на прогнозировании последствий практического выполнения строительных работ, практическом применении цифровых инструментов и технологий, а также принципе наилучших доступных технологий.

Цель данной работы – выявить особенности обеспечения экологической безопасности при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе.

Особенности проектирования трубопроводных систем в нефтегазовом секторе

Выбор проектных решений для осуществления строительства нефтегазовых трубопроводов непосредственно зависит от природно-климатической зоны, где планируется прокладка нефтегазовых трубопроводов, поскольку отмечается комплекс рисков и ограничений в разрезе территорий [8]:

- территории, для которых характерна вечная мерзлота грунта: просадки, деградация почвы, хрупкость природных экосистем, длительный временной период восстановления грунта;
- горные районы: высокий уровень сейсмической активности, крутые горные склоны, сложный рельеф;
- заболоченные территории: низкая несущая способность грунтов, риск всплытия нефтегазового трубопровода, ценность природных экосистем;
- пустынная зона: песчаные заносы, коррозионная активность солончаков, эрозия грунтов.

Соответственно, особенности проектирования трубопроводных систем в нефтегазовом секторе состоят в потребности комплексного учета многообразия взаимосвязанных детерминантов, начиная

с физико-механических свойств транспортируемых топливно-энергетических ресурсов до уязвимости определенных растений и природных экосистем при строительстве нефтегазовых трубопроводов. Основной тренд, который можно выделить в настоящее время, – осуществление превентивного экологического проектирования, при котором проектные решения, направленные на минимизацию экологического ущерба, закладываются на ранних стадиях жизненного цикла трубопроводной системы.

Возможность практического применения зеленых технологий в строительстве трубопроводных систем

Зеленые технологии представляют собой совокупность материалов, технических решений, производственно-технологических процессов и управленческих практик, ориентированных на:

- снижение объема энергопотребления и выбросов парниковых газов;
- минимизацию вероятности нарушений природных экосистем и окружающей среды;
- оптимальное применение ресурсов (земельных, водных объектов, материалов);
- сохранение биоразнообразия территории, на которой происходит строительство нефтегазовых трубопроводов;
- эффективное обращение со строительными и бытовыми отходами.

Для каждой области проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводных систем подойдут индивидуальные зеленые технологии. Например, при проектировании и планировании строительства нефтегазовых трубопроводов целесообразно применять дистанционное зондирование земельных участков, ГИС-моделирование ключевых местообитаний, *BIM*-моделирование инфраструктурного объекта. Практическое выполнение земляных и подготовительных работ при строительстве нефтегазовых трубопроводов сопряжено с применением технологии снятия и сохранения плодородного слоя почвы с последующей рекультивацией земельного участка [9].

Сопоставительный анализ преимуществ и недостатков традиционных и зеленых подходов к строительству трубопроводных систем в нефтегазовом секторе

Планомерный переход к *ESG*-развитию российских компаний нефтегазового сектора предполагает трансформацию концептуальных подходов к строительству трубопроводных систем. Сопоставительный анализ преимуществ и недостатков традиционных и зеленых подходов к строительству трубопроводных систем в нефтегазовом секторе способствует определению экономических, социальных, технологических и экологических аспектов подобной трансформации.

Сопоставительный анализ преимуществ и недостатков традиционных и зеленых подходов к строительству трубопроводных систем в нефтегазовом секторе осуществлялся с применением комплекса критериев: экономической целесообразности; экологической эффективности; соответствия нормативным требованиям к строительству трубопроводных систем в нефтегазовом секторе; технологической реализуемости инфраструктурных проектов; социальной приемлемости; долгосрочной устойчивости.

В таблице приведены результаты выделения преимуществ и недостатков зеленых технологий в строительстве нефтегазовых трубопроводов при сопоставлении с концепцией традиционных методологий [10, 11].

Таблица

Результаты выделения преимуществ и недостатков зеленых технологий в строительстве нефтегазовых трубопроводов при сопоставлении с концепцией традиционных методологий

Критерий сопоставления	Традиционные методологии	Зеленые технологии	Сопоставление преимуществ и недостатков зеленых технологий
Экологический след	Высокий уровень нарушения природной экосистемы, значительный объем выбросов углекислого газа, образование отходов	Минимизация нарушения природной экосистемы, уменьшение выбросов углекислого газа, переработка отходов	Преимущество – уменьшение экологической нагрузки на территорию на 40 %. Недостаток – нужен комплексный мониторинг проекта
Экономические показатели	Низкий уровень капитальных издержек, высокий уровень текущих вложений по причине необходимости рекультивации земельных участков	Высокий уровень капитальных издержек, крайне низкий уровень текущих вложений по причине экономии ресурсов	Преимущество – долгосрочная экономия ресурсов
Технологическая сложность	Простота практического осуществления, отработанные технологии	Инновационные решения, требующие использование специального производственного оборудования	Недостаток – зависимость от импорта производственного оборудования

Окончание табл.

Критерий сопоставления	Традиционные методологии	Зеленые технологии	Сопоставление преимуществ и недостатков зеленых технологий
Нормативное соответствие	Соответствие базовым нормативным требованиям	Превышение нормативов, соответствие ESG-критериям	Преимущество – прочность проектных решений. Недостаток – трудности согласования критериев
Социальное восприятие	Репутационные риски, социальные конфликты	Улучшение имиджа отраслевого сектора	Преимущество – минимизация социальной напряженности. Недостаток – крайне высокий уровень издержек на подключение к инженерно-техническим коммуникациям
Устойчивость к изменениям	Низкая степень адаптивности к новым нормативным требованиям	Высокий уровень гибкости и адаптивности технологий	Преимущество – соответствие технологий климатической повестке. Недостаток – необходимость постоянного обновления зеленых технологий

Сопоставительный анализ преимуществ и недостатков традиционных и зеленых подходов к строительству трубопроводных систем в нефтегазовом секторе и их эффективности показывает значительные преимущества зеленых технологий в контексте обеспечения долгосрочной устойчивости, а также их соответствия действующим экологическим требованиям. Тем не менее в современных условиях резкий полный отказ от практического применения традиционных подходов к строительству нефтегазовых трубопроводов не представляется целесообразным на фоне наблюдаемых экономических и технологических международных ограничений.

Выводы. 1. Практическое применение технологий *BIM*-моделирования и принципов наилучших доступных цифровых технологий постепенно становится новым отраслевым стандартом, который может обеспечить экономическую эффективность и экологическую безопасность при строительстве трубопроводных систем в нефтегазовом секторе.

2. Возможность практического применения зеленых технологий в строительстве трубопроводных систем выступает в полной мере реализуемой и экономически обоснованной. Осуществление строительства трубопроводных систем с применением зеленых технологий обусловливает практическую реализацию современного оптимального и риск-ориентированного подхода, который обеспечивает устойчивость инфраструктурного проекта на долгосрочную перспективу. Массовая интеграция зеленых технологий в процессы строительства трубопроводных систем представляет собой закономерную стадию развития нефтегазового сектора, определяющуюся потребностью обеспечения экологической и технологической безопасности в контексте парадигмы *ESG*-развития российских компаний.

3. Перспективным направлением внедрения и использования зеленых технологий в строительстве нефтегазовых трубопроводов выступает создание гибридных моделей, сочетающих характеристики инновационности зеленых технологий и надежность традиционных подходов, что предполагает формирование научно обоснованных критериев выбора технологических инноваций, системы стимулирования интеграции зеленых подходов в производственно-технологические процессы, развитие российских разработок в сфере зеленых технологий, профессиональную подготовку кадров нового поколения.

Список литературы

1. *Куровский С. В., Мишин Д. А., Фомичев Л. Ю.* Особенности обеспечения экологической безопасности в рамках снижения частоты пожароопасных ситуаций на нефтегазовых трубопроводах // Экономика строительства. 2025. № 1. С. 339–343.

2. *Куровский С. В., Мишин Д. А., Кормош Е. В., Молостова И. Н.* Комплексный подход к экологической безопасности строительного производства с учетом воздействия химических факторов // Экономика строительства. 2025. № 1. С. 522–526.

3. *Куровский С. В., Мишин Д. А., Фомичев Л. Ю.* Особенности обеспечения экологической безопасности пожароопасных объектов нефтегазовой промышленности // Инновации и инвестиции. 2025. № 3. С. 774–778.

4. *Куровский С. В., Мишин Д. А., Редько Г. В., Лукинов В. А.* Инновационные решения и технологии в области капитального ремонта трубопроводов и нефтегазовых скважин // Инновации и инвестиции. 2025. № 5. С. 555–559.

5. *Куровский С. В., Соснин Д. А., Мишин Д. А.* Экспериментальные методы определения горного давления // Экономика строительства. 2024. № 5. С. 192–195.

6. *Харисов Р. А.* Разработка научных основ экспресс-методов расчета характеристик прочностной безопасности оболочковых элементов трубопроводных систем в водородсодержащих рабочих средах: дисс. … д-ра техн. наук. Уфа: Институт проблем транспорта энергоресурсов. 2015. 228 с.

7. *Харисов Р. А.* Разработка научных основ экспресс-методов расчета характеристик прочностной безопасности

оболочковых элементов трубопроводных систем в водородсодержащих рабочих средах: автореф. дисс. … д-ра техн. наук. Уфа: Институт проблем транспорта энергоресурсов. 2015. 22 с.

8. *Исмаилов Р. И.* Организация диспетчерской службы с позиции повышения качества строительства магистральных трубопроводов // Инженерный вестник Дона. 2022. № 7 (91). С. 576–585.

9. *Kraidi L.* et al. An investigation of mitigating the safety and security risks allied with oil and gas pipeline projects // Journal of Pipeline Science and Engineering. 2021. Т. 1. № 3. С. 349–359.

10. *Соболева Ю. А., Карпов Н. С., Кочаров М. А.* Разработка арматуры для опасных производственных объектов, работающей в широком диапазоне температур окружающей среды // Инженерный вестник Дона. 2023. № 12 (108). С. 52.

11. *Albeldawi M.* Environmental impacts and mitigation measures of offshore oil and gas activities // Developments in Petroleum Science. 2023. Vol. 78. Pp. 313–352.

References

1. Kurovsky S. V., Mishin D. A., Fomichev L. Yu. Features of Ensuring Environmental Safety in the Context of Reducing the Frequency of Fire Hazardous Situations on Oil and Gas Pipelines. *Construction Economics*, 2025, no. 1, pp. 339–343.

2. Kurovsky S. V., Mishin D. A., Kormosh E. V., Molostova I. N. An Integrated Approach to Environmental Safety in Construction Production Taking into Account the Impact of Chemical Factors. *Construction Economics*, 2025, no. 1. pp. 522–526.

3. Kurovsky S. V., Mishin D. A., Fomichev L. Yu. Features of Ensuring Environmental Safety of Fire Hazardous Facilities in the Oil and Gas Industry. *Innovations and Investments*, 2025, no. 3, pp. 774–778.

4. Kurovsky S. V., Mishin D. A., Redko G. V., Lukinov V. A. Innovative Solutions and Technologies in the Field of Major Workovers of Pipelines and Oil and Gas Wells. *Innovations and Investments*, 2025, no. 5, pp. 555–559.

5. Kurovsky S. V., Sosnin D. A., Mishin D. A. Experimental Methods for Determining Rock Pressure. *Construction Economics*. 2024, no. 5. pp. 192–195.

6. Kharisov R. A. *Razrabotka nauchnyh osnov ekspress-metodov rascheta harakteristik prochnostnoj bezopasnosti obolochkovyh elementov truboprovodnyh sistem v vodorodsoderzhashhih rabochih sredah* [Development of Scientific Foundations of Express Methods for Calculating the Strength Safety Characteristics of Shell Elements of Pipeline Systems in Hydrogen-Containing Working Environments: doctor's thesis]. Ufa, Institute of Energy Resources Transport Problems, 2015, 228 p.

7. Kharisov R. A. *Razrabotka nauchnyh osnov ekspress-metodov rascheta harakteristik prochnostnoj bezopasnosti obolochkovyh elementov truboprovodnyh sistem v vodorodsoderzhashhih rabochih sredah* [Development of Scientific Foundations of Express Methods for Calculating the Strength Safety Characteristics of Shell Elements of Pipeline Systems in Hydrogen-Containing Working Environments: doctor's abstract]. Ufa, Institute for Energy Resources Transport Problems, 2015, 22 p.

8. Ismailov R. I. Organization of the Dispatch Service from the Perspective of Improving the Quality of Trunk Pipeline Construction. *Engineering Bulletin of the Don*, 2022, no. 7 (91), pp. 576–585.

9. Kraidi L. et al. An Investigation of Mitigating the Safety and Security Risks Allied with Oil and Gas Pipeline Projects. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 2021, vol. 1, no. 3, pp. 349–359.

10. Soboleva Yu. A., Karpov N. S., Kocharov M. A. Development of valves for hazardous industrial facilities operating in a wide range of ambient temperatures. *Engineering Bulletin of the Don*, 2023, no. 12 (108), pp. 52.

11. Albeldawi M. Environmental impacts and mitigation measures of offshore oil and gas activities. *Developments in Petroleum Science*, 2023, vol. 78, pp. 313–352.

УДК

Н. С. СЕРГИЕНКО, канд. экономич. наук (Финансовый университет при правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: nssergienko@mail.ru
N. S. Sergienko (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Программно-целевой подход в организации промышленной переработки ТКО: российский опыт и зарубежная практика

Program-oriented approach in the organization of industrial MSW processing: Russian experience and foreign practice

Рассматривается программно-целевой подход к организации системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) в России и за рубежом. Проанализирован российский опыт реализации национальных программ и проектов в сфере переработки ТКО, включая нормативно-правовые инициативы и внедрение на региональном уровне. Проведен сравнительный обзор государственных программ обращения с отходами в

Германии, Японии, Республике Корея, Швеции и Нидерландах с акцентом на механизмы государственного регулирования, экономические стимулы для бизнеса, участие населения, развитие инфраструктуры, а также достигнутые показатели эффективности. Выделены ключевые факторы успеха и основные барьеры при реализации программно-целевого подхода к переработке отходов. Сформулированы рекомендации по совершенствованию hjccbqcrjq государственной политики управления отходами с учетом национальной специфики.

The article considers a program-oriented approach to the organization of the municipal solid waste (MSW) management system in Russia and abroad. The Russian experience in the implementation of national programs and projects in the field of MSW processing, including regulatory initiatives and implementation at the regional level, is analyzed. A comparative review of government waste management programs in Germany, Japan, the Republic of Korea, Sweden, and the Netherlands was conducted, focusing on government regulatory mechanisms, economic incentives for business, public participation, infrastructure development, and achieved performance indicators. The key success factors and main barriers in the implementation of a program-oriented approach to waste recycling are highlighted. Recommendations are formulated for improving the hjccbqcrjq state waste management policy, taking into account national specifics.

Ключевые слова: программно-целевой подход; твердые коммунальные отходы; переработка отходов; государственные программы; национальный проект «Экология»; раздельный сбор; экономика замкнутого цикла.

Keywords: program-oriented approach; municipal solid waste; waste recycling; government programs; national project «Ecology»; separate collection; closed-loop economics.

Проблема эффективного обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является одной из наиболее острых экологических и социально-экономических задач современности. Рост городского населения, увеличение потребления и сокращение ресурсов для размещения отходов требуют перехода от традиционной модели захоронения мусора к принципам экономики замкнутого цикла, предполагающей максимальное вовлечение отходов в повторный оборот. Во многих странах находит применение программно-целевой подход к решению этой проблемы – разработка и реализация комплексных государственных программ с четко определенными целями, показателями и сроками, подкрепленных необходимыми ресурсами и механизмами контроля. Программно-целевой подход позволяет преодолеть фрагментарность мер в сфере обращения с отходами за счет системного планирования и финансирования мероприятий, ориентированных на достижение измеримых целевых показателей. В основе данного метода лежит переход от разрозненных действий к реализации взаимосвязанных проектов и политик, объединенных единой стратегической целью – минимизацией захоронения отходов и повышением доли их утилизации и переработки. Зарубежный опыт свидетельствует, что успех такого подхода зависит от сочетания трех ключевых факторов: последовательной государственной политики (включая стимулирование и контроль), активности частного сектора и высокой экологической культуры населения. В то же время каждая страна выработала собственные инструменты и решения, учитывающие национальные особенности, законодательную базу и доступные технологии. В данной работе проводится глубокий анализ российского опыта применения программно-целевого метода в организации промышленной переработки ТКО, а также изучается практика ряда передовых стран в этой области. *Цель* – выявить лучшие практики, общие закономерности и уроки, которые могут быть полезны для совершенствования российской политики обращения с отходами.

Теоретический обзор программно-целевого подхода в управлении отходами

Программно-целевой подход (ПЦП) представляет собой метод государственного управления, при котором решение комплексной проблемы осуществляется через систему целевых программ и проектов, объединенных единой целью и показателями результативности. В контексте обращения с отходами ПЦП означает, что государство формулирует стратегические цели (например, снижение объема захороняемых отходов, увеличение доли переработки до определенного процента к заданному году) и реализует их посредством конкретных программ (национальных, региональных или отраслевых) с выделением необходимых ресурсов и ответственных исполнителей. В РФ элементы программно-целевого планирования в экологической сфере начали применяться с 2000-х гг., когда стали разрабатываться федеральные целевые программы (ФЦП) и государственные программы, направленные на охрану окружающей среды и улучшение обращения с отходами. Ключевым

шагом становится закрепление обязанности субъектов РФ по разработке собственных программ обращения с отходами: с 1 января 2016 г. вступает в силу новая редакция Федерального закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», обязывающая региональные власти организовывать деятельность в сфере отходов и разрабатывать территориальные схемы и программы обращения с ними. Таким образом, программно-целевые инструменты становятся обязательным элементом управления отходами на всех уровнях (от федерального до муниципального). Преимущество ПЦП состоит в том, что он позволяет устанавливать конкретные целевые показатели (индикаторы) и проводить мониторинг их достижения. Например, может устанавливаться процент ТКО, который должен проходить сортировку и переработку к определенному году, количество создаваемых перерабатывающих предприятий, доля населения, охваченного системой раздельного сбора, и т.п. Эти индикаторы становятся ориентиром для органов власти при планировании бюджета и мероприятий. Как отмечают исследователи, программно-целевой метод снижает неопределенность и повышает прозрачность управления, поскольку предполагает закрепление целей и ожидаемых результатов еще на стадии планирования бюджета и мер воздействия. Кроме того, комплексные программы позволяют скоординировать различные аспекты проблемы – от законодательного регулирования и инфраструктурного строительства до просветительской работы с населением. Вместе с тем, ПЦП требует налаженной системы мониторинга и контроля исполнения программ, а также регулярной оценки их эффективности. В противном случае существует риск формального выполнения мероприятий без реального прогресса к целям. В сфере отходов это означает, что помимо разработки программ важно обеспечить их ресурсное финансирование, межведомственную координацию (экологические, коммунальные, промышленные ведомства), участие бизнеса и общественности. Зарубежный опыт демонстрирует, что там, где государство создало благоприятные условия (нормативные и экономические) и контроль, бизнес нашел экономическую выгоду в переработке, а граждане осознали свою роль в раздельном сборе – там достигаются наилучшие результаты. Далее рассмотрим, как эти принципы реализованы на практике в России и ряде зарубежных стран.

Российский опыт программно-целевого подхода в промышленной переработке ТКО

В России в последнее десятилетие предпринимаются масштабные усилия для реформирования системы обращения с отходами на основе программно-целевых принципов. Стратегическое видение закреплено в национальных приоритетах – в частности, в национальном проекте «Экология», запущенном в 2019 г. [1]. Одним из ключевых направлений этого нацпроекта является радикальное улучшение системы управления ТКО. Были сформулированы амбициозные целевые показатели: к 2030 г. обеспечить 100 % сортировку образующихся коммунальных отходов и снизить долю захоронения на полигонах до не более 50 %. Иными словами, не менее половины объема ТКО должно извлекаться из общего потока и идти на утилизацию или переработку. Параллельно поставлена цель формирования в стране экономики замкнутого цикла, согласно указу Президента РФ – к 2030 г. вовлекать во вторичный оборот не менее 25 % отходов производства и потребления [2]. Для достижения этих целей задействован комплекс мер программно-целевого характера. На федеральном уровне разработаны федеральные проекты в составе нацпроекта «Экология», такие как «Комплексная система обращения с ТКО» и «Экономика замкнутого цикла», предусматривающие создание современной инфраструктуры, совершенствование законодательной базы и экономических механизмов. Так, за 2019–2023 гг. при поддержке федерального бюджета в регионах построено более 250 объектов для обработки, утилизации и размещения отходов – это современные мусоросортировочные комплексы, линии переработки вторсырья, новые полигоны, соответствующие экологическим требованиям. В результате реформы уже достигнут заметный прогресс: если в 2018 г. доля отходов, проходивших обработку, составляет лишь около 11 %, а утилизируется (перерабатывалась) лишь 2 %, то по итогам 2023 г. эти показатели возрастают до 53,4 и 13 %, соответственно [3]. Иными словами, более половины ТКО теперь хотя бы сортируется перед захоронением, а доля реально извлекаемого вторсырья увеличивается в шесть раз, хотя по-прежнему остается относительно невысокой.

Важной частью программно-целевого подхода в России стало совершенствование законодательства. Кроме упомянутых изменений 2016 г., распределивших ответственность на уровень регионов, были введены новые нормы, стимулирующие переработку. Например, развивается механизм расширенной ответственности производителей (РОП) – система, обязывающая производителей и импортеров товаров финансировать утилизацию образующихся после их использования отходов. В 2023 г. принят закон № 451-ФЗ, который реформирует РОП: повышены нормативы утилизации упаковки (до 55 % с 2025 г.) и ставки экологического сбора, вводятся новые прави-

ла отчетности. Это направлено на то, чтобы заставить бизнес активнее инвестировать в сбор и переработку своих отходов или платить существенные сборы в бюджет. Одновременно ужесточаются требования к самим полигонам: запрещается захоронение неотсортированных отходов, вводятся нормы по уменьшению загрязняющего воздействия полигонов и ликвидации накопленного экологического ущерба. В рамках федерального проекта «Чистая страна» осуществляется ликвидация старых несанкционированных свалок – за первые пять лет нацпроекта удалось устранить 128 крупных свалок и еще 80 объектов накопленного вреда, что не только улучшает экологическую обстановку, но и стимулирует создание новых мощностей переработки, чтобы предотвратить появление новых свалок.

Программно-целевой подход в российской практике проявляется не только в федеральных инициативах, но и на уровне субъектов РФ [5]. В соответствии с законом каждый регион разработал свою территориальную схему обращения с отходами и программу, в которой определены региональные целевые показатели – например, снижение доли захоронения ТКО к определенным годам, количество создаваемых объектов переработки, охват населения раздельным сбором и пр. Внедрена новая институциональная модель – региональные операторы по обращению с ТКО, отвечающие за сбор, вывоз и дальнейшую передачу отходов на обработку. С 2019 г. во всех субъектах РФ функционирует система таких операторов, работающих по тарифам, утверждаемым региональными властями. Идея заключается в централизации ответственности и создании экономических условий для инвестиций: регоператор заключает долгосрочный контракт и обязан обеспечить достижение показателей, а государство может субсидировать инфраструктурные проекты. На практике результаты в регионах пока разнятся. Некоторые продвинутые регионы (например, Москва и Московская область, Татарстан, Санкт-Петербург, Калужская область и др.) активнее внедряют раздельный сбор отходов и строят современные комплексы по переработке. Так, в Москве с 2020 г. введена двухпоточная система сбора («сухие» и «мокрые» отходы), ведется строительство четырех крупных заводов по энергоутилизации отходов. Другие регионы только начинают этот путь, сталкиваясь с нехваткой инвестиций и технологических возможностей. Тем не менее, общая тенденция положительная: по данным ППК «Российский экологический оператор» (РЭО), уже около 30 % населения страны охвачено раздельным сбором или раздельным накоплением отходов в том или ином виде, и эта доля растет. Одним из барьеров остается исторически низкий уровень тарифов на вывоз отходов и ограниченные ресурсы муниципалитетов [6]. Программно-целевой подход предполагает, что затраты на новую инфраструктуру и операции будут окупаться либо за счет тарифа, либо за счет бюджетного финансирования и инвестиций. В России тарифы на ТКО долгое время не отражали полного цикла обращения с отходами, что делало переработку экономически непривлекательной. Постепенно тарифная политика меняется – вводится плата за негативное воздействие при размещении отходов, рассматриваются механизмы поэтапного повышения платы с одновременной поддержкой населения (чтобы смягчить социальный эффект). Опыт зарубежных стран, как будет показано далее, свидетельствует о необходимости экономического стимулирования раздельного сбора – например, внедрения принципа «плати-за-выброс» (*pay-as-you-throw*), когда домохозяйства платят больше при большем объеме несортированных отходов. В российских условиях такие пилотные проекты только начинают обсуждаться. Важной составляющей становится и информационно-просветительская работа. В рамках нацпроекта реализуются программы экологического просвещения, акции по раздельному сбору (например, «Разделяй и используй заново»), привлечение общественных экологических организаций. Уже сейчас отмечается рост экологической сознательности: все больше жителей готовы сортировать мусор и сдавать вторсырье.

Для того чтобы раздельный сбор стал по-настоящему массовым явлением, эксперты отмечают необходимость дальнейшего развития инфраструктуры (удобные контейнерные площадки, пункты приема вторсырья в шаговой доступности), совершенствования нормативной базы (например, стандарты на вторичное сырье, требования к раздельному сбору для управляющих компаний) и активного формирования эко-привычек через просвещение. Таким образом, российский программно-целевой подход к переработке ТКО находится в стадии активного становления. Заложена основа в виде национальных целей и программ, создан новый институт регоператоров, строится инфраструктура. Первые результаты – заметное увеличение объемов обработки отходов и ликвидация свалок – обнадеживают. Однако впереди стоит задача повышения доли реальной утилизации отходов (на сегодня 13 % недостаточно, цель – не менее 50 %), налаживания раздельного сбора и достижения экономической устойчивости отрасли. Для этого полезно изучить опыт стран, которые прошли подобный путь трансформации системы обращения с отходами.

Сравнительный анализ зарубежной практики переработки ТКО

В разных странах мира накоплен богатый опыт реализации целевых государственных программ по обращению с коммунальными отходами. Рассмотрим опыт нескольких государств: Германии, Японии, Республики Корея, Швеции и Нидерландов, которые считаются одними из лидеров в сфере переработки отходов. Анализ будет сфокусирован на следующих аспектах: механизмы государственного регулирования, экономические стимулы, развитие инфраструктуры, а также достигнутые количественные показатели эффективности (доли переработки, захоронения и т. д.). Этот сравнительный обзор позволит выявить как общие черты успешных программ, так и уникальные инструменты, применяемые в конкретных странах.

Германия широко признана одним из мировых лидеров по переработке бытовых отходов. Современная система сложилась благодаря длительному эволюционному развитию политик с 1970-х гг., опирающихся на жесткое законодательство и активное участие граждан. Государственное регулирование в Германии базируется на нормах Европейского союза и собственных законах, которые неоднократно ужесточались. Еще в 1972 г. принят первый Федеральный закон об удалении отходов (*Abfallbeseitigungsgesetz*), запретивший несанкционированные свалки и заложивший основу государственной системы обращения с отходами. В последующие десятилетия подход менялся от простого удаления мусора к приоритету утилизации и рециклинга. Ключевым шагом становится принятие в 1994 г. Федерального закона «Об экономике замкнутого цикла и отходах» (*Kreislaufwirtschaftsgesetz*), который официально вводит понятие рециклинга (вторичной переработки) и устанавливает одни из самых строгих в ЕС требований экологической безопасности [7]. Законодательство Германии продолжают совершенствовать: следующая редакция закона о замкнутом цикле в 2012 г. даже исключила слово «отходы» из названия, подчеркивая концепцию, что отходы следует рассматривать как ценные ресурсы для новых товаров или энергии. Механизмы регулирования в Германии включают обязательный раздельный сбор отходов населением. С 2015 г. (в соответствии с требованиями Директив ЕС) на каждом домохозяйстве лежит обязанность сортировать отходы по видам: обычно используются как минимум четыре контейнера – для бумаги, стекла, упаковки (пластик/металл) и прочих отходов. Нарушение правил разделения может приводить к отказу в вывозе мусора или штрафам, хотя на практике в немецкой культуре сортировка становится нормой жизни. Государство также стимулирует участие граждан через систему залогов (*Pfand*) на тару: депозит за пластиковые и стеклянные бутылки, алюминиевые банки возвращается при их сдаче, что значительно повысило уровень возврата потребительской упаковки. Экономические стимулы для бизнеса и населения играют важную роль. Германия одной из первых внедряет принцип расширенной ответственности производителей: еще в 1991 г. издается «Указ об упаковке», обязывающий производителей упаковки либо самостоятельно обеспечить ее утилизацию, либо платить специализированной системе. Так появляется знаменитая система *Grüne Punkt* (Зеленая точка), в рамках которой производители финансируют сбор и переработку упаковочных материалов [8]. Кроме того, начиная с 2005 г. Германия фактически запрещает захоронение необработанных коммунальных отходов: на полигоны допускаются только остатки с содержанием органики менее 5 %. Это правило в сочетании с высокими платежами за размещение отходов вынуждает муниципалитеты максимально переориентировать потоки мусора на переработку и сжигание. Участие населения в Германии – краеугольный камень успеха системы. Немецкое общество отличается высокой экологической сознательностью, которую прививают со школы. Сортировка мусора воспринимается как гражданский долг; нередки случаи, когда родители прививают эту культуру детям с малых лет, в том числе показывая на практике работу сортировочных станций. Органы местного самоуправления ведут постоянное экологическое просвещение, разъясняют правила разделения, рассылают справочники для жителей. В итоге степень вовлеченности очень высокая: согласно данным, более 90 % населения соблюдают требования раздельного сбора. Система сбора устроена удобно: помимо контейнеров у домов, существуют центры приема опасных отходов, крупногабаритных вещей, действует график вывоза специализированных фракций. Инфраструктура переработки отходов в Германии чрезвычайно развита. По всей стране функционируют сотни сортировочных линий и перерабатывающих предприятий. Органические отходы компостируются или превращаются в биогаз. Для остатков, не поддающихся материальному рециклингу, действует около 90 современных мусоросжигательных заводов с очисткой дымовых газов, которые вырабатывают электроэнергию и тепло. Благодаря этому Германия достигает одних из самых высоких показателей переработки в Европе: по данным Евростата, совокупный уровень переработки и компостирования коммунальных отходов на 2022 г. составляет около 69 % – наивысший результат в ЕС. Практически 0 % несортированных

ТКО идут прямо на захоронение. Например, стекло в Германии перерабатывается столь эффективно, что до 90 % новой стеклотары производится из битого стекла вторичного происхождения. Добиться таких результатов удается благодаря долгосрочному и последовательному программно-целевому подходу. Государство ставит цели (например, целевой показатель ЕС – 65 % утилизации к 2035 г, который Германия, очевидно, перевыполнит) создает правовые рамки и экономические условия, а бизнес и граждане их исполняют. Немецкая модель показывает, что строгое регулирование + экономические стимулы + воспитание экологической культуры дают синергетический эффект. В контексте нашей темы она служит эталоном того, как целевая программа (национальная стратегия по отходам) реализуется на всех уровнях: от федерального правительства до каждой семьи.

Япония сталкивается с особыми вызовами в сфере отходов, обусловленными высокой плотностью населения и ограниченной территорией для полигонов. В ответ на это страна одной из первых в Азии разрабатывает комплексную национальную политику управления отходами, опирающуюся на программно-целевые принципы и культурные традиции бережливости. Уже к 1970-м гг. в Японии сформирован строгий экологический регламент: так называемый «диет по борьбе с загрязнением» 1970 г., когда парламент единовременно принимает 14 экологических законов. В их числе: переработанный Закон об утилизации мусора (*Waste Management Law*), который впервые провозглашает цель охраны окружающей среды при обращении с отходами (а не только санитарную очистку), устанавливает стандарты для методов обработки и предусмотрел субсидии на строительство современных мусороперерабатывающих мощностей. Таким образом, уже к началу 1970-х гг. Япония из страны с весьма мягким регулированием быстро переходит в число наиболее строго регулирующих отходы государств. В 1990-е гг. акцент смещается на предотвращение образования отходов и их переработку. В 1991 г. в Закон об отходах внесены поправки, устанавливающие сокращение образования мусора как национальную цель. Вслед за этим следует комплекс специальных законов по рециклингу конкретных видов продукции: например, Закон о переработке упаковки и контейнеров (1995), Закон об утилизации бытовой техники (1998), Закон об утилизации пищевых отходов (2000) и др. В 2000 г. принят основной планирующий документ: Основной закон о создании общества, основанного на использовании материалов (*Basic Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society*) [9]. Этот акт установил иерархию обращения с отходами *3R* (*Reduce*, *Reuse*, *Recycle*), обязывает правительство разрабатывать пятилетние планы с количественными целями и индикаторами, отслеживать их достижение. Вводятся национальные целевые показатели, например, повысить коэффициент использования ресурсов и сократить объемы финального захоронения к определенным срокам. Государственное регулирование в Японии характеризуется также четким разграничением обязанностей: муниципалитеты отвечают за сбор и утилизацию коммунальных отходов, а предприятия – за промышленные отходы. При этом центральное правительство поддерживает местный уровень финансами и технологиями, издает руководства. Существуют субсидии префектурам и городам на строительство высокотехнологичных заводов, прежде всего, мусоросжигательных, поскольку в японских городах дефицит земли заставил сделать упор на сжигание отходов как метод сокращения объема. Уже к 2000-м гг. в стране действует свыше 1200 инсинераторов, многие из которых оснащены установками для выработки энергии и строго контролируются по выбросам диоксинов. Экономические стимулы сочетаются с жесткими требованиями. Например, для населения во многих муниципалитетах введена система платных брендированных пакетов для мусора – жители обязаны покупать специальные пакеты для несортированных отходов, стоимость которых идет на финансирование утилизации. Это фактически система «плати за выброс», побуждающая сокращать объем мусора (либо тщательнее отделять перерабатываемые фракции, которые можно вынести бесплатно или дешевле). Кроме того, существуют налоговые льготы для предприятий, внедряющих лучшие доступные технологии переработки, и гранты на исследования в области новых методов утилизации (например, переработка пластика в топливо). В последние годы правительство Японии планирует дополнительные стимулы. Так, обсуждаются налоговые послабления для сертифицированных перерабатывающих предприятий, чтобы привлечь инвестиции в отрасль. Участие населения в обращении с отходами в Японии знаменито своей тщательностью. В общественных местах почти нет урн: каждый гражданин приучен уносить свой мусор домой и сортировать по строгим правилам. Каждая муниципалитет устанавливает свои подробные инструкции: где-то требуется разделять отходы на 4 категории, а где-то – более чем на 20–30 видов. Например, отдельно собираются кухонные отходы, пластики, бутылки ПЭТ, стекло по цветам, бумага нескольких сортов, металлы, текстиль, электроника, опасные отходы и т. д. Существует расписание в какие дни какая категория выносится. Жесткие правила сочетаются с коллективной ответственностью, что позволяет достичь значительных результатов

по переработке определенных фракций (например, практически 100 % металлических банок и стеклянной тары возвращается и перерабатывается).

Инфраструктура японской системы обращения с отходами включает, помимо тысяч мусоросжигательных печей, также развитую сеть центров по переработке вторсырья. Сбор вторсырья часто организован через общественные пункты приема, школьные и районные акции (например, сбор макулатуры волонтерами). И хотя основная масса несортированных остатков идет в топки, из отходов извлекаются ценные компоненты: существуют заводы по переработке пластмасс в химическое сырье или топливо, предприятия по разборке электроники на металлы (Япония – один из лидеров по «городской добыче» золота и редкоземельных металлов из электронного лома). Органические кухонные отходы в некоторых городах компостируются или перерабатываются в корм, но значительная их часть сгорает в составе общего мусора – хотя принятый в 2001 г. закон стимулирует пищевые предприятия отправлять отходы на корм скоту или биогаз.

Япония добивается того, что почти весь объем коммунальных отходов либо перерабатывается, либо сжигается и лишь очень малая часть размещается на полигонах. Ежегодно в стране образуется около 44 млн т муниципального мусора (оценка на середину 2010-х), при этом на свалки из них попадает менее 5 %. Официальная статистика Японии часто цитирует общий коэффициент утилизации около 84 %, однако сюда включена и термическая переработка (сжигание с энергией) как форма *recycling*. Уровень материальной переработки при этом низкий – порядка 20–25 % ТКО превращается в новые материалы. Например, из пластиковых отходов лишь 27 % действительно переплавляется или перерабатывается в новые изделия остальное в основном сжигается для выработки энергии. Тем не менее, благодаря широкому охвату населения раздельным сбором, Японии удается сдерживать рост отходов: за 2000-е гг. объем мусора на человека стабилизируется, а доля вторичного использования выросла (материальный рециклинг ТКО увеличился с ~14 % в 2000 гг. до ~20 % в 2007 г.). Практически 100 % собираемых в стране батареек, ртутных ламп, бытовой техники проходят через системы утилизации, извлекаются опасные компоненты и ценное сырье. В целом японский опыт демонстрирует эффективность жестких целевых программ, подкрепленных культурой дисциплины [9]. Для России интерес представляют специализированные законы для разных потоков отходов, задающие целевые показатели для каждой отрасли.

В рамках японской программы «Sound Material-Cycle Society» (SMCS) [10] промышленная переработка ТКО занимает важное место как один из столпов устойчивого ресурсного обращения. Программа охватывает широкий спектр мероприятий, направленных на развитие индустриальной инфраструктуры и технологий переработки, создание системы ответственности производителей и стимулирование вторичного использования материалов. В числе мероприятий программы по промышленной переработке ТКО следующие направления.

1. Развитие высокоэффективных перерабатывающих мощностей. Программа поддерживает строительство и модернизацию промышленных объектов для сортировки, механической и химической переработки ТКО с охватом автоматизированных сортировочных комплексов, заводов по переработке пластика, бумаги, металлов, текстиля, технологии пиролиза и газификации, предприятия по компостированию и биометанизации органических отходов. Так, японские заводы переработки пластика (*PET*, *HDPE* и др.) производят вторичное сырье для промышленности и экспорта. Часть отходов также перерабатывается в синтетическое топливо.

2. Поддержка технологических инноваций в промышленности. *SMCS* включает субсидирование *R&D*-проектов, направленных на повышение эффективности переработки отходов посредством химического рециклинга (в т. ч. *depolymerization*), технологий сортировки с использованием ИИ и оптических сенсоров, производства строительных материалов из вторичных фракций и развитие индустрии «*urban mining*» – извлечение редких и драгоценных металлов из электронных отходов [11]. Япония лидирует в переработке электронных отходов – почти 98 % компонентов собираются и разбираются на промышленных линиях, извлекая золото, платину, литий и др.

3. Система расширенной ответственности производителей (РОП). Программа устанавливает строгие обязательства для производителей по сбору и переработке отходов от своей продукции, что активно стимулирует промышленную переработку упаковок и контейнеров (по Закону об упаковке, 1995 г.), бытовой электроники (по Закону об утилизации бытовой техники, 2001 г.), автомобилей, шин, строительных материалов и др. Финансирование промышленной переработки обеспечивается за счет экологических сборов, которые поступают в специальные фонды переработки.

4. Секторальные цели по переработке. В рамках *SMCS* устанавливаются плановые показатели переработки для отдельных отраслей, включая не менее 60 % переработки пластиковых отходов, почти 100 % переработки металлической и стеклянной упаковки, расширение объема переработки органических отходов и производства биогаза. При этом регулярно

публикуются индикаторы по «коэффициенту циклического использования ресурсов» и объемам переработанного материала в промышленности.

5. Формирование региональных экосистем переработки. *SMCS* поощряет создание локальных промышленных кластеров переработки ТКО, в т. ч. промышленные зоны замкнутого цикла (*Eco-Town Projects*) [12], межмуниципальные центры переработки с распределением ответственности и схемы логистики и транспортировки вторсырья к переработчикам. Такие меры позволяют повысить загрузку перерабатывающих предприятий, снизить издержки и повысить рентабельность переработки.

Южная Корея за последние три десятилетия совершает настоящий прорыв в области обращения с отходами, перейдя от почти полной зависимости от полигонов к одной из самых эффективных систем раздельного сбора и переработки в мире [13]. Корейский опыт ценен тем, что достигнут в сжатые сроки благодаря решительной государственной политике и активному вовлечению общества – классический пример успешного программно-целевого подхода на национальном уровне. К началу 1990-х гг. Республика Корея сталкивается с быстрой урбанизацией и переполнением свалок. В ответ правительство запускает в 1995 г. революционную меру – систему *Jongnyangje*, известную как политика оплаты за выбрасываемый объем отходов (*Volume-Based Waste Fee*). Согласно этой системе, введенной по всей стране, граждане обязаны разделять свой мусор по категориям и использовать специальные цветные мешки: отдельные для пищевых отходов, для перерабатываемых, для прочего мусора, а крупногабаритные предметы выносятся отдельно. Стоимость утилизации заложена в цену официальных мусорных пакетов для несортированных отходов, т. е. чем больше несортированного мусора выбрасывает домохозяйство, тем больше оно тратит на пакеты. При этом пищевые отходы и вторсырье собираются отдельно практически бесплатно. Эта политика чрезвычайно строгая: за несоблюдение (смешивание отходов или выброс мусора без пакета) установлены штрафы до 1 млн вон (~785 долл.), а граждане поощряются сообщать о нарушителях – за что им может быть выплачено вознаграждение до 235 долл. Таким образом, создан мощный экономический стимул для населения сортировать отходы максимально тщательно.

В сочетании с интенсивной просветительской кампанией данная мера дает поразительные результаты. За время действия программы объем отходов на душу населения сокращается на две трети – уникальный случай, свидетельствующий о влиянии экономического стимулирования и сознательности граждан. Одновременно стремительно расет доля переработки и компостирования: по состоянию на начало 2020-х гг. Республика Корея перерабатывает или компостирует порядка 60 % коммунальных отходов, становясь одним из мировых лидеров по этому показателю. Для сравнения: это почти вдвое выше среднего уровня переработки по *OECD*. Практически полностью решена проблема пищевых отходов: их запрещено отправлять на свалки с 2005 г., вместо этого по всей стране внедрен раздельный сбор пищевых остатков с последующей переработкой в корм или удобрения. В результате рециклинг пищевых отходов увеличивается с 2,6 % в 1996 г. до почти 100 % в 2022 г. Государственное регулирование в Корее поддерживает эти изменения принятием ряда законов и планов. Еще в 1995 г. введен закон «Об ускорении ресурсосбережения и переработки», заложивший основы системы расширенной ответственности производителей и стимулирования переработки. Позднее, в 2008 г., правительство принимает первый Основной план по ресурсному круговороту, а в 2018 г. вступает в силу новый Закон о циркулярных ресурсах (*Resource Circulation Act*), согласно которому установлена национальная цель: к 2027 г. сократить объем отходов, отправляемых на свалки и сжигание, на 20 % и достичь коэффициента 70 %. Для контроля прогресса введены обязательные оотчеты и целевые показатели для местных органов власти. Также введены и экономические меры: например, с 2018 г. действует плата за захоронение и сжигание отходов (*Landfill and Incineration Levy*), которая поэтапно повышается, побуждая города инвестировать в переработку, а не в новые печи или полигоны. При этом южнокорейское правительство не только наказывает за неправильное обращение, но и поощряет правильное. Например, компании, которые развивают переработку, получают налоговые льготы, дешевое финансирование. В стране сформируется целая индустрия переработки, поддерживаемая государством. Ведущие корпорации участвуют в программах утилизации: существуют технологичные комплексы по переработке пластмасс, электронного лома. Кроме того, правительство активно инвестирует в инфраструктуру: построены заводы по переработке пищевых отходов в удобрения и биогаз, современные мусороперерабатывающие центры. Сегодня Южная Корея имеет разветвленную систему: в каждом городе – централизованные пункты сбора вторсырья, автоматизированные комплексы сортировки, около 35 мусоросжигательных заводов с энергетической отдачей, высокотехнологичные полигоны для минимизации вреда от остатков. Южная Корея становится глобальным лидером в отвлечении отходов от полигонов благодаря значительным инвестициям государства в перерабатывающие мощности и самоотверженным усилиям граждан

по повторному использованию отходов. Около 60 % всех бытовых отходов в РК идет на переработку и компостирование, а остальная часть в основном сжигается (порядка 30 %), и лишь около 10 % подлежит захоронению, и эти цифры продолжают улучшаться. Страна ставит новые цели: к 2030 г. планируется сократить образование пластиковых отходов на 50 % и перерабатывать 70 % из них. Корейский опыт особо ценен для стран, где требуется быстрый прогресс: он показывает, что финансовые механизмы могут очень эффективно стимулировать раздельный сбор, если население информировано и вовлечено. Также важен урок, что необходимо параллельно инвестировать в мощности переработки, иначе собранное раздельно некуда будет девать.

Швеция славится тем, что отправляет на полигоны менее 1 % своих коммунальных отходов: практически вся масса мусора либо перерабатывается, либо используется для получения энергии. Такая система складывается благодаря комбинации прогрессивного законодательства ЕС, национальных инициатив и давних традиций рационального природопользования в шведском обществе [14]. Рассмотрим основные черты программно-целевого подхода Швеции к обращению с отходами. Государственное регулирование и цели. Швеция, как член Европейского союза, придерживается целей ЕС – 50 % переработки коммунальных отходов к 2020 г. (цель достигнута) и 65 % к 2035 г. Однако национальные амбиции идут дальше. Еще с 1970-х гг. в стране действуют законы, делающие приоритетом иерархии отходов: предотвращение – повторное использование – переработка – энергетическое использование – захоронение. В 1999 г. Швеция вводит налог на захоронение отходов, а с 2005 г. полностью запрещает захоронение горючих (органических) отходов на свалках. Это законодательное ограничение требует, чтобы все отходы, способные гореть или разлагаться, отправлялись либо в переработку, либо в мусоросжигательные печи, но не на полигоны. Позднее, в 2010-х гг., Швеция также вводит ограничения на захоронение пищевых отходов и других ценных фракций. Таким образом, правовая среда фактически устраняет дешевый вариант «полигона» из уравнения, оставляя только переработку или сжигание. Кроме того, начиная с 1994 г., Швеция вводит несколько программ расширенной ответственности производителей: производители упаковки, газетной бумаги, шин, электроники, батареек и других товаров обязаны либо самостоятельно осуществлять сбор/переработку своей продукции, либо платить взнос. Например, компании, продающие напитки, финансируют систему сбора бутылок и банок. Экономические инструменты дополняют регулирование. Высокий сбор за захоронение делает его невыгодным, а система депозитов на бутылки (*pant*) стимулирует население возвращать тару: сейчас в Швеции более 85 % стеклянных и пластиковых бутылок возвращаются через автоматизированные пункты. Есть примеры муниципальных схем «плати за выброс»: некоторые коммуны устанавливают более низкую плату за меньший контейнер или более редкий вывоз, поощряя жителей компостировать и сортировать больше. Также государство финансирует инновационные решения: например, развитие биогазовых установок для пищевых отходов, что обеспечивает переработку отходов и развитие экологического транспорта, так как биогаз используется как топливо для автобусов). В Швеции действует разветвленная сеть пунктов сбора и переработки, рассчитанная на удобство граждан. По правилу, в каждом жилом районе не далее 300 метров должна находиться станция сбора *recyclables* – контейнеры для бумаги, стекла, пластика, металла, текстиля, опасных отходов и пр. Это ответственность производителей в рамках *EPR*: они финансируют работу этих станций по всей стране. Жители разделяют отходы дома и относят их либо на такие станции, либо в контейнеры на придомовых площадках (система может отличаться в разных муниципалитетах, но вовсю развивается раздельный сбор органических отходов для последующего компостирования). В результате сегодня около половины всех коммунальных отходов Швеции отправляется на переработку или компостирование, а вторая половина – на мусоросжигательные заводы для выработки энергии. На свалки попадает лишь незначительный остаток (зола, инертные материалы) менее 1 %.

Фактически Швеция решает проблему мусорных полигонов: многие свалки закрыты или рекультивированы. Стоит отметить, что Швеция даже импортирует отходы из других стран (Норвегии, Великобритании, Ирландии и др.) – более 1–2 млн т в год – чтобы загрузить свои мощности мусоросжигания и получить дополнительную энергию [14]. В стране работают 32 высокоэффективных завода *Waste-to-Energy*, которые обеспечивают около 20 % тепла для системы централизованного отопления и электроэнергию для сотен тысяч домохозяйств. Это вызывает споры (критикуют, что избыточное сжигание тормозит дальнейший рост рециклинга), однако на текущем этапе шведская модель признана одной из самых экологически безопасных в части сжигания (минимум выбросов, полезная отдача энергии. По данным национального агентства по защите окружающей среды, в 2022 г. на каждого шведа приходится ~395 кг коммунальных отходов, из которых 46 % идет на рециклинг/компост и 52 % на энергетическое использование, захоронается лишь ~1–2 %. Таким образом, 99 % отходов не попадает на

свалки, что часто преподносится как «Швеция перерабатывает 99 % мусора» (имеется в виду совокупно сжигание). Более корректно: около 38–40 % идет на материальную переработку (ниже целей ЕС 50 %, и Швеция работает над этим), но почти все остальное сжигается вместо захоронения. Швеция становится первой, кто перерабатывает почти все люминесцентные лампы. В последние годы страна усиливает упор на предотвращение образования отходов и повторное использование, чтобы продвинуться дальше по «пирамиде отходов». Программно-целевой характер политики Швеции выражен в том, что правительство принимает национальные планы по предотвращению и переработке отходов с конкретными задачами. Например, план к 2025 г.: значительно увеличить раздельный сбор пищевых отходов для производства биогаза, снизить долю пластмасс в остаточном мусоре (заменить одноразовые пластики на многоразовые/биоразлагаемые). Эти планы реализуются через муниципальные программы, финансируемые как из бюджета, так и за счет *EPR*-взносов. Шведский опыт показывает, что совокупность мер – запретительных, стимулирующих и инфраструктурных – при поддержке экологически сознательного общества позволяет практически уйти от захоронения отходов и сделать переработку нормой.

Представляется, что для России тут особенно интересны система ответственности производителей (которую РФ внедряет), механизм близости пунктов сбора (можно стремиться к обеспечению шаговой доступности контейнеров для вторсырья) и успешное использование отходов в энергетике при дефиците других решений. Однако важно учитывать баланс, поскольку слишком большой акцент на сжигание, как признают сами шведы, несет риск недостижения будущих более высоких целей по рециклингу, поэтому сейчас в Швеции обсуждают введение налога на сжигание для стимулирования дальнейшей сортировки.

Нидерланды – страна, которая организовывает систему обращения с отходами, близкую к максимально возможной переработке, несмотря на высокую плотность населения и практически полное отсутствие свободных земель под полигоны. Голландский подход интересен последовательностью и опорой на технологичные решения. Он также отражен в модели из пяти ступеней (*Ladder van Lansink*) – предотвращение, повторное использование, переработка, сжигание, захоронение, принятой еще в 1980-х гг. и лежащей в основе всех целевых программ. Государственная политика Нидерландов в области отходов формируется как ответ на острый кризис свалок в 1980-х гг. Уже тогда запущены первые программы раздельного сбора. К началу 1990-х гг. правительство ставит жесткие цели и применяет экономические рычаги. В 1995 г. Нидерланды вводят тотальный запрет на захоронение без переработки: порядка 35 видов отходов, включая все пригодные для переработки или сжигания, запрещено отправлять на полигоны. Одновременно установлен высокий налог на захоронение оставшихся отходов. Эти меры мгновенно делают свалки нерентабельными и подталкивают муниципалитеты и бизнес к созданию инфраструктуры для сортировки и утилизации. Государство поддерживает строительство нескольких крупных региональных мусороперерабатывающих центров и мусоросжигательных заводов. Так, за вторую половину 1990-х гг. Нидерландами совершен переход от зависимости от полигонов к их сведению к минимуму.

В стране реализуется принцип «загрязнитель платит»: тарифы и налоги выстроены так, чтобы захоронение было самым дорогим вариантом. С другой стороны, компании, инвестирующие в переработку, получили в те годы льготные кредиты, доступ к государственным программам. Уже давно действует система *EPR* для упаковки: производители и импортеры платят экологический сбор, за счет которого финансируется сбор и рециклинг упаковочных материалов. Благодаря этому около 80 % стекла, 75 % бумаги и картона, 50–60 % пластиковой упаковки в Нидерландах возвращаются во вторичный цикл. Муниципалитеты повсеместно внедряют раздельный сбор основных фракций у домовладений [15]. Инфраструктура Нидерландов по переработке включает крупные заводы по сортировке и переработке вторсырья (в т. ч. один из крупнейших в Европе комплексов по переработке пластика), несколько высокоэффективных мусоросжигательных заводов и лишь несколько полигонов. Общий объем образования ТКО – около 9,2 млн т в год, из которых, по данным правительства, около 70–80 % утилизируется или перерабатывается. Это включает как материальную переработку, так и энергетическую утилизацию. Почти все остальное сжигается; на захоронение отправляются считаные проценты (в основном зола и неперерабатываемые остатки). В отличие от Швеции, в Нидерландах делают упор больше на рециклинг, чем на сжигание: больше половины отходов превращается именно в новые материалы. Остальная часть идет на энергетические заводы, которые тоже не простаивают, так как Нидерланды, подобно Швеции, импортируют около 1 млн т отходов ежегодно из соседних стран для загрузки своих *WtE*-мощностей. Страна занимает лидирующие места в ЕС по этим показателям. Нидерланды провозглашают цель стать к 2050 г. полностью циркулярной экономикой (*Circular Economy*), а к 2030 г. наполовину сократить использование первичного сырья. Для этого планируется дальнейшее закрытие

оставшихся полигонов и даже сокращение доли сжигания отходов, поскольку в идеале максимум материалов должен возвращаться в цикл в виде сырья. Национальная программа «*A Circular Netherlands by 2050*» [16] содержит множество целевых показателей и инициатив: от экодизайна товаров до увеличения доли повторно переработанного пластика в продукции. Одной из мер является, например, расширение депозитной системы: с 2021 г. введен залог на маленькие пластиковые бутылки, а с 2023 г. – на алюминиевые банки, чтобы повысить их сбор и переработку. Также правительство инвестирует в новые технологии (химический рециклинг пластмасс, производство биоматериалов). Таким образом, Нидерланды проходят путь от страны с серьезными мусорными проблемами к почти безотходной системе для ТКО, опираясь на комбинацию жестких запретов, экономических стимулов и технологических решений. Их опыт показывает, насколько важна политическая последовательность. Для России голландский опыт особенно поучителен в части законодательного запрета захоронения перерабатываемых отходов – мера, которая может показаться радикальной, но именно она заставляет создать отрасль переработки практически с нуля. Кроме того, пример Нидерландов подчеркивает значение кластерного подхода: вместо множества мелких свалок – несколько крупных высокотехнологичных центров переработки, что более управляемо и экологично.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ российского и зарубежного опыта позволяет выявить общие факторы, способствующие успешной реализации программно-целевого подхода к переработке отходов, а также типичные барьеры и проблемы, с которыми сталкиваются страны на этом пути. Ключевые факторы успеха: сильная государственная политика и приоритетность проблемы. Все рассмотренные страны сделали управление отходами приоритетом на высоком уровне, закрепив это в стратегиях и законах. Успех программ переработки непосредственно зависит от последовательности действий государства – от установления ясных целей до стимулирования и контроля их достижения. Там, где правительство создает четкие правила (запреты на свалки, обязательный раздельный сбор, тароматные системы и пр.) и поддерживает инициативы (субсидии, инвестпроекты), реформа идет намного быстрее. Российская политика последних лет также демонстрирует политическую волю в виде национального проекта и новых законов – это создает основу для прогресса.

В зарубежном опыте прослеживается закономерность: переработка отходов становится успешной, когда она экономически поощрена и выгодна. В Германии и Швеции – высокие платежи за захоронение сделали переработку конкурентоспособной; в Южной Корее – оплата за мешки мотивирует экономить на мусоре; в Нидерландах – запрет и налог на полигон вытолкнули инвестиции в сортировку. Кроме того, механизм расширенной ответственности производителей во всех этих странах вовлекает бизнес: частные компании инвестируют в переработку, когда их обязывают платить за неутилизированный отход. Таким образом, предпринимательская инициатива и инновации становятся частью решения (например, японские корпорации, наладившие переработку электроники ради извлечения драгоценных металлов). В России пока экономическая модель отрасли выстраивается: повышение экосборов, субсидирование инфраструктуры через РЭО, привлечение концессий. Преодоление убыточности переработки и создание рынка вторсырья – критически важный фактор успеха.

Отметить следует, что ни одна целевая программа обращения с отходами не заработает без поддержки со стороны общества. Гражданское самосознание и готовность участвовать в раздельном сборе – мощный фактор, наблюдаемый во всех успешных практиках. Этому способствуют многолетнее просвещение, прозрачность системы и удобство инфраструктуры. В России вовлеченность населения растет, но остается барьером отсутствие доверия – известны случаи, когда даже отсортированные жителями отходы потом сваливались вместе. Преодоление этого и воспитание экопривычек – задача программ экологического просвещения, уже начатых, но требующих усиления.

Программно-целевые установки должны подкрепляться реальными объектами переработки. Фактически, инфраструктура – каркас любого нацпроекта по отходам. Страны, добившиеся высоких показателей, вложили значительные средства (государственные и частные) в создание заводов, логистики, технологий переработки. Инновации также играют роль – новые методы позволяют утилизировать то, что раньше шло в отходы (пример: в Нидерландах научились перерабатывать даже использованную туалетную бумагу в техногрунт). В России дефицит инфраструктуры – один из главных сдерживающих факторов, признанный официально. Несмотря на построенные 250 новых объектов, их суммарной мощности пока недостаточно, чтобы достичь целей 2030 г. Без наращивания мощностей, оснащенных современным оборудованием, программные цели останутся на бумаге. Кроме факторов успеха, можно

выделить типичные барьеры при реализации программно-целевого подхода.

1. Недостаточность нормативно-правовой базы. Так, в России до недавнего времени не было обязательных требований к раздельному сбору и достаточных штрафов за несоблюдение. Отсутствие запрета на захоронение пригодных к переработке отходов и мягкие санкции за нелегальные свалки приводят к тому, что проще было выбросить, чем переработать. Этот барьер постепенно устраняется новыми нормами, но все еще актуален на местном уровне.

2. Финансово-экономические барьеры (недостаток инвестиций, долгая окупаемость проектов, низкие тарифы, высокие капитальные затраты на строительство заводов) препятствуют мотивации. Переработка отходов во многих случаях дороже, чем их захоронение, если не введены экономические стимулы. В России, например, исторически стоимость захоронения была крайне низкой, а тарифы населения субсидировались, из-за чего у предприятий не было мотивации вкладываться в переработку – это классический рыночный провал. В других странах эту проблему решили либо постепенным повышением платы и доходов населения (как в Корее, где платежеспособность выросла вместе с тарифами), либо бюджетной поддержкой отрасли.

3. Рынки сбыта вторсырья должны иметь регулирование, ереработанный материал должен кому-то продаваться. Если нет спроса (например, вторичный пластик стоит дороже первичного), то переработка буксует. Такая глобальная проблема обычно решается квотами на содержание вторсырья в товарах, «зелеными» закупками, развитием перерабатывающих производств, стимулированием *R&D* для улучшения качества вторсырья.

4. Препятствиями выступают географические и логистические барьеры. В большой стране с неоднородным расселением (как Россия) сложно одинаково охватить инфраструктурой все территории. Отдаленные регионы сталкиваются с дорогой логистикой вывоза вторсырья к переработчикам, что делает эффективность проектов отрицательной. Также суровые климатические условия осложняют некоторые технологии (компостирование зимой и т. п.). Решением видится организация работ и мероприятий в рамках программ, например, создание межрегиональных кластеров обращения с отходами, чтобы несколько соседних субъектов делили нагрузку на один крупный завод; или развитие локальных низкотехнологичных методов (сжигание с генерацией тепла для местных нужд.

5. Социальные аспекты играют немаловажное значение при строительстве перерабатывающих заводов. Иногда имеет место откровенное сопротивление: феномен *NIMBY* («не в моем дворе») – протесты против строительства перерабатывающих комплексов или мусоросжигательных заводов поблизости. Это серьезный барьер, задерживающий реализацию программ. Программно-целевой подход должен учитывать такие риски на стадии планирования – проводить общественные обсуждения, просвещение, показывать преимущества. Зарубежный опыт показывает, что прозрачность и диалог с гражданами снижают этот барьер: в Швеции население не против *WtE*-заводов, потому что доверяют технологиям и видят выгоду (тепло в дома).

6. Внедрение программ может тормозиться бюрократией, недостаточной координацией между ведомствами или уровнями власти. В России с введением региональных операторов часть этих проблем решилась (появился ответственный субъект), но остро стоит вопрос контроля деятельности регоператоров со стороны государства и общественности, а также взаимодействия между разными регионами.

Выводы. 1. Таким образом, успех программно-целевого подхода определяется наличием политической воли, экономических драйверов и вовлеченностью всех стейкхолдеров: от бизнеса до домохозяйств. Барьеры же чаще всего возникают из-за отсутствия одного из этих компонентов либо из-за объективных ограничений (ресурсных, технологических). Понимание этих факторов важно для разработки реалистичных и эффективных рекомендаций, адаптированных к условиям России.

2. На основе проведенного анализа можно предложить ряд рекомендаций, которые помогут усилить программно-целевой подход в управлении отходами в России, адаптируя лучшие зарубежные практики к отечественным реалиям: совершенствование нормативной базы и установление четких целевых нормативов. Необходимо законодательно закрепить прогрессивные нормы, аналогичные европейским.

Список литературы

1. *Указ* Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

2. *Заседание* Совета по стратегическому развитию и национальным проектам. 05.12.2024. // Президент России. URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/75762.

3. *Уровень* обработки и утилизации ТКО в России по итогам первого полугодия 2023 года составил 52,9 % и 12,6 % // ТБО Новости отрасли. URL: https://news.solidwaste.ru/2023/07/uroven-obrabotki-i-utilizatsii-tko-v-rossii-po-itogam-pervogo-polugodiya-2023-goda-sostavil-52-9-i-12-6/?utm_source.com.

4. *Мусинова Н. Н*. Актуальные проблемы в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2025. № 2 (2). С. 233–238.

5. *Fedorova I. Y., Prokofiev M. N., Moroz V. V.* et al. Planar dynamic model of public interaction between official and hidden economy // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. № 13. Pp. 1114–1121.

6. *Мусинова Н. Н*. Зарубежный и отечественный опыт обращения с твердыми коммунальными отходами // Вестник Алтайской академии экономики и права. № 12. 2024. С. 94–98.

7. *Directive* (EU) 2018/851 amending Directive 2008/98/EC on waste. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705

8. *Федеральная* программа по экономике замкнутого цикла, четыре миллиарда на защиту естественного климата, трюфельные водоросли как суперпродукт // Squirrel News. URL: https://squirrel-news.net/de/news/bundesprogramm-fuer-kreislaufwirtschaft-vier-milliarden-fuer-natuerlichen-klimaschutz-trueffeltang-als-superfood/.

9. *Fourth* Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society (2018). URL: https://www.env.go.jp/content/900453386.pdf.

10. *Act* on the Promotion of Effective Utilization of Resources No. 48 of19. URL: https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3819/en?utm_source.com.

11. *Basic* Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society. URL: https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3799.

12. *Ministry* of the Environment, Japan – SMCS site - URL: https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/index.html.

13. *South* Korea, recycling and composting leader (2022) // WhatIsMissing.org. URL: https://www.whatismissing.org/content/south-korea-global-leader-in-sustainable-waste-management-initiatives#:~:text=its%20plastic%20waste%20by%2050,in%202022.

14. *Sweden* Recycling Rate Nears 100% // Harmony1.com. URL: https://harmony1.com/sweden-recycling-rate/#:~:text=plastic%2C%20metal%2C%20glass%2C%20light%20bulbs%2C,this%C2%A0spins%20generator%20turbines%20to%20produce.

15. *Taking* waste to the Milieustraathttps // Omrin. URL: //www.omrin.nl/en/omrin-english-contentpages/taking-waste-to-the-milieustraat?utm_source.

16. *A Circular* Economy in the Netherlands by 2050. URL: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/17037circulaireeconomie_en.pdf.

References

1. *O nacional'nyh celjah razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda* [On the National Development Goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036]. Decree of the President of the Russian Federation no. 309 dated 07.05.2024.

2. Meeting of the Council for Strategic Development and National Projects. 05.12.2024. *kremlin.ru*, available at: http://www.kremlin.ru/events/president/news/75762.

3. The level of MSW treatment and disposal in Russia in the first half of 2023 was 52,9 % and 12,6 %. *Solid Waste*, available at: https://news.solidwaste.ru/2023/07/uroven-obrabotki-i-utilizatsii-tko-v-rossii-po-itogam-pervogo-polugodiya-2023-goda-sostavil-52-9-i-12-6/?utm_source.com.

4. Musinova N. N. Actual problems in the field of municipal solid waste management. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2025, no. 2 (2), pp. 233–238.

5. Fedorova I. Y., Prokofiev M. N., Moroz V. V. et al. Planar dynamic model of public interaction between official and hidden economy // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. No. 13. pp. 1114–1121.

6. Musinova N. N. Foreign and domestic experience in solid municipal waste management. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2024, no. 12, pp. 94–98.

7. *Directive (EU) 2018/851 amending Directive 2008/98/EC on waste*, available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF /?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705.

8. Federal program for the closed-loop economy, four billion for the protection of the natural climate, truffle algae as a superfood. *Squirrel News*, available at: https://squirrel-news.net/de/news/bundesprogramm-fuer-kreislaufwirtschaft-vier-milliarden-fuer-natuerlichen-klimaschutz-trueffeltang-als-superfood/.

9. *Fourth Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society (2018)*, available at: https://www.env.go.jp/content/900453386.pdf.

10. *Act on the Promotion of Effective Utilization of Resources no. 48 of19*, available at: https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3819/en?utm_source.com.

11. *Basic Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society* , available at: https://www.japaneselawtranslation.go.jp/en/laws/view/3799.

12. *Ministry of the Environment, Japan – SMCS site*, available at: https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/index.html.

13. «South Korea, recycling and composting leader» (2022). *WhatIsMissing.org* available at: https://www.whatismissing.org/content/south-korea-global-leader-in-sustainable-waste-management-initiatives#:~:text=its%20plastic%20waste%20by%2050,in%202022.

14. Sweden Recycling Rate Nears 100 %. *Harmony1.com*, available at: https://harmony1.com/sweden-recycling-rate/#:~:text=plastic%2C%20metal%2C%20glass%2C%20light%20bulbs%2C,this%C2%A0spins%20generator%20turbines%20to%20produce.

15. Taking waste to the Milieustraathttps. *Omrin*, available at: //www.omrin.nl/en/omrin-english-contentpages/taking-waste-to-the-milieustraat?utm_source.

16. *A Circular Economy in the Netherlands by 2050*, available at: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/17037circulaireeconomie_en.pdf.

ОБЗОР

УДК 656.073.235
Т. Н. САКУЛЬЕВА, канд. экономич. наук (ГУУ, г. Москва)
E-mail: sakulyeva_tn@mail.ru
T. N. Sakulyeva (State University of Management, Moscow)

Классификация и типология цепей поставок

Classification and typology of supply chains

Выделены признаки классификация цепей поставок. По выделенным признакам проведена классификация цепей поставок. Проанализированы принципы управления цепями поставок. Комплексный подход позволяет создавать гибкие и устойчивые цепочки поставок. Принципиальное различие между типами цепочек заключается именно в Количество вовлеченных сторон и степени сложности управления материальными и информационными потоками определяет принципиальное различие между типами цепей поставок, что напрямую влияет на эффективность всей системы поставок в условиях динамичной рыночной среды

The article highlights the features of supply chain classification. Based on these features, the supply chains have been classified. The principles of supply chain management have been analyzed. A comprehensive approach allows for the creation of flexible and sustainable supply chains. The fundamental difference between the types of supply chains lies in the number of parties involved and the complexity of managing material and information flows. This difference directly affects the efficiency of the entire supply system in a dynamic market environment.

Ключевые слова: цепи поставок; распределение товаров; логистическая цепь; структура; распределительные центры.

Keywords: supply chains; product distribution; logistics chain; structure; and distribution centers.

На сегодняшний день существует большое количество классификаций цепей поставок, для полноценного анализа теоретических аспектов следует рассмотреть основные виды поставок.

1. Первым классификационным признаком необходимо выделить структуру поставок по количеству уровней поставщиков и потребителей. Существует три подвида, первый «Прямая цепь поставок» включает в себя взаимодействие между производителем, поставщиком первого уровня и потребителем первого уровня. Вторым подвидом является «Расширенная цепь поставок», которая состоит из производителя, поставщика первого уровня, потребителя первого уровня, поставщика второго уровня и производителя второго уровня. Третий и заключительный подвид классифицируется как «Максимальная цепь поставок», состоящей из производителя, всех контрагентов, всех сетей распределений и различных посредников [1].

2. Следующей разновидностью стоит выделить классификацию по типу производимой продукции. Первой составляющей является цепь поставок товаров. Второй составляющей является цепь поставок услуг, включающей в себя перевозки, хранение, оформление документов, ремонтные работы, страхование, гарантийное обслуживание и другие услуги.

3. Третья разновидность зависит от территориальной принадлежности, в зависимости от географического расположения различают три принадлежности. Региональная цепь поставок – все звенья расположены и взаимодействуют на территории одно региона. Межрегиональные цепи поставок – все звенья расположены в пределах одного государства. Международные цепи поставок – звенья расположены на территориях нескольких стран.

4. Четвертая классификация формируется по типу политики распределения товаров, включающая четыре разновидности:

- цепи поставок с интенсивным распределением формируются для распределения товаров повседневного спроса;
- цепи поставок с выборочным распределением, число посредников ограничено за счет предъявления к ним дополнительных требований: каче-

ству обслуживания, дополнительному сервису и логистике;
- цепи поставок с эксклюзивным распределением формируются для распределения дорогих товаров известных брендов, характеризующихся высокой степенью лояльности потребителей;
- цепи поставок со смешанным распределением.

5. По направлению движений потоков различают два кластера, прямые (от производителя к потребителю) и обратные цепи поставок (от потребителя обратно к производителю).

6. Шестым типом необходимо выделить цепи поставок по периодичности: постоянные, периодические и разовые цепи поставок.

7. Цепи поставок по стандартности/инновационности продукции. Первым видом являются «бережливые цепи поставок» для стандартной продукции на существующих рынках. Вторым видом являются «клиентоориентированные цепи поставок» для относительно инновационной продукции на новых рынках. Заключительным типом являются «инновационные цепи поставок» для самой инновационной продукции на новейших рынках.

8. По отношению к внутренней среде предприятия цепи различают на внутренние и внешние. Внутренние цепи поставок состоят из различных подразделений компании, в то время как внешние состоят из сети организаций, осуществляющих взаимосвязь с центральной компанией.

9. По типу объема поставок выделяют штучные, партионные и массовые цепи поставок.

10. По способу транспортировки поставок выделяют унимодальные перевозки, которые осуществляются одним транспортом и интермодальные, которые осуществляются двумя или более транспортными средствами.

Подводя итог, необходимо подчеркнуть, что успешное проектирование и управление цепями поставок требует четкой идентификации их типа уже на начальном этапе анализа. Как показывает практика, в современных логистических системах параллельно функционируют разнообразные виды цепей поставок, каждый из которых обладает уникальными характеристиками и требует особого подхода к управлению.

Подавляющее большинство товаров, поступающих к конечному покупателю, производятся благодаря слаженной работе множества компаний. Совокупность этих взаимосвязанных организаций и формирует цепь поставок.

Несмотря на то, что цепочки поставок как система существуют уже много десятилетий, большинство компаний фокусируется лишь на внутренних процессах. Лишь единицы осознают важность управления всей цепочкой в целом. Такой узкий подход приводит к разобщенности и снижению эффективности [2].

Современная *SCM* представляет собой сложную систему взаимосвязанных организаций, объединенных материальными и информационными потоками. Материальные потоки охватывают все этапы физического перемещения продукции, формируя видимую основу всей цепочки. Однако не менее важную роль играют информационные потоки, которые обеспечивают слаженную работу всех участников. Это позволяет согласовывать долгосрочные стратегии, оперативно управлять текущими поставками и своевременно реагировать на изменения спроса.

Географически распределенная структура цепочек поставок включает множество объектов различного назначения, такие как закупочные центры; производственные мощности; распределительные склады и логистические узлы, соединенные разветвленной сетью транспортных маршрутов (см. рис. 1). Каждый элемент этой системы выполняет свою функцию в общем процессе преобразования сырья в готовую продукцию и ее доставки потребителям. При этом эффективность всей цепи зависит от слаженного взаимодействия всех ее звеньев, что требует не только хорошо отлаженных материальных потоков, но и четкой системы информационного обмена между всеми участниками. Именно такой комплексный подход позволяет создавать гибкие и устойчивые цепочки поставок, способные оперативно адаптироваться к изменениям рыночных условий[3].

Эти объекты включают в себя производственные предприятия, распределительные центры, склады, рынки и другие элементы логистической инфраструктуры. Производственные предприятия, такие как заводы и фабрики, отвечают за физическое преобразование сырья и материалов в готовую продукцию. Распределительные центры выполняют функции приема, сортировки, хранения и отправки продукции, но не занимаются ее физическим преобразованием. Кроме того, существуют смешанные объекты, которые сочетают в себе функции производства и распределения, например, заводы с возможностями дистрибуции или склады с элементами производственных линий.

На практике цепи поставок редко имеют линейную структуру. Чаще они формируют сложные сети, где каждый участник может быть связан с несколькими другими, создавая многоуровневую систему взаимодействий.

Например, сырье может поступать от множества поставщиков к нескольким производителям, которые, в свою очередь, передают готовую продукцию в распределительные центры, а оттуда она распределяется по розничным точкам или конечным потре-

Рис. 1. Структура логистической цепи

бителям. Такая сеть может включать в себя четыре и более уровня участников, что усложняет управление потоками, но одновременно повышает гибкость и устойчивость системы [4].

SCM демонстрирует различную степень сложности своей организации, что позволяет выделить три основных типа структур.

Наиболее простой формой является прямая цепочка, представляющая собой элементарную систему, состоящую из трех звеньев, а именно: поставщик сырья или комплектующих, фокусная компания и конечный потребитель. Такая линейная структура характерна для локальных бизнес-процессов с минимальным количеством операций. Однако в условиях глобализации и усложнения производственных связей появляются более разветвленные конфигурации. Расширенные и максимальные цепочки, включающие множество дополнительных участников. Эти сложные системы требуют выстроенных механизмов координации и отличаются большей глубиной интеграции бизнес-процессов. Принципиальное различие между типами цепочек заключается именно в количестве вовлеченных сторон и степени сложности управления материальными и информационными потоками, что напрямую влияет на эффективность всей системы поставок в условиях динамичной рыночной среды [3, 5]. Типы цепей поставок представлены на рис. 2.

Прямая структура характерна для небольших предприятий или локальных рынков, где взаимодействие между участниками минимально. Расширенная цепь поставок включает дополнительных участников, таких как поставщики поставщиков и потребители потребителей.

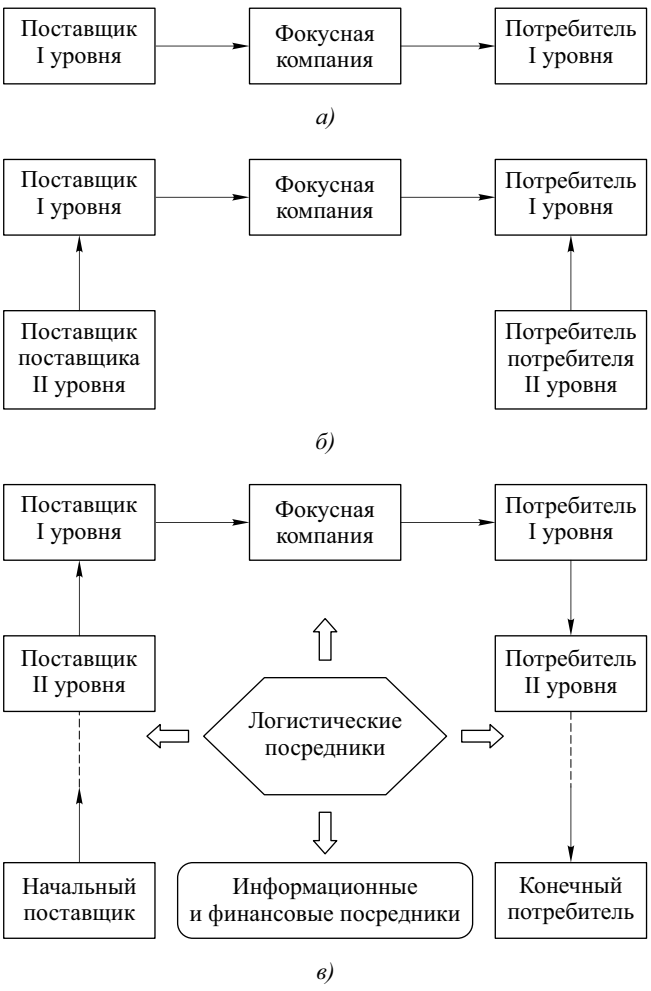


Рис. 2. Прямая (*а*), расширенная (*б*) и максимальная (*в*) цепи поставок

Подводя итог вышесказанному, стоит отметить, что при анализе и проектировании цепей поставок и последующем управлении ими следует первона-

чально определить вид цепей поставок. Реалии практической деятельности определяют существование множества видов цепей поставок в рамках одной логистической системы.

Список литературы

1. *Мадера А. Г.* Управление сетями и цепями поставок моделирование и оптимизация бизнес–процессов и цепей поставок при неопределенности // Интегрированная логистика. 2015. № 1. С. 2–4.

2. *Ульянова Н. Н., Доценко И. Г., Борисова Е. Ю.* Развитие технологического суверенитета России: стратегия перехода к инновационной экономике // Фундаментальные исследования. 2020. № 8. С. 137–143.

3. *Вдовина С. Б.* Проектирование и внедрение интегрированных цепей поставок как фактор экономической безопасности предприятия // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы: материалы II междунар. конф. Н. Новгород: 2014. С. 365–371.

4. *Смирнова Е. А.* Управление цепями поставок в международной торговле. СПб: 2018. 74 с.

5. *Шехтер Д., Сандер Г.* Логистика. Искусство управления цепочками поставок. М.: Претекст. 2008. 230 с.

References

1. Madera A. G. Supply Chain and Network Management: Modeling and Optimization of Business Processes and Supply Chains under Uncertainty. *Integrated Logistics*, 2015, no. 1, pp. 2–4.

2. Ulyanova N. N., Dotsenko I. G., Borisova E. Yu. Development of Russia's Technological Sovereignty: Strategy for the Transition to an Innovative Economy. *Fundamental Research*, 2020, no. 8, pp. 137–143.

3. Vdovina S. B. Design and Implementation of Integrated Supply Chains as a Factor in Enterprise Economic Security. *Economic Security of Russia: Problems and Prospects: Proceedings of the II International Conf*. Nizhny Novgorod, 2014, pp. 365–371.

4. Smirnova E. A. *Upravlenie cepjami postavok v mezhdunarodnoj torgovle* [Supply Chain Management in International Trade]. St. Petersburg, 2018, 74 p.

5. Shekhter D., Sander G. *Logistics. The Art of Supply Chain Management*. Moscow, Pretext, 2008, 230 p.

УДК 339.9:656.073

ЛЮ ЮША (БГУ, г. Баку, Азербайджан)
E-mail:
Liu Yousha (Baku State University, Baku, Azerbaijan)

Развитие инфраструктуры Среднего коридора и ее влияние на трансграничное сотрудничество Китая и Азербайджана в Евразии

Development of the middle corridor infrastructure and its impact on cross-border cooperation between China and Azerbaijan in Eurasia

Рассматривается стратегическая роль Среднего коридора в трансформации евразийской транспортной логистики и укреплении китайско-азербайджанского сотрудничества. На основе анализа инфраструктурных проектов, статистических данных и прогнозов Всемирного банка выявлены экономические, политические и региональные эффекты развития маршрута. Особое внимание уделено роли Азербайджана как транспортного хаба, участию Китая в инвестиционных инициативах, а также вызовам, связанным с инфраструктурой и геополитической конкуренцией.

This article examines the strategic role of the Middle Corridor in transforming Eurasian transport logistics and strengthening China–Azerbaijan cooperation. Based on the analysis of infrastructure projects, statistical data, and World Bank forecasts, the study identifies the economic, political, and regional effects of the corridor's development. Special attention is given to Azerbaijan's role as a transport hub, China's participation in investment initiatives, and the challenges related to infrastructure and geopolitical competition.

Ключевые слова: Средний коридор; Азербайджан; Китай; транзит; транспортная дипломатия; евразийская интеграция.

Keywords: Middle Corridor; Azerbaijan; China; transit; transport diplomacy; Eurasian integration.

В условиях глубокой трансформации мировой транспортно-логистической архитектуры особое значение приобретают региональные инфраструктурные инициативы, направленные на диверсификацию маршрутов и укрепление экономической взаимозависимости государств. В последние десятилетия на

пространстве Евразии формируется новая транспортная география, в рамках которой Средний коридор становится стратегическим звеном, соединяющим Восток и Запад [1]. В отличие от традиционных маршрутов, проходящих через Россию или Иран, Средний коридор обеспечивает альтернативный путь для грузоперевозок, что делает его важным элементом в системе обеспечения устойчивости международных цепочек поставок.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что развитие Среднего коридора не только повышает транзитный потенциал региона, но и оказывает прямое влияние на характер трансграничного взаимодействия отдельных государств. Для Китая он открывает возможность укрепления инициативы «Один пояс, один путь» за счет диверсификации маршрутов и снижения транспортных рисков. Для Азербайджана, располагающего стратегическим положением на пересечении транспортных путей, модернизация инфраструктуры становится инструментом реализации амбициозной стратегии превращения страны в ключевой логистический и энергетический хаб [2]. В результате взаимодействие Китая и Азербайджана приобретает многоплановый характер, затрагивая экономическую, политическую и региональную сферы.

Цель данной работы – исследование того, каким образом развитие инфраструктуры Среднего коридора влияет на трансграничное сотрудничество Китая и Азербайджана. Для достижения этой цели предполагается рассмотреть, как теоретико-методологические подходы к изучению транспортных коридоров и трансграничного взаимодействия, так и практическое измерение реализации конкретных проектов. Такой подход позволяет выявить взаимосвязь между транспортной дипломатией, институциональными механизмами и политико-экономическим сотрудничеством двух государств.

Научная новизна работы состоит в осмыслении Среднего коридора не только как транспортного маршрута, но и как инструмента внешнеполитического позиционирования, а также фактора евразийской интеграции. В отличие от большинства исследований, сосредоточенных преимущественно на экономической составляющей, данная статья анализирует транспортный коридор в комплексном измерении как элемент стратегического взаимодействия, в котором переплетаются экономические интересы, геополитические расчеты и региональные интеграционные процессы. Таким образом, статья призвана внести вклад в научное осмысление роли инфраструктурных проектов как факторов международного сотрудничества и регионального развития.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа исследования опирается на междисциплинарный подход, объединяющий направления политической географии, международной экономики и транспортной логистики. В исследовании применяются общенаучные методы анализа, синтеза, обобщения и сравнительно-исторический подход, а также специальные методы, включая контент-анализ стратегических документов, статистическую обработку данных, предоставленных Всемирным банком и Ассоциацией Транскаспийского международного транспортного маршрута, и кейс-анализ ключевых инфраструктурных проектов, реализуемых на территории Азербайджана. Комплексное применение данных методов позволяет выявить динамику и особенности влияния Среднего коридора на развитие трансграничного сотрудничества между Китаем и странами Каспийского региона.

Изучение международных транспортных коридоров в Евразии в последние годы значительно активизировалось. В центре внимания исследователей оказываются не только экономические, но и геополитические, институциональные и социальные аспекты развития маршрутов «Восток–Запад». Современные публикации позволяют выделить несколько ключевых направлений анализа, вместе с тем обнаруживая пробелы.

Во-первых, важное место в научной дискуссии занимает проблема конкурентоспособности евразийских транспортных маршрутов. Цветков, Зоидов и Медков подчеркивают, что развитие грузовой базы транспортных коридоров зависит от сочетания экономических и политических факторов, включая контейнеризацию перевозок, геополитическую конкуренцию и национальные стратегии транзитных государств [3].

Во-вторых, в центре внимания исследователей оказывается роль транспортных коридоров в Центральной Азии. Жильцов показывает, что участие стран региона в проектах международных маршрутов направлено на преодоление географической удаленности от мировых рынков и интеграцию в глобальные цепочки поставок [4]. Автор отмечает особое внимание Китая и ЕС к Транскаспийскому международному транспортному маршруту, что подтверждает его стратегический характер. Однако исследование сосредоточено на макрорегиональном уровне и не дает детального анализа китайско-азербайджанского сотрудничества.

Третье направление связано с изучением транспортных коммуникаций в Каспийском регионе. Зуенко подчеркивает, что несмотря на активизацию дискуссий о диверсификации маршрутов после 2022 г.,

реальное развитие инфраструктуры сопряжено с высокими издержками, а проекты во многом зависят от участия внешних игроков [5]. При этом ключевую роль в поддержании устойчивости маршрутов играет Россия, что оставляет вопрос о практической реализуемости Среднего коридора открытым.

Аналогичный вывод делает Аббасалиев, рассматривая международные транспортные коридоры как новый механизм сотрудничества в условиях глобальной турбулентности [6]. Он подчеркивает важность интеграции транспортных систем Каспийского региона и указывает на роль Азербайджана в укреплении транзитного потенциала. Однако в работе делается акцент на институциональных и концептуальных основах, без подробного анализа влияния конкретных инфраструктурных проектов на двусторонние связи.

Отдельного внимания заслуживают исследования, посвященные Зангезурскому коридору. Агаев показывает, что этот маршрут приобретает стратегическое значение для региональных и мировых держав, включая Китай, Россию и Азербайджан [7]. Он связывает его с инициативой «Один пояс, один путь» и Средним коридором, что позволяет рассматривать Азербайджан как ключевого участника транспортной дипломатии Пекина. В то же время работа сосредоточена в бóльшей степени на международной политике, чем на практическом измерении сотрудничества.

Таким образом, существующая научная литература демонстрирует высокую актуальность изучения Среднего коридора, но в ней сохраняются пробелы. Большинство исследований сосредоточено на макрорегиональном измерении Центральной Азии, Каспии, России и ЕС. При этом недооценено значение двустороннего сотрудничества Китая и Азербайджана, которое фактически определяет успешность проектов в рамках Среднего коридора. Недостаточно изучены и конкретные кейсы порт Алят, железная дорога Баку–Тбилиси–Карс, энергетические и логистические узлы, которые становятся ключевыми драйверами развития инфраструктуры. Заполнение этих пробелов позволит не только расширить теоретические представления о транспортной дипломатии и инфраструктурном регионализме, но и дать практическую оценку перспектив Среднего коридора как фактора углубления китайско-азербайджанского сотрудничества и евразийской интеграции.

Средний коридор (*TITR*) в последние годы превращается в ключевое звено евразийской логистики. Его значение усиливается на фоне геополитической турбулентности и необходимости диверсификации сухопутных маршрутов между Китаем и Европой. В 2022 г. контейнерный трафик по маршруту вырос на 33 % по сравнению с предыдущим годом, что стало прямым отражением смещения грузопотоков в обход российских путей транзита.

Для Китая Средний коридор представляет собой стратегический инструмент в рамках инициативы «Один пояс, один путь», обеспечивающий снижение зависимости от Северного маршрута и повышение устойчивости внешнеэкономических связей. Азербайджан, в свою очередь, реализует долгосрочную стратегию превращения страны в транспортный хаб. Центральным элементом инфраструктуры выступает порт Алят, способный перерабатывать до 15 млн т грузов и 100 тыс. контейнеров в год [8]. В 2022 г. его использование обеспечивает заметный рост транзитных операций, что напрямую способствует увеличению товарооборота Азербайджана более чем на 70 % по сравнению с докризисным периодом.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительный анализ альтернативных маршрутов демонстрирует специфику Среднего коридора. Для иллюстрации логистических характеристик ключевых евразийских маршрутов приведена таблица, отражающая различия по протяженности, срокам доставки, тарифам и геополитическим рискам. Северный коридор через Россию и Беларусь ранее обеспечивал свыше 80 % перевозок Китай–ЕС, позволяя доставлять грузы за 15–18 дней. Южный маршрут через Иран и Турцию ограничен политическими рисками и инфраструктурными барьерами. Средний коридор пока уступает по скорости и стоимости: среднее время доставки в 2022 г. составляет 50–53 дня, а множественность перегрузок повышает тарифы. Тем не менее, политическая устойчивость и поддержка со стороны международных финансовых

Таблица

Сравнительные параметры евразийских транспортных коридоров

Параметр	Северный коридор (через РФ)	Средний коридор (через Кавказ)	Южный коридор (через Иран)
Протяженность маршрута, км	11 000–12 000	6500–7000	9000–9500
Время в пути, дн	15–18	50–53 → 25–28	18–22
Стоимость перевозки, *USD/TEU*	6000–8000	4000–5500	5500–6500
Геополитические риски	Высокие (санкции, СВО)	Умеренные	Умеренно высокие
Надежность маршрута	Снижается	Укрепляется	Ограничена инфраструктурой

институтов формируют его долгосрочные конкурентные преимущества.

Табличные данные демонстрируют ключевые преимущества и ограничения Среднего коридора. Хотя в 2022 г. он уступает Северному маршруту по времени доставки, к 2030 г. предполагается значительное сокращение сроков транзита более чем в два раза. При этом протяженность маршрута в среднем на 30–40 % короче, а тарифы на 20–25 % ниже при сопоставимых логистических условиях [9].

Существенным фактором конкурентоспособности выступает снижение геополитических рисков: в условиях санкционного давления и нестабильности в России грузоотправители стремятся к диверсификации направлений, что играет на пользу маршруту через Кавказ. Укрепление надежности за счет модернизации инфраструктуры, цифровизации и международной поддержки трансформирует Средний коридор из вспомогательной логистической оси в стратегическую артерию Евразии.

Прогнозы Всемирного банка указывают на трехкратный рост грузопотока по маршруту к 2030 г. до 11 млн т, из которых около 4 млн т составят контейнерные грузы. В товарной структуре ожидается сокращение доли сырья с 60 до 53 % и одновременный рост перевозок продукции с высокой добавленной стоимостью, включая машиностроение, химию и продовольствие. При успешной реализации инфраструктурных проектов время доставки может сократиться почти вдвое, что укрепит позицию Среднего коридора как ключевого инструмента транспортной дипломатии и региональной интеграции.

Инфраструктурное развитие Азербайджана в рамках Среднего коридора (*TITR*) приобретает все более выраженное значение не только как часть национальной стратегии модернизации, но и как фактор региональной интеграции и евразийской кооперации. Эти проекты выходят за рамки чисто транспортной модернизации: они становятся механизмами формирования новых логистических правил игры и платформой для переосмысления геоэкономических приоритетов.

Порт Алят, железная дорога Баку–Тбилиси–Карс (БТК), а также сеть автомагистралей формируют основу для превращения Азербайджана в логистический хаб между Востоком и Западом. Особенно показателен порт Алят, который сегодня рассматривается не просто как точка транзита, но как инструмент экономической дипломатии. Его мультимодальные возможности и экспортная направленность позволяют интегрировать Азербайджан в более широкие цепочки поставок, в т. ч. высокотехнологичной и перерабатывающей продукции. Динамика роста контейнерных перевозок подтверждает нарастающее значение Среднего коридора как ключевого евразийского маршрута. На рисунке показаны объемы контейнерных перевозок по коридору согласно отчету Всемирного банка.

Указанные данные свидетельствуют о возрастающей привлекательности Среднего коридора для международных грузоотправителей. Особенно заметен рост в 2022 г., что объясняется перераспределением потоков в условиях геополитических ограничений. Это укрепляет позиции Азербайджана как связующего звена между Китаем и Европой и повышает значимость его транспортной дипломатии в рамках новой евразийской архитектуры.

Железная дорога БТК укрепляет сухопутную связность с Турцией и Европой, создавая альтернативу маршрутам, подверженным геополитическим ограничениям. Не менее важна модернизация автотранспортной сети, которая обеспечивает гибкость маршрутов и более быстрый доступ к конечным потребителям.

Китайское участие в проектах Азербайджана демонстрирует новый формат трансграничного сотруд-

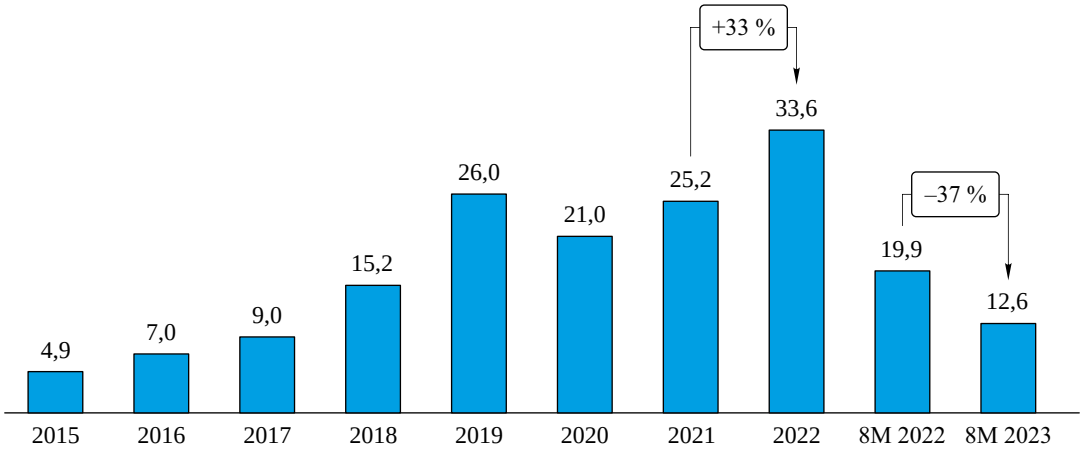


Рисунок. Динамика контейнерных перевозок по Среднему коридору, тыс. *TEU*

ничества, основанный не только на финансовых инвестициях, но и на передаче технологий, управлении логистическими цепями и сопряжении нормативных стандартов. Совместное строительство терминалов, сухих портов, участие китайских компаний в управлении логистическими центрами в Аляте и Зангезуре отражает стремление КНР обеспечить устойчивый и предсказуемый маршрут в обход традиционных направлений.

Важно подчеркнуть, что китайско-азербайджанское сотрудничество опирается не на риторику «братства цивилизаций», а на прагматичную координацию экономических интересов. Азербайджан использует китайские ресурсы для ускорения собственных модернизационных процессов, тогда как Китай для создания гибкой архитектуры транзита и снижения зависимости от политически чувствительных маршрутов.

Развитие логистических центров, мультимодальных узлов и цифровых платформ формирует новую институциональную среду, в которой трансграничное сотрудничество опирается на техническую совместимость, правовую транспарентность и стандартизацию процедур. Это создает предпосылки для формирования региональной логистической системы, ориентированной на эффективность, а не на доминирование одной державы.

Такой инфраструктурный подход способствует не только экономическому росту, но и укреплению доверия между странами региона, формируя условия для более глубокой политико-экономической координации. Транспорт становится не просто средством доставки, а каналом институционального выравнивания и политической устойчивости.

Таким образом, инфраструктурные проекты на территории Азербайджана это не только материальные объекты, но и символы трансформации транзитного мышления. Они демонстрируют, что транспортный коридор может служить не только потоку товаров, но и устойчивому политическому взаимодействию. Средний коридор превращается в пространство согласованных интересов, где технический прогресс подкрепляется институциональной синергией, а Китай и Азербайджан в активных соавторов новой евразийской логистики.

Средний коридор оказывает комплексное влияние на трансграничное сотрудничество между Китаем и Азербайджаном, отражаясь на экономических, политических и региональных уровнях. Его развитие сопровождается как значительными позитивными эффектами, так и рядом вызовов, требующих стратегического ответа.

Укрепление транзитной инфраструктуры и логистических узлов привело к заметному увеличению объемов грузоперевозок по Среднему коридору. По данным Всемирного банка, к 2030 г. суммарные грузопотоки по маршруту могут достичь 15–20 млн т. в год, включая до 4 млн т. контейнерных перевозок [10]. Уже в 2022 г. наблюдается рост контейнерного трафика на 33 % по сравнению с предыдущим годом. Кроме того, по данным азербайджанских таможенных органов, за последние пять лет товарооборот между Китаем и Азербайджаном увеличивается более чем в два раза, при этом на 2022 г. Китай занимает пятое место среди внешнеторговых партнеров Азербайджана.

Приток прямых инвестиций также демонстрирует позитивную динамику. По оценкам Министерства экономики Азербайджана, суммарный объем китайских инвестиций в транспортно-логистический сектор превышает 850 млн долл. США к концу 2023 г. Это свидетельствует о растущем доверии и стратегической заинтересованности сторон в стабильности и эффективности коридора.

Инфраструктурное сближение сопровождается институционализацией политического диалога. Межправительственные комиссии, меморандумы о взаимосвязанности цифровой логистики и участие Азербайджана в инициативах ШОС, ОТГ и Евразийского транспортного пространства создают прочную основу для согласования транспортных стратегий. Средний коридор выступает как политически нейтральное пространство, способное снизить конфронтационные риски, свойственные другим маршрутам, и предложить странам Евразии новый формат координации интересов.

Регионально он влияет на баланс сил. Турция усиливает свою роль как транзитная держава, ЕС проявляет активный интерес к коридору как к устойчивой альтернативе маршрутам через Россию, а Каспийский регион превращается в геоэкономическое ядро новой логистической архитектуры.

Несмотря на успехи, остаются серьезные вызовы. К числу ключевых барьеров относятся: недостаточная терминальная инфраструктура на отдельных участках, особенно в Казахстане и Грузии; низкий уровень контейнеризации грузов в странах Центральной Азии; и ограниченная пропускная способность портов Каспийского моря. Геополитическая нестабильность в Закавказье и санкционные риски в отношении отдельных стран-участниц также создают неопределенность.

Кроме того, экологические и социальные факторы, включая вопросы устойчивости, водных ресурсов и вовлечения местных сообществ в реализацию проектов, становятся все более значимыми. Без комплексного управления этими аспектами долгосрочная эф-

фективность коридора может быть поставлена под угрозу.

Выводы. 1. Средний коридор становится все более значимым элементом евразийской транспортно-логистической архитектуры. Проведенный анализ показывает, что геоэкономические приоритеты Китая и Азербайджана, сопряженные с инициативой «Один пояс, один путь» и стратегией формирования мультимодального хаба на Южном Кавказе, предопределяют динамичное развитие Транскаспийского маршрута. Конкретные инфраструктурные проекты, включая порт Алят и железную дорогу Баку–Тбилиси–Карс, уже дают эффект в виде увеличения грузооборота, роста инвестиций и институционализации трансграничного сотрудничества.

2. В то же время Средний коридор сталкивается с рядом вызовов: инфраструктурной фрагментацией, геополитическими рисками и необходимостью технологической модернизации. Однако, опираясь на прогнозы Всемирного банка и поддержку международных партнеров, можно утверждать, что к 2030 г. данный маршрут способен обеспечить троекратный рост объемов транзита и значительное сокращение сроков доставки, что усилит его статус как устойчивой и конкурентоспособной альтернативы традиционным маршрутам.

3. Таким образом, Средний коридор становится не просто транспортным маршрутом, а инструментом региональной интеграции, экономической дипломатии и стратегического позиционирования Азербайджана в изменяющейся архитектуре международных связей.

Список литературы

1. *Шовгин И. О.* Ключевые риски развития транспортно-логистического проекта «Средний коридор» // Общество: политика, экономика, право. 2024. № 1. С. 48–53.

2. *Андронова И. В., Пак Е. В.* Перспективы реализации экономического потенциала Каспийского региона на примере транспорта // Российский внешнеэкономический вестник. 2022. № 9. С. 94–106.

3. *Цветков В. А., Зоидов К. Х., Медков А. А.* Формирование новой эволюционной концепции увеличения грузовой базы транспортных коридоров «Восток–Запад»: современное состояние, геополитические условия и экономические предпосылки // Региональные проблемы преобразования экономики. 2014. № 5 (43). С. 43–63.

4. *Жильцов С. С.* Роль транспортных коридоров в развитии Центральной Азии // Проблемы постсоветского пространства. 2024. Т. 11. № 3. С. 188–197.

5. *Зуенко И. Ю.* Проблемы развития международных транспортных коридоров «Восток–Запад» в Каспийском регионе // Журнал фронтирных исследований. 2024. Т. 9. № 4. С. 169–185.

6. *Аббасалиев И. С. О.* Роль транспортных коридоров в международном сотрудничестве (на примере Каспийского региона) // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2022. Т. 22. № 3. С. 34–44.

7. *Агаев И. Г.* Интересы региональных и мировых держав в открытии Зангезурского коридора // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2023. № 6–1. С. 13–18.

8. *Синицына А. С., Дэльз С. В., Галянт С. А.* Мультимодальные перевозки в коридоре «Север–Юг» // Мир транспорта. 2018. Т. 16. № 3. С. 178–189.

9. *Vinokurov E., Ahunbaev A., Zaboev A., Usmanov N.* Международный транспортный коридор «Север – Юг»: инвестиционные решения и мягкая инфраструктура. Reports and Working Papers 22/2. Almaty, Moscow: Eurasian Development Bank. 2022. 86 p.

10. *Middle* Trade and Transport Corridor: Policies and Investments to Triple Freight Volumes and Halve Travel Time by 2030 // World Bank. URL: https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/4d781a1f-ace4-420d-9192-964bbc98b0d1.

References

1. Shovgin I. O. Key risks of the development of the Middle Corridor transport and logistics project. *Society: Politics, Economics, Law*., 2024, no. 1, pp. 48–53.

2. Andronova I. V., Pak E. V. Prospects for realizing the economic potential of the Caspian region using transport as an example. Russian Foreign Economic Journal, 2022, no. 9, pp. 94–106.

3. Tsvetkov V. A., Zoidov K. Kh., Medkov A. A. Forming a new evolutionary concept for increasing the freight base of the East–West transport corridors: current state, geopolitical and economic conditions. *Regional problems of transforming the economy*, 2014, no. 5 (43), pp. 43–63.

4. Zhiltsov S. S. The role of transport corridors in the development of Central Asia. *Post-Soviet Issues*, 2024, vol. 11, no. 3, pp. 188–197.

5. Zuenko I. Yu. Problems of development of international transport corridors East–West in the Caspian region. *Journal of Frontier Studies*, 2024, vol. 9, no. 4, pp. 169–185.

6. Abbasaliev I. S. O. The role of transport corridors in international cooperation (Caspian region case). *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University Series «Humanitarian and Social Sciences»*, 2022, vol. 22, no. 3, pp. 34–44.

7. Agaev I. G. Interests of regional and global powers in opening the Zangezur corridor. *Bolshaya Evraziya: razvitie, bezopasnost, sotrudnichestvo*, 2023, no. 6–1, pp. 13–18.

8. Sinitsyna A. S., Delz S. V., Galyant S. A. Multimodal transportation in the North–South Corridor. *World of Transport and Transportation Journal*, 2018, vol. 16, no. 3, pp. 178–189.

9. Vinokurov E., Ahunbaev A., Zaboev A., Usmanov N. *International North–South Transport Corridor: Investments and Soft Infrastructure*. *Reports and Working Papers 22/2*. Almaty, Moscow, Eurasian Development Bank, 2022.

10. Middle Trade and Transport Corridor: Policies and Investments to Triple Freight Volumes and Halve Travel Time by 2030. *World Bank*, available at: https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/4d781a1f-ace4-420d-9192-964bbc98b0d1.

РЕМОНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕНОВАЦИЯ

УДК 332.14

Ас. Б. МОТТАЕВА, канд. экономич. наук (Финансовый Университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail:asbmottaeva@fa.ru
As. B. MOTTAEVA (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Модернизация инфраструктуры атомной энергетики России в контексте технологического суверенитета

Modernization of the Russian nuclear energy infrastructure in the context of technological sovereignty

Проводится анализ инфраструктурных элементов, определяющих развитие атомной энергетики России, выявлении барьеров модернизации и формулировании стратегических направлений укрепления технологической и производственной независимости отрасли. Рассмотрены институциональные, научно-исследовательские, производственные и кадровые аспекты инфраструктуры атомной энергетики. Оценено влияние инновационной активности и государственной политики на процессы модернизации. Обоснована необходимость интеграции научных центров, промышленных предприятий и образовательных учреждений в единую систему отраслевой инфраструктуры. Сформулированы предложения по повышению эффективности управления, стимулированию внедрения отечественных технологий и развитию механизмов государственно-частного партнерства. Результаты исследования могут быть использованы при разработке стратегических программ развития атомной энергетики, совершенствовании отраслевого регулирования и реализации государственной политики в сфере технологического суверенитета.

The purpose of the article is to comprehensively analyze the infrastructure elements that determine the development of Russia's nuclear energy industry, identify barriers to modernization, and formulate strategic directions for strengthening the technological and production independence of the industry. The paper examines the institutional, research, production, and human resource aspects of the nuclear energy infrastructure. It assesses the impact of innovation and government policy on modernization processes. It justifies the need to integrate research centers, industrial enterprises, and educational institutions into a unified industry infrastructure system. Proposals are formulated to improve management efficiency, stimulate the introduction of domestic technologies, and develop mechanisms for public-private partnerships. The results of the study can be used in the development of strategic programs for the development of nuclear energy, the improvement of industry regulation, and the implementation of state policy in the field of technological sovereignty.

Ключевые слова: атомная энергетика; инфраструктура; технологический суверенитет; энергетическая безопасность; модернизация; инновации; импортонезависимость; промышленная политика; устойчивое развитие; государственно-частное партнерство.

Keywords: nuclear energy; infrastructure; technological sovereignty; energy security; modernization; innovation; import independence; industrial policy; sustainable development; public-private partnership.

Современное развитие мировой энергетики характеризуется глубокими трансформационными процессами, связанными с переходом к низкоуглеродным технологиям, цифровизацией и стремлением государств к укреплению технологического суверенитета. В этих условиях атомная энергетика рассматривается не только как источник стабильной и экологически чистой энергии, но и как стратегический инструмент обеспечения национальной безопасности и технологической независимости.

Мировая практика показывает, что инфраструктурная составляющая является базовым условием устойчивости атомной отрасли: именно наличие развитой исследовательской, производственной и цифровой

инфраструктуры обеспечивает долгосрочную конкурентоспособность стран-лидеров атомного рынка, таких как Франция, Китай и Республика Корея.

В научной литературе все более широкое признание получает концепция инфраструктуры как ключевого элемента обеспечения надежности, устойчивости и независимости энергетических систем. В классическом обзоре подчеркивается, что «энергетическая инфраструктура и судьба нации» находятся в прямой взаимосвязи, поскольку инфраструктурные мощности определяют как технологический потенциал, так и способность государства противостоять внешним шокам и кризисам [1]. При этом аналитики отмечают, что такой взаимосвязанный подход особенно важен в отношении атомной энергетики, где помимо генерации электроэнергии задействованы сложные цепочки поставок, научно-исследовательские институты, требования к безопасности и долгосрочное планирование производственного цикла.

Зарубежные исследования обращаются к теме технологического суверенитета как к возможности государства контролировать ключевые технологии и не зависеть от внешних поставщиков. В работе [2] рассматриваются предпосылки и механизмы достижения технологической независимости в разных странах. В контексте атомной энергетики исследование [3] показывает, что участие *Rosatom* в глобальном рынке ядерных услуг создает зависимости государств-потребителей от российского топлива и технологий, что добавляет стратегический аспект к вопросу инфраструктуры и суверенитета. Следовательно, из зарубежной литературы следует вывод о том, что инфраструктура атомной энергетики – не просто технический вопрос, но компонент геополитической и технологической автономии.

Российские исследователи также акцентируют внимание на инфраструктуре как основе инновационного развития атомной отрасли. По мнению О. В. Жданеева, устойчивость топливно-энергетического комплекса России зависит от уровня инженерного и цифрового развития, а также от способности национальной промышленности обеспечивать полный цикл производства технологий и оборудования [4]. Исследование [5] подчеркивает, что в эпоху, когда мировая экономика вступила в эпоху глубоких трансформаций, связанных с четвертым энергетическим переходом, технологическое развитие государств должно не только обеспечивать технологический суверенитет, но и соответствовать стандартам *ESG*. Анализ исследований показывает, что для России критически важна локализация производств, чтобы укрепить технологический суверенитет и минимизировать внешние риски. В этом контексте деятельность ГК «Росатом» по развитию цифровых двойников, малых модульных реакторов и новых топливных сборок (например, ТВС-Квадрат и РЕМИКС) демонстрирует практическое воплощение стратегии технологического суверенитета в отрасли.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного переосмысления роли инфраструктуры в обеспечении конкурентоспособности атомной отрасли России. Под инфраструктурой в данном контексте понимается совокупность научно-исследовательских центров, производственных мощностей, образовательных учреждений, транспортно-логистических систем и цифровых платформ, обеспечивающих функционирование и развитие атомной энергетики. Цель статьи состоит в комплексном анализе процессов формирования и модернизации инфраструктуры атомной энергетики России в контексте укрепления технологического суверенитета. Для достижения этой цели решаются следующие задачи: определить ключевые инфраструктурные элементы атомного комплекса, выявить барьеры их модернизации, оценить роль инноваций и цифровизации в обновлении отраслевой базы, а также сформулировать направления государственной и корпоративной политики по укреплению технологической независимости.

Научная новизна исследования заключается в интеграции инфраструктурного и суверенитетного подходов, что позволяет рассматривать атомную энергетику как системную платформу технологической независимости страны. В отличие от существующих исследований, фокусирующихся преимущественно на технических или институциональных аспектах отрасли, в данной работе инфраструктура анализируется как многокомпонентная система, связывающая научные, производственные, кадровые и управленческие ресурсы в единое целое.

Практическое значение исследования состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы при разработке стратегических программ модернизации атомной энергетики, формировании отраслевых дорожных карт технологического развития, а также при реализации государственной политики импортозамещения и инновационного роста. Современные практики, реализуемые ГК «Росатом», а также международные программы, такие как *Small Modular Reactors* (*SMR*) в Канаде и Китае, подтверждают, что модернизация инфраструктуры атомной энергетики является ключевым условием укрепления технологического суверенитета и долгосрочной энергетической устойчивости страны.

Материалы и методы исследования

Цель данной работы – комплексный анализ инфраструктурных элементов, определяющих разви-

тие атомной энергетики России, выявлении барьеров модернизации и формулировании стратегических направлений укрепления технологической и производственной независимости отрасли.

Методологическая основа исследования опирается на принципы системного и междисциплинарного подхода, предполагающего комплексное рассмотрение инфраструктуры атомной энергетики как целостной социально-экономической и технологической системы. В процессе исследования использован системный анализ, позволяющий рассматривать атомную энергетику как совокупность взаимосвязанных подсистем: производственной, научно-исследовательской, институциональной и кадровой, каждая из которых вносит вклад в достижение технологического суверенитета страны.

Кроме того, в исследовании использованы методы контент-анализа и экспертных оценок для обработки стратегических и программных документов, в т. ч. «Стратегии развития атомной отрасли до 2035 года», материалов ГК «Росатом», а также аналитических обзоров международных организаций, включая Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и Всемирную ядерную ассоциацию.

Эмпирическая база исследования сформирована на основе статистических данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Минэнерго РФ, отчетов ГК «Росатом» и дочерних предприятий (ПАО «ТВЭЛ», ОКБ «Гидропресс», Курчатовский институт), а также публикаций российских и зарубежных авторов по проблематике энергетического суверенитета и инфраструктурного развития.

Таким образом, выбор методологического инструментария обеспечивает возможность комплексного и объективного анализа состояния и перспектив развития инфраструктуры атомной энергетики России в условиях технологической трансформации и внешних вызовов. Полученные результаты направлены на формирование практических рекомендаций по повышению технологического суверенитета и укреплению конкурентоспособности отечественной атомной энергетики.

Результаты исследования и их обсуждение

Топливно-энергетический комплекс (ТЭК) России, охватывающий нефтегазовую, угольную промышленность и электроэнергетику, продолжает полностью удовлетворять потребности отечественной экономики. По итогам 2024 г. добыто около 516 млн т нефти и газового конденсата (при этом примерно 40 % от этого объема ориентированы на экспорт сырья) и около 685 млрд м^3 природного газа (примерно 30 % поставлено за пределы РФ).

Добыча угля достигает порядка 443,5 млн т в 2024 г., из которых значительная доля также предназначена для внешних рынков. Электроэнергия выработана в объеме более 1 250 млрд кВт·ч, из которых около 2 % направлено на экспорт.

Россия выступает одновременно крупным производителем, потребителем и экспортером всех видов углеродных энергоресурсов и электроэнергии. На внутреннем рынке около 20 % электроэнергии производится на гидроэлектростанциях, около 20 % – на атомных электростанциях, и чуть более 0,5 % приходится на возобновляемые источники энергии (данные ориентировочные). В российской экономике ТЭК занимает ключевое место как основной потребитель большинства других отраслей [6].

Прогноз на 2025 г. предусматривает устойчивое сохранение добычи и выработки с небольшой корректировкой: ожидается добыча нефти и конденсата на уровне около 520–530 млн т, газа – на уровне 700 млрд м^3, угля – порядка 445 млн т, а выработка электроэнергии – около 1300 млрд кВт·ч, с сохранением экспорта электроэнергии на уровне 2–3 %. Далее в табл. 1 и на рис. 1 представлены динамика показателей ТЭК России за период с 2020–2030 гг. [7–9].

Согласно данным табл. 1 и рис. 1можно сделать следующие выводы [9, 10]:

1. Нефтегазовый сектор демонстрирует стабилизацию после спада 2022 г. К 2025 г. ожидается восстановление добычи нефти до 525 млн т и рост добычи газа до 700 млрд м^3, чему способствует активизация внутренних проектов, импортонезависимость технологий и диверсификация экспортных маршрутов (включая рост поставок в КНР и Индийский регион).

2. Угольная промышленность сохраняет высокие объемы при постепенном смещении экспорта на азиатские рынки; внутреннее потребление стабилизируется за счет модернизации теплоэнергетики.

3. Электроэнергетика демонстрирует устойчивый рост: к 2030 г. прогнозируется выработка около 1,4 трлн кВт·ч (+10 % к 2024 г.), в т. ч. за счет увеличения доли атомной генерации до 25 %.

4. Атомная энергетика становится драйвером технологического обновления: развитие проектов БРЕСТ-ОД-300, РИТМ-200/400, новых энергоблоков ВВЭР-ТОИ обеспечивает рост низкоуглеродной генерации и экспортный потенциал.

5. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) сохраняют низкую долю в структуре генерации (< 1 %), но демонстрируют поступательный рост благодаря пилотным проектам по солнечной и ветровой энергетике в южных и арктических регионах.

Таблица 1

Динамика и прогноз ключевых показателей ТЭК России в период 2020–2030 гг.

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024 факт	2025 прогноз	2027	2030 прогноз
Добыча нефти и газового конденсата, млн т	512	524	535	523	516	525	528	535
Добыча природного газа, млрд м^3	693	762	672	654	685	700	710	730
Добыча угля, млн т	402	439	443	437	443	445	450	460
Проходка бурения, млн м^3	25	27	28	28	29	30	31	32
Выработка электроэнергии, млрд кВт·ч	1093	1131	1155	1198	1250	1300	1340	1400
Доля экспорта, % уефть/газ/уголь	–	42/33/49	40/32/51	39/30/48	40/30/47	38/29/46	–	≈ 35/28/45
Доля атомной генерации, %	19,5	19,7	19,8	20	20,2	20,5	22	25
Доля гидроэнергии, %	19	20	20	20	20	20	20	19
Доля ВИЭ, %	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	1	1,5

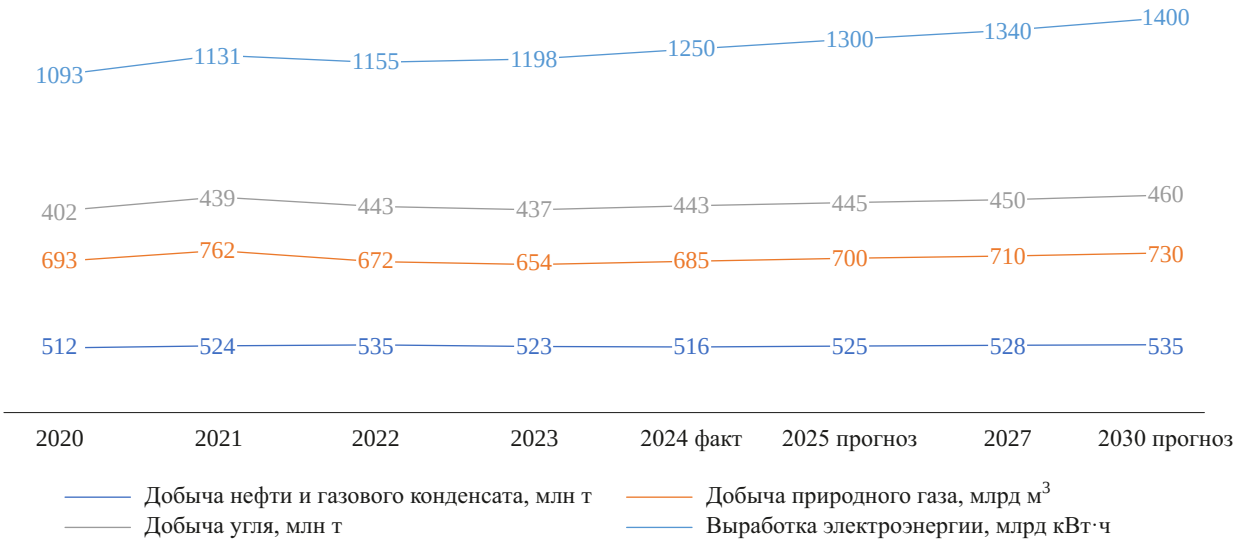


Рис. 1. Динамика и прогноз ключевых показателей ТЭК России в период 2020–2030 гг.

В результате, у 2025 г. Россия сохраняет статус одной из крупнейших энергетических держав мира с полной обеспеченностью внутреннего спроса на углеводороды и электроэнергию [6]. К 2030 г. развитие инфраструктуры атомной энергетики и цифровизация ТЭК станут ключевыми факторами достижения технологического суверенитета и низкоуглеродного перехода [9, 10]. Совокупное увеличение доли атомной генерации и цифровизация производственных процессов позволят сократить углеродную интенсивность экономики и укрепить экспортные позиции России на глобальном энергетическом рынке [11].

В ближайшие годы российская экономика вступает в этап устойчивого роста энергопотребления, что требует масштабного обновления и диверсификации топливно-энергетического комплекса. Согласно целевым показателям Энергетической стратегии России до 2050 г., к 2030 г. объем производства электроэнергии в стране должен достичь 1,33 трлн кВт·ч, а добыча нефти – до 540 млн т, природного газа – до 853 млрд м^3 в год. Эти ориентиры отражают необходимость не только количественного наращивания мощностей, но и качественной трансформации энергетической инфраструктуры в условиях энергоперехода, цифровизации и глобальных вызовов мировой экономики.

Стоит подчеркнуть, что к 2030 г. Россия ставит задачу обеспечить уровень локализации производства в стратегически значимых секторах энергетики не менее 90 %. Достижению этой цели будет способствовать реализация масштабных государственных инициатив, принятых в течение последнего года, включая Энергостратегию России до 2050 г., определяющую общий вектор развития отрасли, и национальный проект «Новые атомные и энергетические технологии», в котором закреплены конкретные меры и целевые показатели по созданию и освоению необходимых технологических компетенций и обеспечению мирового лидерства в атомных технологиях, технологический суверенитет в новых энергетических технологиях.

Рис. 2. Ключевые типы проектов достижения технологического суверенитета

Стратегия достижения технологического суверенитета России не ориентирована на изоляцию, а, напротив, предполагает расширение международного сотрудничества с новыми партнерами и формирование взаимовыгодных технологических альянсов. Переход страны к инновационной модели экономического роста требует от государства проведения обновленной промышленной и технологической политики, направленной на повышение инвестиционной привлекательности национальной юрисдикции, создание сбалансированной системы поддержки высокотехнологичных предприятий и адаптацию системы образования к потребностям реального сектора и новым требованиям технологического развития. Далее на рис. 2 проиллюстрированы типы проектов достижения технологического суверенитета, которые указаны в концепции технологического развития.

Рис. 2 отражает ключевые направления технологического развития и сотрудничества в атомной энергетике России, которые формируют основу реализации государственной стратегии технологического суверенитета. Мегапроекты по выводу продукции направлены на разработку и коммерциализацию отечественных высокотехнологичных решений, способных укрепить позиции России на мировом рынке. Внедрение наилучших доступных технологий обеспечивает повышение эффективности и экологичности производственных процессов, ускоряя модернизацию инфраструктуры энергетического комплекса.

Соглашения с лидерами отрасли представляют собой инструмент консолидации усилий государства, науки и бизнеса, способствующий формированию инновационных консорциумов и развитию международного сотрудничества. Крупные исследовательские проекты играют стратегическую роль в создании научного задела и достижении технологической независимости, обеспечивая условия для долгосрочного инновационного развития и устойчивого функционирования атомного комплекса России [3, 7]. В совокупности эти направления формируют системную модель интеграции научных, промышленных и государственных ресурсов, что позволяет укрепить конкурентоспособность и технологическую устойчивость отечественной атомной энергетики [4, 11].

Ключевые инфраструктурные элементы атомного комплекса

Современное развитие атомной энергетики невозможно без формирования целостной инфраструктурной системы, обеспечивающей технологическую устойчивость, инновационное развитие и высокий уровень безопасности отрасли. Эффективное взаимодействие между ее элементами – научно-исследовательской, производственной, цифровой, эксплуатационной и кадрово-институциональной базами – определяет способность отрасли адаптироваться к вызовам энергоперехода и укреплять технологический суверенитет России. Инфраструктура атомной энергетики России включает несколько взаимосвязанных подсистем, которые обеспечивают функционирование отрасли и ее развитие (см. рис. 3).

Изображенная структура демонстрирует взаимосвязанность ключевых компонентов инфраструктуры, формирующих основу устойчивого функционирования и развития атомной отрасли. Во-первых, это научно-исследовательская и проектная база – ака-

Рис.3. Основные элементы инфраструктуры атомной энергетики России

демические институты, центры разработки новых технологий, реакторные конструкторские бюро, например, разработки по замкнутому топливному циклу, быстрых реакторов и др.

Во-вторых, производственная инфраструктура – предприятия по обогащению урана, производству ядерного топлива, изготовлению атомных реакторов и ключевых компонентов (например, элементы оборудования, сосуды высокого давления)

В-третьих, инфраструктура эксплуатации и технического обслуживания – станции АЭС (в том числе новые проекты с реакторами ВВЭР-ТОИ), системы управления жизненным циклом, утилизация отработавшего топлива и радиоактивных отходов

В-четвертых, цифровая и информационная инфраструктура – внедрение цифровых двойников, решений по промышленному интернету, системы автоматизации и мониторинга, что все более важно в эпоху «цифровой трансформации» атомной отрасли

В-пятых, кадровая и институциональная инфраструктура – подготовка специалистов, интеграция науки, образования и промышленности, нормативно-правовая база и логистика, которые обеспечивают устойчивость всей экосистемы. Эти элементы составляют основу инфраструктурной модели атомного комплекса.

В совокупности эти элементы создают единый инфраструктурный контур, обеспечивающий устойчивость, инновационность и конкурентоспособность российской атомной энергетики.

Направления дальнейших исследований

Роль инноваций и цифровизации в обновлении отраслевой базы

Как уже ранее упоминалось, в условиях роста внутреннего энергопотребления и глобального энергоперехода Россия реализует стратегический курс на развитие атомной энергетики как базового элемента энергетического и технологического суверенитета. В среднесрочной перспективе до 2035 г. ключевая цель государственной политики заключается в создании высокотехнологичной, экспортно-ориентированной и экологически устойчивой атомной отрасли, способной обеспечить рост доли атомной генерации в энергобалансе страны до 25 % к 2045 г. Реализация Энергетической стратегии России до 2050 года и национального проекта «Новые атомные и энергетические технологии» задает вектор системной модернизации инфраструктуры атомного комплекса, охватывающей технологические, производственные, цифровые, кадровые и институциональные направления.

И на этом пути, инновации и цифровизация выступают мощными драйверами модернизации инфраструктуры атомной энергетики. Приоритетами становятся внедрение реакторов нового поколения, развитие маломощных энергетических установок, цифровизация жизненного цикла объектов, повышение уровня локализации и кадровое обновление отрасли [5, 10]. Эти процессы формируют ядро инфраструктурного перехода атомной энергетики России к

инновационной модели развития и обеспечивают ее долгосрочную конкурентоспособность на мировом рынке [6, 12].

Можно отметить, что системная трансформация российской атомной энергетики, направленна на переход от модернизации отдельных объектов к формированию целостной инфраструктурной экосистемы. При этом все приоритетные направления развития атомной отрасли взаимосвязаны и усиливают друг друга. Развитие реакторов IV поколения и маломощных установок формирует технологическую основу долгосрочного энергобаланса, обеспечивая гибкость генерации и повышение ресурсной эффективности. Цифровизация служит сквозным инструментом повышения производительности и надежности. Она сокращает жизненный цикл строительства, повышает качество проектирования и создает цифровую основу для интеграции НИОКР, производства и эксплуатации.

Кадровое и образовательное обновление обеспечивает устойчивость инновационной системы, а международное сотрудничество усиливает экспортный потенциал и диверсификацию рынков. Таким образом, развитие инфраструктуры атомной энергетики России до 2035 г. не является изолированным процессом, а представляет собой *комплексный механизм обеспечения технологического суверенитета*, в котором каждый элемент – от локализации производства до цифровой трансформации – способствует укреплению национальной энергетической безопасности и повышению конкурентоспособности страны на мировом рынке ядерных технологий [4, 13].

Например, Росатом внедряет цифровые двойники реакторов и процессов, что позволяет моделировать эксплуатацию и обслуживание в реальном времени, повышая эффективность и снижая риски. Также отмечено, что корпорация разработала единый цифровой маршрут по нескольким направлениям и активно применяет *IT*-системы и автоматизацию. Практический результат: в России уже реализуются проекты по строительству энергоблоков ВВЭР-ТОИ с высокой степенью цифровизации, что отражено в отчетах корпорации. При этом анализ показывает, что цифровизация способствует улучшению мониторинга состояния оборудования, оптимизации эксплуатационных расходов, ускорению процессов проектирования и производства компонентов.

Инновации проявляются также в топливно-технологическом направлении (разработка закрытого ядерного топливного цикла, быстрых реакторов, новых материалов) и эти направления создают предпосылки для инфраструктурной трансформации. В итоге можно утверждать, что инновации и цифровизация являются необходимыми, но не достаточными условиями модернизации: они должны быть сопряжены с институциональными, организационными и производственными изменениями, чтобы раскрыть весь потенциал инфраструктуры.

Таблица 2

Инновационные направления и инфраструктурные приоритеты развития атомной энергетики России до 2035 г.

Направление развития	Основное содержание и инфраструктурные приоритеты	Ключевые проекты и показатели	Ожидаемые эффекты к 2035 г.
1. Развитие реакторных технологий IV поколения	Переход к быстрым нейтронам, формирование двухкомпонентной ядерной системы с замкнутым топливным циклом; модернизация научно-технической базы.	Энергоблок БРЕСТ-ОД-300 (Северск, запуск 2028); ТВС-Квадрат, РЕМИКС; локализация ≥ 90 %.	Промышленная реализация замкнутого цикла, повышение ресурсоэффективности и экологической безопасности.
2. Реакторы малой и средней мощности (*SMR*)	Децентрализация энергетики, энергоснабжение изолированных и арктических территорий.	Реакторы РИТМ-200/400, SMR-платформы в Якутии и Чукотке.	Энергобезопасность регионов, снижение углеродного следа, рост энергоустойчивости.
3. Цифровизация и управление жизненным циклом	Внедрение BIM/PLM-платформ, цифровых двойников, ИИ-аналитики, автоматизации обслуживания.	Единая цифровая платформа; сокращение сроков строительства на 15–20 %.	Повышение эффективности и надежности, снижение эксплуатационных издержек.
4. Кадровый и научно-образовательный потенциал	Создание отраслевых НОЦ, дуальных программ обучения, цифровых магистратур и консорциумов «вуз-НИИ-предприятие».	Выпуск ≥ 4 000 инженеров ежегодно, программы цифровой переподготовки.	Рост кадровой устойчивости, ускорение внедрения инноваций.
5. Международное сотрудничество и экспорт	Расширение партнерств с Азией, Африкой, Латинской Америкой; экспорт SMR-технологий и сервисов.	АЭС «Аккую», «Дабаа», «Руппур»; соглашения с Алжиром, Индонезией, Нигерией, Боливией.	Диверсификация рынков, укрепление статуса России как технологического лидера.
6. Комплексная модернизация инфраструктуры	Локализация критических компонентов, обновление производственных мощностей, развитие цифровых платформ.	Реализация нацпроекта «Новые атомные и энергетические технологии»; строительство 38 энергоблоков (≈ 29,3 ГВт).	Рост доли атомной генерации до 25 %, укрепление технологического суверенитета.

Направления государственной и корпоративной политики по укреплению технологической независимости

С учетом указанных технологических трендов, направления государственной и корпоративной политики по укреплению технологической независимости должны базироваться на нескольких взаимосвязанных контурах [11–18].

Во-первых, «сквозная цифровизация» отрасли:

- обязательное применение *BIM/PLM/ALM* и цифровых двойников для всех новых энергоблоков и критичных систем действующих станций;
- развитие отечественного ПО и электроники класса безопасности; создание единой отраслевой платформы данных с требованиями к качеству и прослеживаемости по стандартам МАГАТЭ/ОЭСР-НЕА;
- внедрение *risk-based* и *predictive maintenance* на базе потоков реальных данных, усиленных ИИ-аналитикой.

Во-вторых, целенаправленная поддержка критических технологий и материалов:

- ускоренная локализация компонентов реакторного острова, I&C и КИПиА, топливных решений (включая МОКС/РЕМИКС), материалов повышенной радиационной стойкости;
- тиражирование результатов НИОКР через отраслевые стандарты и каталоги типовых решений.

В-третьих, институциональные и кадровые меры:

- обновленные регуляторные рамки для валидации цифровых моделей как источника доказательств безопасности, гармонизация с рекомендациями МАГАТЭ по кибербезопасности и цифровым системам;
- дуальные образовательные траектории и отраслевые магистратуры под цифровую инженерию и эксплуатацию;
- стимулирование отраслевых консорциумов «вуз–НИИ–предприятие».

В-четвертых, экспортно-кооперационный контур:

- использование цифровых платформ (включая цифровых двойников) как части экспортного предложения «проект+сервис+топливо+данные»;
- поддержка международных проектов и локализаций в странах-партнерах, что укрепляет позиции России на глобальном рынке и снижает чувствительность к внешним ограничениям (*AP News* – проект в Узбекистане *Reuters* – стратегия до 2050 г.).

В-пятых, финансово-экономические механизмы должны включать:

- «длинные» сервисные контракты с оплатой за доступность;
- проектное финансирование и «переходные» облигации под цифровизацию и безопасность, увязанные с отраслевыми KPI по локализации и цифровой зрелости;
- такой подход соответствует логике низкоуглеродного развития и технологического суверенитета, зафиксированной в стратегических документах РФ и профильных исследованиях *Strategy 2050 – Low GHG Russia*.

По совокупности инновации и цифровизация формируют «каркас устойчивости» атомной отрасли. При этом они повышают эффективность и безопасность, создают экспортируемые компетенции и сервисы, а через локализацию критической номенклатуры и собственные цифровые стеки снижают технологические риски.

В заключении стоит отметить, что при последовательной государственной поддержке и корпоративной реализации предложенных мер, Россия получает возможность закрепить статус технологически независимого поставщика полного цикла, от проектирования и топлива до эксплуатации, сервисов и цифровых платформ. Все это подтверждается как международной аналитикой, так и ходом конкретных проектов в стране и за рубежом.

Выводы. 1. Проведенное исследование позволяет комплексно рассмотреть процессы формирования и модернизации инфраструктуры атомной энергетики России в контексте укрепления технологического суверенитета. Анализ теоретических основ, зарубежных и отечественных практик показал, что именно инфраструктура – совокупность научно-исследовательской, производственной, цифровой, эксплуатационной и кадрово-институциональной баз – является системным ядром, обеспечивающим устойчивость и конкурентоспособность отрасли.

2. Современные тенденции глобальной энергетики, ориентированные на низкоуглеродное развитие, цифровизацию и инновации, определяют новые требования к российскому атомному комплексу. Его модернизация требует перехода от точечных технологических улучшений к системной модели, где ключевыми факторами выступают интеграция науки и промышленности, цифровая трансформация жизненного цикла объектов, локализация критических компонентов и развитие кадрового потенциала. Особое значение при этом приобретают инновации и цифровизация, которые формируют новый технологический контур отрасли – сокращают сроки проектирования и строительства, повышают эффективность эксплуатации, обеспечивают прозрачность и безопасность всех процессов.

3. Формирование технологического суверенитета в атомной энергетике не предполагает изоляции –

напротив, оно основано на диверсификации международного сотрудничества, расширении партнерств и экспорте российских технологий, включая маломощные реакторы (*SMR*), инновационные топливные решения и цифровые сервисы. Такое сочетание внутренней технологической независимости и внешней открытости формирует сбалансированную модель устойчивого развития отрасли.

4. Таким образом, можно заключить, что дальнейшее развитие атомной энергетики России должно строиться на принципах комплексной инфраструктурной модернизации, цифровизации и инновационного лидерства. Реализация этих подходов позволит не только обеспечить энергетическую безопасность страны, но и укрепить позиции России как одного из ведущих центров технологического развития и глобального поставщика передовых ядерных технологий в мире.

Список литературы

1. *Каравелла С., Креспи Ф., Кучиньятто Д., Гуарашио Д.* Технологический суверенитет и стратегическая зависимость: пример цепочки поставок фотоэлектрических систем // Журнал более чистого производства. 2024. Т. 434. С. 140222.

2. *Креспи Ф., Серра Р., Зецца Ф.* Кооперативный технологический суверенитет: стратегия согласования международного сотрудничества со знаниями и экономической безопасностью // Интерэкономика. 2025. Т. 60. № 2. С. 73–80.

3. *Шулецкий К., Оверленд И.* Российская дипломатия в области ядерной энергетики и ее влияние на энергетическую безопасность в контексте войны на Украине // Nat Energy. 2023. Vol. 8. Pp. 413–421.

4. *Жданеев О. В.* Обеспечение технологического суверенитета промышленности ТЭК Российской Федерации // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 1061-1078.

5. *Довбий И.* Технологический суверенитет в эпоху энергетического перехода и внедрение принципов ESG в региональную промышленную повестку дня // Веб-конференция E3S. 2023. Т. 389. Pp. 26:01077.

6. *Клименко А. В.* Анализ и исследование современного состояния ТЭК в РФ // Вестник науки. 2024. № 3 (72) С. 76–82.

7. *Афанасьев А. А.* Технологический суверенитет: основные направления политики по его достижению в современной России // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 4. С. 2193–2212.

8. *Абдулов Р. Э.* Перспективы достижения технологического суверенитета и экономической безопасности России в условиях деглобализации // Креативная экономика. 2024. Т. 18. № 12. С. 3917–3932.

9. *Медведева Н. В.* Подходы к оценке достижения технологического суверенитета // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14. № 1. С. 91–104.

10. *Чаруйская М. А.* Механизмы достижения технологического суверенитета в стратегических отраслях промышленности // Экономика, предпринимательство и право. 2025. Т. 15. № 7. С. 4611–4626.

11. *Яндиева М.* Энергетическая стратегия России до 2050 года: прагматичный путь в мировой энергетике. SSRN. 2025. URL: https://ssrn.com/abstract=5386136.

12. *Ganebnykh E., Burtseva T., Petuhova A., Mottaeva A.* Regional environmental safety assessment // E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). Moscow: EDP Sciences. 2019. Vol. 91. Pp. 08035.

13. *Фадеев А. М., Спиридонов А. А.* Стратегические подходы к обеспечению технологического суверенитета в энергетической отрасли // Управленческое консультирование. 2023. № 9. С. 67–80.

14. *Байдаров Д. Ю., Полосин А. В., Файков Д. Ю.* Формирование новой модели отечественной экономики в контексте технологического суверенитета: принципы и механизмы // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13. № 2. С. 669–688.

15. *Mottaeva A. B., Mottaeva A. B.* The impact of sanctions on the development of national and regional economy of the Russian Federation // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. № 23. Pp. 43446–43449.

16. *Прядко И. П., Магина А. И.* Политика импортозамещения в оценке участников социологического опроса: цифры и факты // Экономика и предпринимательство. 2020. № 11 (124). С. 149–154.

17. *Моттаева А. Б.* Актуальные тренды и перспективы развития энергетики в России // Вестник Сургутского государственного университета. 2024. Т. 12. № 4. С. 77–91.

18. *Bataev A. V., Gorovoy A. A., Mottaeva A.* Digital transformation of the financial sector in Russia and the world // Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 – Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth: 32, Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional Expansion to Global Growth. Seville: 2018. Pp. 102–114.

References

1. Caravella S., Crespi F., Cuccinatto D., Guarasio D. Technological sovereignty and strategic dependence: the example of the photovoltaic supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 2024, vol. 434, pp. 140222.

2. Shulets K., Overland I. Russian diplomacy in the field of nuclear energy and its impact on energy security in the context of the war in Ukraine. *Nat Energy*, 2023, vol. 8, pp. 413–421.

3. Crepsi F., Serra R., Zecca F. Cooperative Technological Sovereignty: A Strategy for Aligning International Cooperation with Knowledge and Economic Security. Intereconomica, 2025, vol. 60, no. 2, pp. 73–80.

4. Zhdanev O. V. Ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation's fuel and energy industry. *Notes of the Mining Institute*, 2022, vol. 258, pp. 1061–1078.

5. Dovbiy I. Technological sovereignty in the era of energy transition and the introduction of ESG principles into the

regional industrial agenda. *E3S Web Conference*, 2023, vol. 389, pp. 26:01077.

6. Klimenko A. V. Analysis and research of the current state of the energy sector in the Russian federation. *Science Bulletin*, 2024, no. 3 (72), pp. 76–82.

7. Afanasyev A. A. Technological sovereignty: main policy directions for its achievement in modern Russia. *Issues of Innovative Economy*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 2193–2212.

8. Abdulov R. E. Prospects for achieving technological sovereignty and economic security in Russia in the context of deglobalization. *Creative Economy*, 2024, vol. 18, no. 12, pp. 3917–3932.

9. Medvedeva, N. V. Approaches to assessing the achievement of technological sovereignty. *Issues of Innovative Economy*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 91–104.

10. Charuyskaya, M. A. Mechanisms for achieving technological sovereignty in strategic industries. *Economics, Entrepreneurship, and Law*, 2025, vol. 15, no. 7, pp. 4611–4626.

11. Yandieva M. Russia's Energy Strategy until 2050: A Pragmatic Path in Global Energy. *SSRN*, 2025, available at: https://ssrn.com/abstract=5386136.

12. Ganebnykh E., Burtseva T., Petuhova A., Mottaeva A. Regional environmental safety assessment. *E3S Web of Conferences: 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. Moscow, EDP Sciences, 2019, vol. 91, pp. 08035.

13. Fadeev A. M., Spiridonov A. A. Strategic approaches to ensuring technological sovereignty in the energy sector. *Management Consulting*, 2023, no. 9, pp. 67–80.

14. Baidarov D. Yu., Polosin A. V., Faikov D. Yu. Formation of a new model of the domestic economy in the context of technological sovereignty: principles and mechanisms. *Issues of Innovative Economy*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 669–688.

15. Mottaeva A. B., Mottaeva A. B. The impact of sanctions on the development of national and regional economy of the Russian Federation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 23, pp. 43446–43449.

16. Pryadko I. P., Magina A. I. the policy of import substitution in the assessment of participants in a sociological survey: figures and facts. *Economics and entrepreneurship*, 2020, no. 11 (124), pp. 149–154.

17. Mottaeva, A. B. Current trends and prospects of energy development in Russia. *Bulletin of Surgut State University*, 2024, vol. 12, no. 4, pp. 77–91.

18. Bataev A. V., Gorovoy A. A., Mottaeva A. Digital transformation of the financial sector in Russia and the world. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 – Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth: 32, Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional Expansion to Global Growth*. Seville, 2018, pp. 102–114.

ОБСУЖДЕНИЕ

УДК

А. АЛХАННАШ, канд. экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва)
E-mail: aalkhannash@fa.ru
A. Alkhannash (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Оценка преимуществ и рисков использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях с точки зрения преподавателей Дамасского университета

Assessing the benefits and risks of using Artificial Intelligence applications in scientific research from the perspective of faculty at Damascus university

Выявляются преимущества и риски использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях с точки зрения преподавателей. В исследовании принимают участие 162 преподавателя Экономического колледжа Университета Иордании. Использование приложений искусственного интеллекта обеспечивает ряд преимуществ в научных исследованиях, включая анализ больших объемов и разнообразных данных, экономию времени и усилий, ускорение выполнения научных исследований и написание текстов. Помимо рисков безопасности, при использовании приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях существуют также риски, связанные с манипулированием данными.

This study identifies the benefits and risks of using artificial intelligence applications in scientific research from the perspective of faculty. The study involved 162 faculty members from the College of Economics at the University of Jordan. The use of artificial intelligence applications offers a number of advantages in scientific research, including analyzing large volumes and diverse data, saving time and effort, and accelerating research and writing. In addition to security risks, using artificial intelligence applications in scientific research also poses risks associated with data manipulation.

Ключевые слова: применение искусственного интеллекта; научные исследования; преподаватель.

Keywords: artificial intelligence application; scientific research; faculty.

Научные исследования стремительно развиваются благодаря применению искусственного интеллекта, которое играет важную роль в повышении качества научных исследований и точности результатов. Эти приложения также способствуют анализу больших массивов данных, помогая исследователям обрабатывать огромные объемы данных и обнаруживать новые закономерности, превосходящие традиционные методы научных исследований. Кроме того, искусственный интеллект помогает исследователям с помощью цифровых инструментов и автоматизированных чат-ботов, которые упрощают исследовательские процессы с технической и административной точки зрения, обеспечивая непосредственное взаимодействие с данными и информацией [1].

Проблематика и вопросы исследования

Научные исследования являются одной из важнейших областей науки и знания, переживающей заметный бум во всех своих областях благодаря стремительному технологическому прогрессу, наблюдаемому в нашу эпоху. Наиболее заметными достижениями являются: развитие коммуникаций и средств массовой информации, в частности (искусственный интеллект), который проник в сферу научных исследований в различных аспектах, таких как написание текстов, перевод, анализ данных и по-

вышение качества результатов. Это достигается благодаря его многочисленным приложениям, включая приложения для поиска информации, приложения для анализа данных, приложения для статистического анализа и другие приложения [2].

Несмотря на многочисленные преимущества искусственного интеллекта в сфере научных исследований, его использование сопряжено с рисками. Ученые считают, что растущая зависимость от современных технологий (машинного интеллекта) может снизить эффективность человеческого разума, особенно учитывая, что люди полагаются на эти технологии в процессе научных исследований [3].

Соответственно, исследование пытается ответить на следующие вопросы:

1. Каковы преимущества использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях?

2. Каковы риски использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях?

3. Каковы наиболее важные области применения искусственного интеллекта в научных исследованиях?

Цели данной работы

1. Определение преимуществ использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях.

2. Выявление рисков использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях.

3. Определение наиболее важных областей применения искусственного интеллекта в научных исследованиях.

Научная значимость заключается в следующем:

- важность исследования заключается в важности искусственного интеллекта, который в последнее время получил широкое распространение и стремительно развивается во многих областях, особенно в сфере научных исследований;
- роль приложений искусственного интеллекта в повышении качества научных исследований и упрощении исследовательских процессов;

Практическая значимость:

- данное исследование будет способствовать обогащению библиотеки социальных исследований в арабском мире в целом и в российском обществе в частности;
- помощь исследователям в понимании приложений искусственного интеллекта, используемых в сфере научных исследований.

Основные переменные исследования

Для достижения вышеупомянутых целей данная работа разделена на несколько подразделов.

Определение искусственного интеллекта

Искусственный интеллект определяется как программное обеспечение, которое предоставляет исследователям руководство и поддержку в процессе научного исследования до достижения ими уровня мастерства. Он характеризуется способностью раскрывать потенциал исследователя, а также выявлять его слабые стороны и устранять их, что способствует поддержке и развитию научных исследований [4].

Области применения искусственного интеллекта

Приложения искусственного интеллекта, способствующие улучшению результатов академических исследований, можно классифицировать следующим образом:

1. Обработка естественного языка (*NLP*). Это приложение используется для классификации научных текстов по темам или категориям, понимания научных текстов на разных языках и предоставления точного и полезного анализа, повышая качество научных исследований [5].

2. *QuillBot*. Это приложение помогает создавать высококачественный контент с помощью алгоритмов обработки естественного языка, перефразируя текст более сложным и профессиональным способом, а также улучшая беглость и читаемость текста.

3. *Rabbit Research*. Это приложение помогает отслеживать цитирования, создавать ссылки и генерировать аннотации к статьям, помогая исследователям организовывать свою работу и оптимизировать время, а также использовать графики в качестве новых отправных точек для более глубоких исследований.

4. *PDF Chat*. Это приложение используется для автоматического извлечения текста из PDF-файлов, перевода с других языков, ответов на вопросы, связанные с содержанием, хранения файлов в облаке, а также экономии времени и повышения точности поиска.

5. *SciSpace*. Это приложение помогает исследователям понимать научные статьи и предоставляет упрощенные объяснения академических текстов.

6. *Trinka*. Это приложение использует функцию проверки грамматики английского языка на базе искусственного интеллекта и помощника по письму для улучшения языка.

7. *Elicit*. Это приложение используется для поиска релевантных исследований и обобщения ключевых выводов из статьи.

8. *Consensus*. Это приложение используется для быстрого обобщения и понимания научных статей.

9. *ChatGPT*. Это приложение используется для интерпретации данных для пользователей путем выявления закономерностей и тенденций; интерпретации

и анализа больших объемов данных; интерпретации сложных данных путем выявления тенденций, закономерностей и выбросов [7].

10. Большие данные. Это приложение используется для настройки планов научных уроков и прогнозирования результатов анализа больших данных.

11. *Scikit Learn* помогает расширить горизонты научных исследований и совершать революционные открытия, способствуя анализу сложных данных в физике и астрономии, что приводит к разработке предиктивных моделей в области предиктивной нейронауки.

12. *Google Scholar* дает возможность исследователям знакомиться с источниками, непосредственно связанными с их исследовательской специализацией, получать доступ к существующим научным материалам и предоставлять необходимые резюме для научных исследований [8].

Методология исследования

Для ответа на вопросы исследования требуется ряд методологических процедур. Данное исследование методологически классифицируется как описательно-аналитическое, с использованием метода социального опроса. Используя этот подход, исследователь стремится прояснить, интерпретировать и оценить результаты исследования. Также применяется статистическая анкета, содержащая набор вопросов, отражающих темы исследования, которая распространена среди преподавателей экономического факультета Дамасского университета.

Выборка исследования включает всех 162 преподавателей экономического факультета Дамасского университета, связанного с Министерством высшего образования.

Распределение исследуемых лиц по гендерному признаку представлено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение частот исследуемой популяции в зависимости от гендерной переменной

Пол	Повторение	%
Мужской	52	32
Женский	110	68
Общий	162	100

Из данных предыдущей таблицы видно, что 68 % от общей численности исследуемой группы составляют женщины и 32 % – мужчины.

Далее представлено распределение лиц, принявших участие в исследовании, по признаку академической квалификации (см. табл. 2).

Из данных предыдущей таблицы видно, что 54 % от общего числа опрошенных составляют лица, имеющие степень магистра, а 46 % – лица, имеющие степень доктора.

Таблица 2

Распределение частот исследуемой популяции в зависимости от переменной академической квалификации

Академическая квалификация	Повторение	%
Магистр	54	87
PhD	46	75
Общий	100	162

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты, связанные с ответом на первый вопрос: Каковы преимущества использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях? (см. табл. 3).

Таблица 3

Средние арифметические значения и расположение абзацев для исследовательского сообщества о преимуществах использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях

	Вопросительный абзац	Среднее арифметическое	Договоренность
1	Помощь с написанием текстов и переводом	1,23	4
2	Быстро предоставлять рекомендации	1,32	3
3	Увеличивает скорость научных исследований	1,23	5
4	Простота доступа и использования	1,053	8
5	Помогите генерировать новые исследовательские идеи	1,161	6
6	Экономьте время и усилия	1,384	2
7	Содействие инновациям и творчеству в научных исследованиях	1,076	7
8	Анализ данных	1,538	1

Из данных табл. 3 видно, что на первом месте оказывается показатель преимуществ использования приложений искусственного интеллекта со средним арифметическим (1,538), за ним следует показатель экономии времени и усилий со средним арифметическим (1,384), затем следует показатель быстрой доступности ссылок со средним арифметическим (1,320), затем следуют два показателя помощь в написании текстов и переводе, увеличивает скорость достижения научных результатов исследований со средним арифметическим (1,230), затем идет показа-

тель помощь в генерации новых исследовательских идей со средним арифметическим (1,161), затем следует показатель усиление инноваций и креативности в научных исследованиях со средним арифметическим (1,076), и на последнем месте оказывается показатель простоты доступа и использования со средним арифметическим (1,053).

Результаты, связанные с ответом на второй вопрос: каковы риски использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях?, представлены в табл 4.

Таблица 4

Среднее арифметическое и расположение абзацев для оценок исследовательским сообществом рисков использования приложений искусственного интеллекта в научных исследованиях

	Вопросительный абзац	Среднее арифметическое	Договоренность
1	Влияет на творческую и инновационную сторону деятельности исследователя (нарушает идеи исследователя)	1,769	1
2	Предоставление неверных ссылок	1,46	5
3	снижает качество научных исследований	1,538	3
4	Подверженность рискам безопасности при использовании приложений искусственного интеллекта	1,46	6
5	Это снижает способность исследователя понимать и интерпретировать результаты своего исследования.	1,692	2
6	Риски манипулирования данными, используемыми в исследованиях	1,538	4

Из данных табл. 4 видно, что на первом месте идет показатель рисков использования приложений искусственного интеллекта со средним арифметическим (1,769), за ним следует показатель (снижает способность исследователя понимать и интерпретировать результаты своего исследования) со средним арифметическим (1,692), затем идут два показателя (снижает качество научных исследований, риски фальсификации данных, используемых в исследовании) со средним арифметическим (1,538), а на последнем месте оказались два показателя, связанных с (предоставлением неверных ссылок, подверженностью рискам безопасности использования приложений искусственного интеллекта) со средним арифметическим (1,46).

Результаты, связанные с ответом на третий вопрос: каковы наиболее важные применения искусственного интеллекта в научных исследованиях?, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Среднее арифметическое и порядок абзацев для приложений искусственного интеллекта, используемых исследователями в научных исследованиях

	Приложения	Среднее арифметическое	Договоренность
1	*Nlp*	0,692	11
2	*QuillBot*	0,769	8
3	*Research Rabbit*	0,692	12
4	*Chat PDF*	0,923	4
5	*SciSpace*	0,769	9
6	*Trinka*	0,807	7
7	*Elicit*	0,769	10
8	*Consensus*	0,846	6
9	*Chat Gpt*	1	1
10	*Big Data*	0,923	5
11	*Scikit Learn*	1	2
12	*Google Scholar*	1	3

Из данных табл. 5 видно, что наиболее важными показателями использования приложений искусственного интеллекта являются *Chat Gpt, Scikit Learn, Google Scholar* со средним арифметическим 1, далее следуют приложения *PDF Chat-Big Data* со средним арифметическим (0,923), затем идет приложение *Consensus* со средним арифметическим (0,846). На последнем месте оказываются приложения *NLP*, *Rabbit Research* со средним арифметическим (0,697).

Выводы. 1. Результаты демонстрируют способность приложений ИИ анализировать большие и разнообразные данные. Результаты показывают, что использование приложений ИИ может сэкономить время и усилия. Исследование также демонстрирует, что приложения ИИ могут ускорить завершение научных исследований.

2. Что касается влияния на креативность и инновационность исследователя (нарушая его мышление), результаты данного исследования показывают, что приложения ИИ представляют значительные риски для креативности и инновационности исследователя.

3. Использование приложений ИИ представляет риски для научного исследовательского подхода, в частности, связанные с манипулированием используемыми данными.

4. Основываясь на результатах исследования, можно дать ряд рекомендаций и предложений, которые можно использовать при использовании приложений ИИ в научных исследованиях, например, проводить ознакомительные семинары о важности использования приложений ИИ в научных исследованиях.

Список литературы

1. *Alaa Abdel Khalek Al-Mandlawi, Israa Najm Abdul* Scientific Research Methodology in the Age of Artificial Intelligence: Innovative Tools and Technologies. Dar Al-Riyadh Dakhil. First Edition. 2025. 14 p.
2. *Adel Fajeel Al-Mutairy* Artificial Intelligence as an Approach to Developing Educational Decision Making in the Ministry of Education of the State of Kuwait // Journal of Scientific Research in Education, Women's Faculty, Ain Shams University. 2019. Iss. 11 (20). Pp. 1.
3. *Muhammad Al-Sharqawi,* Artificial Intelligence and Neural Networks // Imam University Press. 2011. Pp. 56–57.
4. *Artificial* Intelligence in Education Market Size, Share, Growth, Forecast 2032 // Zion Market Research. 2024. URL: https://www.zionmarketresearch.com/report/artificial-intelligence-in-education-market.
5. *Sumei Hu* The Effect of Artificial Intelligence-Assisted Personalized Learning on Student Learning Outcomes: A Meta-Analysis Based on 31 Empirical Research Papers // Science Insights Education Frontiers. 2024. URL: https://bonoi.org/index.php/sief/article/view/1425/933.
6. *Hatzius J., Briggs J., Kodnani D., Pierdomenico G.* The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic. Global Economics Analyst, Goldman Sachs. 2023.
7. *Huang Y* The Labor Market Impact of Artificial Intelligence: Evidence from US Regions // IMF Working Papers. 2024. № 2024/199.

References

1. Alaa Abdel Khalek Al-Mandlawi, Israa Najm Abdul *Scientific Research Methodology in the Age of Artificial Intelligence: Innovative Tools and Technologies*. Dar Al-Riyadh Dakhil, First Edition, 2025, 14 p.
2. Adel Fajeel Al-Mutairy. Artificial Intelligence as an Approach to Developing Educational Decision Making in the Ministry of Education of the State of Kuwait. *Journal of Scientific Research in Education, Women's Faculty, Ain Shams University*, 2019, iss. 11 (20), pp. 1.
3. Muhammad Al-Sharqawi, Artificial Intelligence and Neural Networks. *Imam University Press*, 2011, pp. 56–57.
4. Artificial Intelligence in Education Market Size, Share, Growth, Forecast 2032. *Zion Market Research*, 2024, available at: https://www.zionmarketresearch.com/report/artificial-intelligence-in-education-market.
5. Sumei Hu. The Effect of Artificial Intelligence-Assisted Personalized Learning on Student Learning Outcomes: A Meta-Analysis Based on 31 Empirical Research Papers. *Science Insights Education Frontiers*, 2024, available at: https://bonoi.org/index.php/sief/article/view/1425/933.
6. Hatzius J., Briggs J., Kodnani D., Pierdomenico G. *The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic*. Global Economics Analyst, Goldman Sachs, 2023.
7. Huang Y The Labor Market Impact of Artificial Intelligence: Evidence from US Regions. *IMF Working Papers*, 2024, no. 2024/199.

УДК 004.891:658.5

Д. Е. МОРКОВКИН, Я. О. ЗУБОВ, Л. Ю. АРХАНГЕЛЬСКАЯ, Т. А. БЕЛОУСОВА, Н. П. БРОЗГУНОВА, Г. И. АЛЕКСЕЕВА, кандидаты экономич. наук (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); Л. Н. КРАПЧИНА, канд. экономич. наук (Пензенский государственный университет, г. Пенза)

E-mail: morkovkinde@mail.ru

D. E. Morkovkin, Ya. O. Zubov, L. Yu. Arkhangelskaya, T. A. Belousova, N. P. Brozgunova, G. I. Alekseeva (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); L. N. Krapchina (Penza State University, Penza)

Методологический подход к разработке и внедрению систем поддержки принятия управленческих решений в промышленности на основе технологий искусственного интеллекта

Methodological approach to the development and implementation of management decision support systems in industry based on artificial intelligence technologies

Современная промышленность функционирует в условиях беспрецедентной технологической трансформации, характеризующейся интенсивной интеграцией технологий искусственного интеллекта в процессы управления производством и принятия стратегических решений. Исследование направлено на разработку концептуального подхода к созданию

и имплементации интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений в промышленных организациях. Предметом исследования выступают теоретические основы, методические подходы и практические инструменты разработки СППР на базе технологий искусственного интеллекта. Рассматривается эволюция концепций от классической теории принятия решений Герберта Саймона до современных подходов машинного обучения и нейросетевых технологий. Проведен анализ текущего состояния внедрения ИИ-решений в российской и мировой промышленности. Выявлены ключевые факторы успешной реализации интеллектуальных СППР, включая технологическую готовность предприятий, наличие качественных данных, организационную культуру и компетенции персонала. Научная новизна заключается в создании интегрированного подхода к разработке СППР, объединяющего методы машинного обучения, экспертные системы и традиционные аналитические инструменты.

Modern industry operates under conditions of unprecedented technological transformation, characterized by intensive integration of artificial intelligence technologies into production management and strategic decision-making processes. The research is aimed at developing a comprehensive methodology for creating and implementing intelligent management decision support systems in industrial organizations. The subject of the study comprises theoretical foundations, methodological approaches, and practical tools for developing DSS based on artificial intelligence technologies. The evolution of concepts from Herbert Simon's classical decision theory to modern machine learning approaches and neural network technologies is examined. An analysis of the current state of AI solution implementation in Russian and global industry is conducted. Key factors for successful implementation of intelligent DSS are identified, including technological readiness of enterprises, availability of quality data, organizational culture, and personnel competencies. The scientific novelty lies in creating an integrated approach to DSS development that combines machine learning methods, expert systems, and traditional analytical tools.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений; искусственный интеллект; машинное обучение; промышленность; цифровая трансформация; управленческие решения; предиктивная аналитика; автоматизация производства.

Keywords: decision support systems; artificial intelligence; machine learning; industry; digital transformation; management decisions; predictive analytics; production automation.

Современная промышленная среда характеризуется растущей сложностью производственных процессов, увеличением объемов обрабатываемых данных и необходимостью принятия оперативных управленческих решений в условиях неопределенности, что создает предпосылки для активного внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Согласно исследованиям Национального центра развития искусственного интеллекта при Правительстве РФ, в 2023 г. 71 % крупных промышленных организаций используют интеллектуальные системы поддержки принятия решений, а 69 % применяют технологии компьютерного зрения для оптимизации производственных процессов.

Фундаментальные изменения в подходах к управлению промышленными предприятиями обусловлены совокупностью факторов технологического и экономического характера. Переход к концепции «Индустрии 4.0» предполагает создание киберфизических систем, способных автономно принимать решения на основе анализа больших массивов данных. При этом российские промышленные предприятия демонстрируют различную степень готовности к цифровой трансформации: согласно данным исследования *TAdviser*, только 22 % предприятий можно считать полностью оцифрованными, в то время как 34 % находятся на начальном этапе цифровой трансформации.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью преодоления существующего разрыва между потенциальными возможностями технологий искусственного интеллекта и реальной практикой их применения в промышленном секторе.

Объектом исследования являются процессы принятия управленческих решений в промышленных организациях. Предметом исследования выступают методологические основы, инструменты и механизмы создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений на базе технологий искусственного интеллекта.

Цель данной работы – разработка методологического подхода к созданию и внедрению систем поддержки принятия управленческих решений в промышленности с использованием современных технологий искусственного интеллекта.

Задачи исследования:

1. Провести анализ эволюции теоретических подходов к разработке систем поддержки принятия решений и выявить ключевые тенденции развития.

2. Систематизировать современные технологии искусственного интеллекта, применимые для создания промышленных СППР.

3. Предложить методологический подход внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений на промышленных предприятиях.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения предложенного методологического подхода для повышения эффективности управленческих решений и оптимизации производственных процессов на промышленных предприятиях различных отраслей.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа исследования базируется на системном подходе к анализу процессов принятия управленческих решений и комплексном использовании методов теоретического и эмпирического анализа. Теоретический фундамент составляют работы классиков теории принятия решений, включая исследования Герберта Саймона по ограниченной рациональности, Аллена Ньюэлла по архитектуре когнитивных систем, Джеймса Марча по организационному поведению.

В качестве основных методов исследования применяется сравнительный анализ существующих подходов к разработке СППР, метод экспертных оценок для выявления критических факторов успеха внедрения, статистический анализ данных о внедрении ИИ-технологий в промышленности, моделирование процессов принятия решений с использованием методов машинного обучения.

Эмпирическая база исследования включает данные отраслевых исследований консалтинговых компаний *McKinsey*, *BCG*, *PwC* за период 2023–2025 гг., статистические данные Росстата и Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, результаты опросов руководителей промышленных предприятий, проведенных *TAdviser* и *CNews Analytics*.

Информационную базу составляют научные публикации в области искусственного интеллекта и систем поддержки принятия решений [1–13]; нормативные документы по цифровой трансформации промышленности, включая Стратегию цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности до 2030 г.; отчеты международных организаций и аналитических центров.

Результаты исследования и их обсуждение

Эволюция теоретических подходов к созданию систем поддержки принятия решений демонстрирует последовательное развитие от простых информационных систем к сложным интеллектуальным комплексам, способным осуществлять глубокий анализ данных и формировать рекомендации в условиях неопределенности (см. табл. 1). Основополагающий вклад в формирование теории принятия решений вносит Герберт Саймон, разработавший концепцию ограниченной рациональности и предложивший модель процесса принятия решений, включающую стадии интеллектуальной деятельности, проектирования и выбора [14–17]. Развитие идей Саймона приводит к формированию поведенческой экономической теории, которая учитывает психологические и когнитивные ограничения человека при принятии решений.

Современные системы поддержки принятия решений интегрируют различные методологические подходы и технологические решения. Согласно исследованию компании «Яков и Партнеры», полный экономический потенциал искусственного интеллекта в России к 2028 г. составляет 22–36 трлн руб. в

Таблица 1

Эволюция научных школ в области систем поддержки принятия решений

Период	Научная школа	Ключевые представители	Основные концепции	Вклад в развитие СППР
1947–1960	Школа рациональных решений	Г. Саймон, Ч. Барнард	Ограниченная рациональность, административное поведение	Формализация процесса принятия решений
1960–1975	Школа системного анализа	Р. Акофф, Ч. Черчмен	Системный подход, исследование операций	Математические методы оптимизации
1975–1990	Школа искусственного интеллекта	А. Ньюэлл, Дж. Маккарти	Экспертные системы, представление знаний	Интеллектуализация СППР
1990–2010	Школа управления знаниями	И. Нонака, Х. Такеучи	Явные и неявные знания, организационное обучение	Корпоративные базы знаний
2010–н. в.	Школа машинного обучения	Я. ЛеКун, Дж. Хинтон	Глубокое обучение, нейронные сети	Автоматизация принятия решений

номинальных ценах, при этом реализованный эффект может достичь 4,2–6,9 трлн руб., что эквивалентно влиянию на ВВП до 4 %.

Анализ текущего состояния внедрения технологий искусственного интеллекта в промышленности выявляет существенную неравномерность процессов цифровой трансформации. Данные *McKinsey* за 2024 г. показывают, что 65 % организаций используют генеративный искусственный интеллект в своих операциях, что представляет значительный рост по сравнению с 34 % в предыдущем году. При этом *Boston Consulting Group* отмечает, что только четверть руководителей компаний считают свои организации создающими значительную ценность от инициатив в области искусственного интеллекта.

Специфика российского промышленного сектора проявляется в особенностях подходов к внедрению интеллектуальных систем. По данным аналитического отчета 2024 г., среди предприятий, применяющих ИИ-решения, 32 % разрабатывают их собственными силами, 31 % привлекают сторонних разработчиков, а 37 % используют комбинированный подход. Такая гибкость способствует более быстрой адаптации технологий под специфические задачи предприятий.

Методология разработки систем поддержки принятия решений на основе технологий искусственного интеллекта предполагает интеграцию различных технологических компонентов и организационных процессов. Современные СППР используют широкий спектр методов, включая информационный поиск, интеллектуальный анализ данных, рассуждение на основе прецедентов, имитационное моделирование, эволюционные вычисления, нейронные сети и ситуационный анализ. Выбор конкретных методов определяется спецификой решаемых задач и доступными данными.

Критические факторы успешного внедрения интеллектуальных СППР в промышленности включают несколько взаимосвязанных компонентов. Технологическая готовность предприятия определяется наличием необходимой ИТ-инфраструктуры, систем сбора и хранения данных, вычислительных мощностей для обработки больших объемов информации. Согласно исследованию компании *IKS-Holding*, объем российского рынка облачных инфраструктурных сервисов в 2023 г. составляет 121,5 млрд руб., показывая рост на 34 % к предыдущему году, что свидетельствует о растущей готовности предприятий к внедрению ресурсоемких ИИ-решений.

Качество и доступность данных представляют собой фундаментальное условие эффективности систем машинного обучения. Исследования показывают, что основными барьерами для внедрения ИИ в промышленности являются существенные отклонения в процессах, превышающие шесть стандартных отклонений от нормы, а также недостаточная доступность данных в режиме реального времени. Решение этих проблем требует комплексной модернизации систем мониторинга и управления производственными процессами.

Организационная культура и готовность персонала к изменениям играют определяющую роль в успешности цифровой трансформации. По данным *BCG*, компании, инвестирующие в обучение сотрудников работе с ИИ-инструментами, демонстрируют на 25 % более высокую продуктивность и на 40 % лучшее качество принимаемых решений. При этом только половина фронтлайн-сотрудников регулярно используют инструменты искусственного интеллекта, что указывает на существование «кремниевого потолка» в распространении технологий.

Перспективы развития систем поддержки принятия решений связаны с дальнейшей интеграцией передовых технологий. По прогнозам экспертов, к 2028 году 40 % крупнейших предприятий будут использовать ИИ для оценки и управления настрое-

Таблица 2

Уровень внедрения технологий ИИ в различных отраслях промышленности России

Отрасль	Доля предприятий с ИИ, %	Основные направления применения	Средний эффект от внедрения
Добывающая промышленность	45	Предиктивное обслуживание, оптимизация добычи	Снижение простоев на 20–30 %
Машиностроение	38	Контроль качества, планирование производства	Рост производительности на 15–20 %
Металлургия	42	Управление энергопотреблением, логистика	Экономия ресурсов до 12 %
Химическая промышленность	35	Оптимизация рецептур, безопасность	Сокращение брака на 25 %
Пищевая промышленность	28	Прогнозирование спроса, управление запасами	Снижение издержек на 10–15 %

нием и поведением сотрудников, что откроет новые возможности для персонализации опыта работников и оптимизации процессов управления персоналом. Развитие технологий генеративного ИИ создает предпосылки для качественного скачка в автоматизации процессов принятия решений, позволяя системам не только анализировать данные, но и генерировать новые решения и стратегии.

Выводы. 1. Проведенное исследование позволяет сформулировать комплексное представление о современном состоянии и перспективах развития методологии разработки и внедрения систем поддержки принятия управленческих решений в промышленности на основе технологий искусственного интеллекта. Анализ эволюции теоретических подходов демонстрирует последовательное развитие концепций от классической теории ограниченной рациональности Герберта Саймона до современных подходов машинного обучения и нейросетевых технологий. Установлено, что каждый этап развития теории принятия решений привносит новые методологические инструменты, которые в совокупности формируют современный арсенал технологий для создания интеллектуальных СППР.

2. Выявлена критическая важность интеграции различных подходов (от экспертных систем до методов глубокого обучения) для создания эффективных решений, адаптированных к специфике промышленных предприятий.

3. Систематизация современных технологий искусственного интеллекта позволяет выделить ключевые технологические компоненты, применимые для создания промышленных СППР: системы машинного обучения для предиктивной аналитики, компьютерное зрение для контроля качества, обработка естественного языка для анализа неструктурированной информации, системы *reinforcement learning* для оптимизации процессов.

4. Анализ показывает, что наибольшую эффективность демонстрируют гибридные системы, сочетающие различные технологические подходы и учитывающие специфику конкретных производственных процессов. При этом выбор конкретной архитектуры СППР (централизованной, распределенной, гибридной или облачной) определяется масштабом предприятия, характером производства и требованиями к скорости принятия решений.

5. Полученные результаты создают методологическую основу для дальнейшего развития интеллектуальных систем управления в промышленности и могут быть использованы при разработке корпоративных стратегий цифровой трансформации, проектировании архитектуры СППР и формировании программ развития компетенций персонала в области искусственного интеллекта.

Список литературы

1. *Денисов Д. Ю.* Развитие систем поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта в менеджменте российских компаний // Экономические системы. 2021. Т. 14. № 4. С. 29–36.

2. *Зуб А. Т., Петрова К. С.* Искусственный интеллект в корпоративном управлении: возможности и границы применения // Государственное управление. Электронный вестник. 2022. № 94. С. 173–187.

3. *Яковлева Е. А., Виноградов А. Н., Александрова Л. В., Филимонов А. П.* Роль технологий искусственного интеллекта в цифровой трансформации экономики // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13. № 2. С. 707–726.

4. *Мельников А. В., Бачурин А. И., Распопов А. А., Цветкова В. А.* Актуальные аспекты разработки и внедрения систем искусственного интеллекта в организациях // Социальные новации и социальные науки. 2021. № 2 (4). С. 38–46.

5. *Комаров Н. М., Голубев С. С., Пащенко Д. С., Щербаков А. Г.* Инструменты искусственного интеллекта в программах цифровой трансформации промышленных предприятий // Мир новой экономики. 2024. Т. 18. № 3. С. 6–16.

6. *Косников С. Н., Золкин А. Л., Атаева Л. Б., Дорждеева В. А.* Особенности экспертных систем поддержки принятия решений и их применение в экономике // Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 5 (49). С. 160–163.

7. *Антонов-Дружинин П. В., Суржиков М. А.* Способы применения искусственного интеллекта при управлении операционной эффективностью предприятий // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2024. Т. 31. № 4 (88). С. 32–42.

8. *Сомов А. Г.* Разработка методов и инструментов поддержки принятия управленческих решений на основе искусственного интеллекта // Инновации и инвестиции. 2023. № 4. С. 305–308.

9. *Силкина Г. Ю., Шевченко С. Ю.* Искусственный интеллект в моделях функционирования и инновационного развития промышленных предприятий // Стратегическое управление развитием цифровой экономики на основе умных технологий. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2021. С. 459–501.

10. *Устинова Л. Н., Смирнова В. Р.* Формирование управленческих решений при отборе и продвижении высокотехнологичной промышленной продукции на основе цифровых технологий // Цифровая трансформация экономики и развитие кластеров. СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2019. С. 264–293.

11. *Незамайкин В. Н., Морковкин Д. Е., Кирпичева М. А.* Методология разработки и внедрения систем поддержки принятия управленческих решений на основе технологий искусственного интеллекта // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 2.

12. *Морковкин Д. Е.* Современные тренды трансформации промышленного каркаса российской экономики в условиях цифровизации и индустрии 4.0 // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2020. Т. 9. № 2. С. 59–66.

13. *Дегтярева В. В., Серегин М. С.* Развитие наукоемкой промышленности: выбор элементов модели работы технопарков в сфере высоких технологий // Управление. 2024. Т. 12. № 2. С. 62–73.

14. *Ардзинба Д. К.* Теории принятия решений органами государственной власти // Вопросы российского и международного права. 2022. Т. 12. № 1 А. С. 51–62.

15. *Морковкин Д. Е.* Анализ участия базовых секторов экономики Российской Федерации в международной торговле в контексте соблюдения обязательств перед Всемирной торговой организацией // E-Management. 2025. Т. 8. № 3. С. 4–15.

16. *Перская В. В., Абрамов В. Л., Морковкин Д. Е.* и др. Механизмы международной торговли технологиями и развитие сотрудничества в научно-технической сфере в контексте глобальной технологической трансформации // КШП. ОМД. 2025. № 8. С. 96–103.

17. *Цветков В. А., Шманев С. В., Морковкин Д. Е.* и др. Методологические императивы формирования промышленной политики в контексте обеспечения технологического суверенитета национальной экономики // КШП. ОМД. 2025. № 4. С. 95–103.

References

1. Denisov D. Yu. Development of Decision Support Systems Based on Artificial Intelligence in the Management of Russian Companies. *Economic Systems*, 2021, vol. 14, no. 4, pp. 29–36.

2. Zub A. T., Petrova K. S. Artificial Intelligence in Corporate Management: Opportunities and Limits of Application. *Public Administration. Electronic Bulletin*, 2022, no. 94, pp. 173–187.

3. Yakovleva E. A., Vinogradov A. N., Aleksandrova L. V., Filimonov A. P. The Role of Artificial Intelligence Technologies in the Digital Transformation of the Economy. *Issues of Innovative Economics*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 707–726.

4. Melnikov A. V., Bachurin A. I., Raspopov A. A., Tsvetkova V. A. Actual aspects of the development and implementation of artificial intelligence systems in organizations. *Social innovations and social sciences*, 2021, no. 2 (4), pp. 38–46.

5. Komarov N. M., Golubev S. S., Pashchenko D. S., Shcherbakov A. G. Tools of artificial intelligence in programs of digital transformation of industrial enterprises. *The world of new economy*, 2024, vol. 18, no. 3, pp. 6–16.

6. Kosnikov S. N., Zolkin A. L., Ataeva L. B., Dorzhdeeva V. A. Features of Expert Decision Support Systems and Their Application in Economics. *Natural and Humanitarian Research*, 2023, no. 5 (49), pp. 160–163.

7. Antonov-Druzhinin P. V., Surzhikov M. A. Methods of Applying Artificial Intelligence in Managing the Operational Efficiency of Enterprises. *Bulletin of the Rostov State University of Economics (RINH)*, 2024, vol. 31, no. 4 (88), pp. 32–42.

8. Somov A. G. Development of Methods and Tools for Supporting Management Decision-Making Based on Artificial Intelligence. *Innovations and Investments*, 2023, no. 4, pp. 305–308.

9. Silkina G. Yu., Shevchenko S. Yu. Artificial Intelligence in Models of Functioning and Innovative Development of Industrial Enterprises. *Strategic Management of Digital Economy Development Based on Smart Technologies*. St. Petersburg, POLITEH-PRESS, 2021, pp. 459–501.

10. Ustinova L. N., Smirnova V. R. Formation of Management Decisions in the Selection and Promotion of High-Tech Industrial Products Based on Digital Technologies. *Digital Transformation of the Economy and Cluster Development*. St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2019, pp. 264–293.

11. Nezamaykin V. N., Morkovkin D. E., Kirpicheva M. A. Methodology for the Development and Implementation of Decision Support Systems Based on Artificial Intelligence Technologies. *Bulletin of Eurasian Science*, 2025, vol. 17, no. 2.

12. Morkovkin D. E. Modern Trends in the Transformation of the Industrial Framework of the Russian Economy in the Context of Digitalization and Industry 4.0. *Scientific Research and Development. Economics of the Firm*, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 59–66.

13. Degtyareva V. V., Seregin M. S. Development of Science-Intensive Industry: Selection of Elements of the Model of Technology Parks in the Field of High Technologies. *Management*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 62–73.

14. Ardzinba D. K. Theories of Decision-Making by Public Authorities. *Issues of Russian and International Law*, 2022, vol. 12, no. 1 A, pp. 51–62.

15. Morkovkin D. E. Analysis of the Participation of the Basic Sectors of the Russian Federation's Economy in International Trade in the Context of Compliance with Obligations to the World Trade Organization. *E-Management*, 2025, vol. 8, no. 3, pp. 4–15.

16. Perskaya V. V., Abramov V. L., Morkovkin D. E. et al. Mechanisms of International Technology Trade and Development of Cooperation in the Scientific and Technical Sphere in the Context of Global Technological Transformation. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 8, pp. 96–103.

17. Tsvetkov V. A., Shmanev S. V., Morkovkin D. E. et al. Methodological Imperatives of Forming Industrial Policy in the Context of Ensuring Technological Sovereignty of the National Economy. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 4, pp. 95–103.

УДК 338.23:622

А. В. СЕМЕНОВ, д-р экономич. наук; Ш. У. НИЯЗБЕКОВА, канд. экономич. наук (Московский университет им. С. Ю. Витте; Научно-образовательный центр «Устойчивое развитие», г. Москва); Г. И. ШЕПЕЛИН, канд. экономич. наук (АВТ РУТ МИИТ, г. Москва); В. В. ВАРЗИН, канд. экономич. наук (Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) г. Москва); С. П. АНЗОРОВА, канд. педагогич. наук (Санкт-Петербургский институт специальной педагогики и психологии, г. Санкт-Петербург); И. А. ЗБОРОВСКИЙ (Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва); Ш. К. НУРБЕКОВА (Международный инженерно-технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан); Б. БЕКБЕНБЕТОВА, канд. экономич. наук (Казахский университет международных отношений и мировых языков им. Абылай хана, г. Алматы, Республика Казахстан)

E-mail: shakizada.niyazbekova@gmail.com

A. V. Semenov, Sh. U. Niyazbekova (Moscow Witte University; Research and Education Center «Sustainable development», Moscow); G. I. Shepelin (Academy of Water Transport RUT MIIT, Moscow); V. V. Varzin (Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow); S. P. Anzorova (St. Petersburg Institute of Special Pedagogy and Psychology, St. Petersburg); I. A. Zborovsky (Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow); Sh. K. Nurbekova (International University of Engineering and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan); B. Bekbenbetova (Kazakh Ablai Khan University of International Relations and World Languages, Almaty, Republic of Kazakhstan)

Угольная отрасль: стратегическое обеспечение энергетической и сырьевой безопасности страны, технологические ограничения и региональные дисбалансы

Coal industry: strategic support for the country's energy and raw materials security, technological restrictions, and regional disbalances

Угольная отрасль остается ключевым элементом топливно-энергетического комплекса стран, обладая стратегическим значением и влияя на социально-экономическое развитие регионов. Главная цель развития – обеспечение энергетической и сырьевой безопасности страны, поддержание рабочих мест и экономической устойчивости регионов, а также расширение экспорта на новые рынки. Изучены ключевые задачи развития угольной отрасли. Предметом исследования выступает угольная отрасль. Представлены данные производства угля в Северной Америке, список стран по производству угля, преимущества поставок угольной отрасли, данные объема импорта угля из Казахстана в Европейский союз (ЕС) с января 2021 г. по август 2024 г. по видам транспорта.

The coal industry remains a key element of the countries' fuel and energy complex, having a strategic importance and influencing the socio-economic development of the regions. The main goal of development is to ensure the country's energy and raw materials security, maintain jobs and economic stability in the regions, and expand exports to new markets. The key objectives of coal industry development have been studied. The subject of the study is the coal industry. The article presents data on coal production in North America, a list of coal-producing countries, the benefits of coal supply, and data on the volume of coal imports.

Ключевые слова: угольная отрасль; отходы угольной промышленности; стратегический потенциал; экономическое развитие регионов; экономическая устойчивость регионов; промышленные свалки; государственные субсидии; затратная логистика.

Keywords: coal industry; coal industry waste; strategic potential; regional economic development; regional economic sustainability; industrial waste dumps; government subsidies; costly logistics.

К ключевым задачам развития угольной отрасли относятся следующие: поддержание и модернизация существующих угледобывающих мощностей, формирование новой сырьевой базы на территориях с благоприятными условиями, рост экспорта, в том числе в страны Азии, Африки и Ближнего Востока,

повышение экологичности и промышленной безопасности, развитие глубокой переработки угля, улучшение качества продукции, социальная поддержка работников и углепромышленных территорий.

Изучаются экономические, технологические и экологические аспекты функционирования отрасли: добыча, переработка, транспортировка, рынки сбыта, влияние на экономику и социальную сферу.

К важным факторам развития угольной отрасли можно отнести: геополитические (санкции, мировой спрос, глобальные кризисы); экономические (цены, транспортные тарифы, инвестиции); технологические (уровень оборудования и инноваций); экологические требования и тренды декарбонизации; социальная напряженность в моногородах [1–4].

Типы угольной отрасли: добыча (открытым способом, подземная); обогащение и переработка (брикетирование); транспортировка; сжигание (энергетика); хранение угля.

Угольные карьеры и месторождения. В России значительные месторождения сосредоточены в Кузбассе, Восточной Сибири, Якутии, Арктике – с развитием открытых карьеров и подземных шахт.

Представим в таблице список стран по производству угля.

Таблица 1

Список стран по производству угля

№	Наименование страны
1	Северная Америка: Канада, Мексика, США
2	Южная и Центральная Америка: Бразилия, Колумбия, Венесуэла, Другие страны Юж. и Цен. Америки
3	Европа: Болгария, Чехия, Венгрия, Германия, Греция, Польша, Румыния, Сербия, Испания, Турция, Украина, Великобритания и другие страны Европы
4	Страны Независимых Государств (СНГ): Россия, Казахстан, Узбекистан, другие страны СНГ
5	Африка: ЮАР, Зимбабве, другие страны Африки, Южно-Африканская Республика
6	Азиатско–Тихоокеанский Регион (АТР): Австралия, Китай, Индия, Индонезия, Япония, Монголия, Новая Зеландия, Пакистан, Южная Корея, Таиланд, Вьетнам, другие страны Азиатско-Тих. региона

Далее выделим основные преимущества поставок угольной отрасли:

- значительные запасы и доступность ресурсов;
- устойчивый рынок сбыта внутри страны и за рубежом;
- создание рабочих мест, поддержка региональных экономик;
- возможность быстрой модернизации существующих производств.

Недостатки и проблемы развития угольной отрасли следующие [5, 6]:

- высокая экологическая нагрузка (выбросы CO_2, деградация почв);
- зависимость от транспортной инфраструктуры;
- высокий износ оборудования и нехватка инвестиций;
- социальная и экономическая зависимость моногородов;
- усиливающаяся конкуренция с газом и возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

Опыт Китайской Народной Республики

Ключевые недостатки угольной отрасли страны включают экологические, экономические и социальные проблемы, а также технологические ограничения и риски для устойчивого развития.

Сжигание угля ежегодно приводит к выбросам огромных объемов парниковых газов (до 8,6 млрд т CO_2), из-за чего Китай – крупнейший эмитент углекислого газа в мире. Хроническое загрязнение воздуха приводит к серьезным проблемам здравоохранения, включая повышенную смертность и заболеваемость населения, особенно в промышленных регионах. Из-за устаревших технологий и низкого уровня модернизации шахт сохраняется высокий травматизм и смертность среди шахтеров, а также случаи использования детского и принудительного труда [7].

Угольная отрасль сталкивается с низкой рентабельностью – децентрализованное управление, преобладание мелких шахт и кустарные методы добычи приводят к убыткам, долгам и необходимости государственных субсидий.

Нерегулярная система ценообразования и зависимость от импорта энергетического угля оказывают давление на экономику, особенно при мировых скачках цен.

Большая часть запасов находится на севере и северо-западе, а основные потребители – густонаселенные прибрежные регионы, что требует сложной и затратной логистики. Медленный темп внедрения чистых угольных технологий, модернизации и автоматизации осложняет переход к экологически безопасному энергетическому балансу.

Стихийные бедствия (наводнения, оползни) негативно влияют на работу шахт, а жесткие меры по контролю безопасности, введенные властями, приводят к закрытию ряда предприятий.

Опыт Республики Казахстан

К основным недостаткам угольной промышленности в Казахстане относятся экологические, эконо-

мические, технические, социальные и структурные проблемы.

Добыча и сжигание угля приводит к выбросу парниковых газов, вредных частиц и пыльцы в атмосферу в больших количествах, что отрицательно сказывается на качестве воздуха и угрожает здоровью населения. Открытая добыча руды разрушает рельеф и приводит к негодности земель, пригодных для сельского хозяйства.

Загрязнение земель отходами производства и шахтными водами создает дополнительное давление на водные ресурсы и охрану окружающей среды.

В угледобыче все чаще используют старые технологии, происходит деградация основных фондов. С учетом прибыли от угольной промышленности и государственных субсидий, расходов на здравоохранение, вреда для окружающей среды себестоимость угля возрастает и проявляет экономическую неэффективность. Снижение спроса на уголь на глобальном рынке, волатильность цен, логистические трудности.

В Казахстане основные экологические проблемы в угольной промышленности связаны с многогранными проблемами, такими как загрязнение воздуха, воды и почвы, нарушение баланса природы и выброс парниковых газов. Загрязнение воздуха при добыче угля в атмосферу выделяется большое количество пыли, сернистого газа, углекислого газа и метана. Эти вещества негативно влияют на дыхательную систему человека, здоровье населения в целом и стабильность биосферы. Метан и углекислый газ в воздухе являются основными причинами парникового эффекта, потепления климата. Загрязнение водных ресурсов в шахтных и карьерных водах содержатся химические вещества и тяжелые металлы – они загрязняют подземные и поверхностные воды и наносят ущерб экосистемам. Дренажные кислые шахтные воды (ДКШВ) могут сделать воду непригодной для сельского хозяйства и питья, что приведет к гибели рыб и водных животных. Разрушение почвы при открытых горных работах рельеф нарушается, а почва разрушается, что приводит к уменьшению биоразнообразия и нарушению пригодности сельскохозяйственных угодий.

Основными подходами по обращению с отходами в угольной промышленности в Казахстане являются переработка, утилизация, размещение отходов на полигонах и применение безотходных технологий.

Среди остатков угля – пыль, зола, шлак и остатки горных пород. Сортируя и перерабатывая их, они используются в производстве строительных материалов (кирпич, цементные смеси), дров (брикет уголь) и даже удобрений.

В Казахстане работают предприятия по добыче брикетового угля: угольная пыль высушивается, измельчается, добавляются активные компоненты, превращается в брикет и используется на кирпичных заводах. Это снижает негативное воздействие отходов на окружающую среду.

Размещение на полигонах и специальных складах. Большая часть отходов временно или постоянно хранится на разрешенных промышленных свалках и специальных свалках.

Представим данные объема импорта угля из Казахстана в Европейский союз (ЕС) с января 2021 г. по август 2024 г. по видам транспорта (в 1000 метрических тонн) (см. рис. 1).

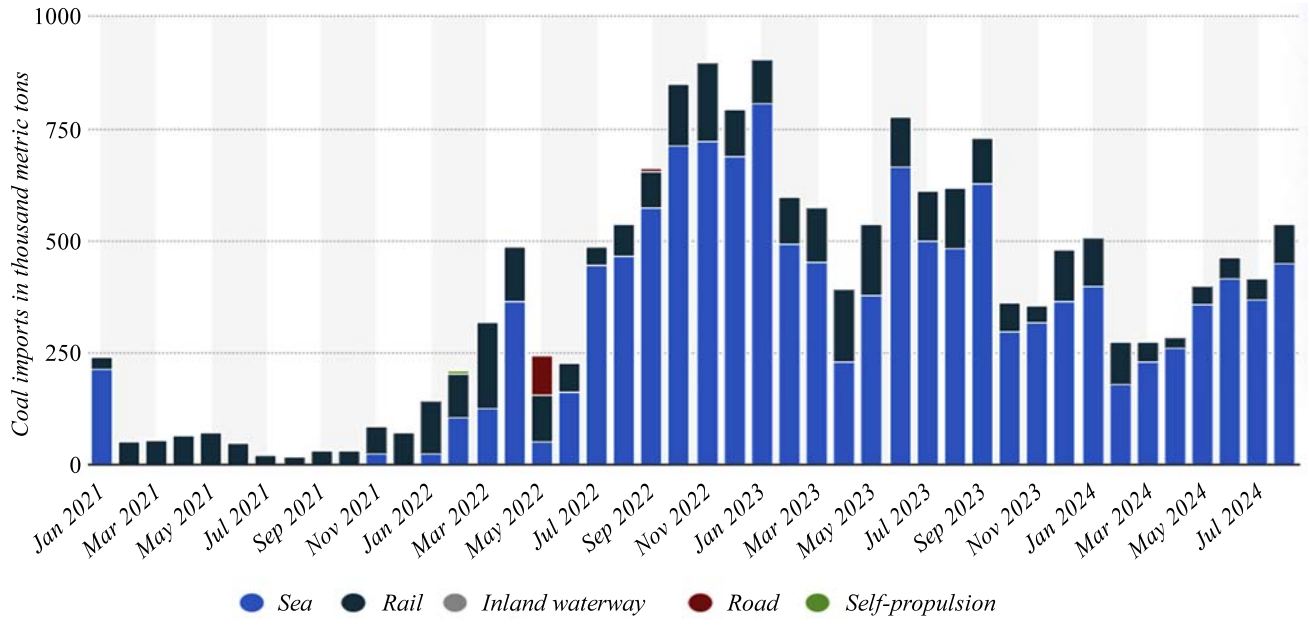


Рис. 1. Объем импорта угля из Казахстана в ЕС с января 2021 г. по август 2024 г. по видам транспорта, в 1000 метрических тонн

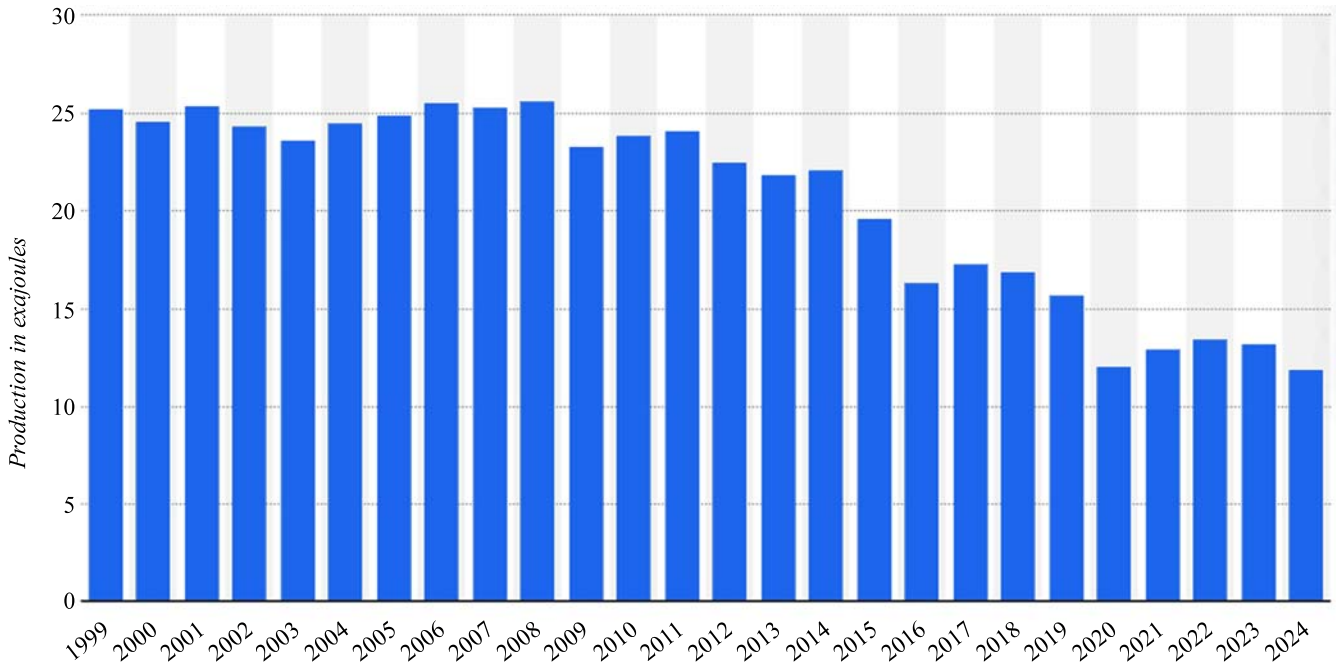


Рис. 2. Добыча угля в Северной Америке с 1999 по 2024 гг., в эксаджоулях

Далее рассмотрим производство угля в Северной Америке. В 1999 г. объем добычи угля в Северной Америке составляет 25,28 эксаджоулей (см. рис. 2). К 2024 г. он сокращается до 11,88 эксаджоулей. В последние годы добыча угля в Северной Америке сокращается.

Из рис. 2 видно, что в 2000 г. на континенте в целом добыто 24,65 эксаджоулей угля, а к 2024 г. добыча сокращается примерно на 53 %. Однако в мировом масштабе наблюдается значительный рост добычи угля – с 96,5 эксаджоулей в 2000 г. до 182,23 эксаджоулей в 2024 г. Этот глобальный рост во многом обусловлен добычей угля и потреблением энергии в Китае. На долю этой страны приходится почти половина мирового производства и потребления этого ископаемого топлива. Добыча угля в Китае возрастает более чем в два раза: с 29,6 эксаджоулей в 2000 г. до 94,48 эксаджоулей в 2024 г.

Потребление угля в США сокращается до 7,89 квадриллиона британских тепловых единиц (БТЕ) в 2024 г. В 2014 г. в США потреблено почти 18 квадриллионов БТЕ угля и 2,47 квадриллиона БТЕ традиционной гидроэлектроэнергии. Угольные компании сталкиваются с конкуренцией со стороны растущей индустрии возобновляемых источников энергии и с растущим спросом потребителей на более чистую энергию. В Канаде провинция Онтарио закрыты все угольные электростанции в апреле 2014 г, став первой юрисдикцией в Северной Америке, сделавшей это [9–11].

Выводы. 1. Таким образом, угольная отрасль стран сохраняет стратегический потенциал, несмотря на внешние вызовы и давление трендов декарбонизации.

2. Необходимы модернизация, внедрение экологичных технологий и поддержка занятости для устойчивого развития. Угольная отрасль Китая сталкивается с множеством системных недостатков, а ее модернизация требует комплексных решений и значительных инвестиций.

3. На фоне целей декарбонизации (углеродная нейтральность к 2060 г.) сохраняется необходимость радикальной реструктуризации и ускоренного перехода к возобновляемым источникам энергии.

Список литературы

1. *Моттаева А. Б., Фокина О. В., Прядко И. П.* Экологические аспекты стратегии развития предприятий металлургической промышленности // КШП. ОМД. 2025. № 9. С. 209–219.

2. *Афанасьев В. Я., Линник Ю. Н.* Уголь России: состояние и перспективы. М.: НИЦ ИНФРА–М. 2017.

3. *Вишняк Б. А., Поздеев А. А., Турко М. Р.* Технология обогащения и автоматизация процессов калийных флотационных фабрик. Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2011. 239 с.

4. *Развитие* и регулирование угольной промышленности России. М.: ИНИОН РАН. 2023.

5. *Кравченко А. А., Балашова Р. И.* Угольная отрасль как условие устойчивого развития донецкого региона // Методологические и организационные аспекты функционирования и развития социально-экономической системы. Донецк: 2024. С. 23–25.

6. *Аминов К. А., Ляндау Ю. В., Темирбулатов А. У.* Анализ состояния отраслей топливно-энергетического ком-

плекса Российской Федерации // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2024. Т. 34. № 3. С. 399–406.

7. *Воробьева Е. И., Дененберг Ю. М.* Финансовая безопасность национальной экономики // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2021. № 1 (54). С. 5–15.

8. *Буравцев А. В.* Стратифицированный метод построения сложной системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. № 3 (20). С. 23–32.

9. *Бурцева Т. А.* Оценка влияния факторов на эффективность деятельности предприятия на основе дисперсионного анализа // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2021. № 4 (39). С. 76–85.

10. *Домнина И. Н.* «Мезоуровень» организации экономического пространства: стратегическая повестка // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2024. № 3 (50). С. 7–13.

11. *Долгушин А. Б., Цуканов А. А.* Анализ практики установления нормативов утилизации в системе расширенной ответственности производителя Российской Федерации в 2015–2020 годы // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2020. № 3 (34). С. 57–63.

References

1. Mottaeva A. B., Fokina O. V., Pryadko I. P. Environmental Aspects of the Development Strategy for Metallurgical Enterprises. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2025, no. 9, pp. 209–219.

2. Afanasyev V. Ya., Linnik Yu. N. *Ugol'Rossii: sostoyanie i perspektivy* [Coal of Russia: state and prospects]. Moscow, SIC INFRA–M, 2017.

3. Vishnyak B. A., Pozdeev A. A., Turko M. R. *Tekhnologiya obogashcheniya i avtomatizaciya processov kalijnyh flotacionnyh fabric* [Technology of enrichment and automation of processes of potash flotation plants]. Perm', Publishing House of the Perm National Research Polytechnic University, 2011, 239 p.

4. *Razvitie i regulirovanie ugol'noj promyshlennosti Rossii* [Development and regulation of the Russian coal industry]. Moscow, INION RAS, 2023.

5. Kravchenko A. A., Balashova R. I. The coal industry as a condition for the sustainable development of the Donetsk region. *Methodological and organizational aspects of the functioning and development of the socio-economic system*. Donetsk, 2024, pp. 23–25.

6. Aminov K. A., Lyandau Yu. V., Temirbulatov A. U. Analysis of the state of the fuel and energy complex of the Russian Federation. *Bulletin of the Udmurt University. Series* «*Economics and Law*», 2024, vol. 34, no. 3, pp. 399–406.

7. Vorobyova E. I., Denenberg Yu. M. Financial Security of the National Economy. *Scientific Bulletin: Finance, Banks, Investments*, 2021, no. 1 (54), pp. 5–15.

8. Buravtsev A. V. Stratified method of constructing a complex system. *Educational resources and technologies*, 2017, no. 3 (20), pp. 23–32.

9. Burtseva T. A., Zueva I. A. Directions for improving methods for monitoring the implementation of regional development strategies in a digital information environment. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2018, no. 4 (27), pp. 43–50.

10. Domnina I. N. «Meso–level» of the organization of economic space: strategic agenda. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2024, no. 3 (50), pp. 7–13.

11. Dolgushin A. B., Tsukanov A. A. Analysis of the practice of setting recycling standards in the extended producer responsibility system of the Russian Federation in 2015–2020. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2020, no. 3 (34), pp. 57–63.

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати. Свидетельство о регистрации № 77-7669.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены ИП Бирюков Д. В.

За достоверность сведений в рекламных материалах ответственность несет рекламодатель.

Перепечатка допускается только с разрешения редакции и с обязательной ссылкой на журнал «Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением».

The Journal is registered by the Press committee of Russian Federation.

Registration certificate N 77-7669.

For information truth in advertising materials the advertiser is responsible.

Reprint is allowed only with written permission of Editor-in-Chief or his deputy and with compulsory reference to journal "Forging and Stamping Production. Material Working by Pressures".